

محیط رسوبی، دیاژنز و چینه‌نگاری سکانسی بخش بالایی سازند سروک (معادل میشریف) در میادین نفتی سیری

مجید خانجانی^{۱*}، سیدرضا موسوی حرمی^۲، حسین رحیم‌پور بناب^۳ و محمدرضا کمالی^۴

^۱دکتر، گروه زمین‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳استاد، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴دانشیار، پژوهشگاه اکتشافات و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۳/۰۶

چکیده

سازند سروک (آلبین - تورونین) دومین سازند مخزنی مهم در مخازن جنوب و جنوب باختری ایران است و به‌طور چیره از سنگ‌های کربناتی تشکیل شده است. در این پژوهش بخش بالایی سازند سروک در میادین نفتی سیری برای تعیین ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی، فرایندهای دیاژنزی و چینه‌نگاری سکانسی مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی‌های رخصاره‌ای منجر به شناسایی ۱۲ ریزرخساره شد که در ۵ مجموعه رخصاره‌ای قرار می‌گیرند و در یک محیط رسوبی رمپ کربناتی هموکلینال برجای گذاشته شده‌اند. بیشتر فرایندهای دیاژنزی که این سازند را تحت تأثیر قرار داده‌اند شامل آشفنگی زیستی، میکرایتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن، پیریتی شدن و ایجاد شکستگی‌ها است. مهم‌ترین سیمان‌های مشاهده شده در این سازند شامل سیمان کلسیتی هم‌بعد ریزبلور، سیمان کلسیتی دروزی، سیمان کلسیت اسپاری بلوکی درشت‌بلور و سیمان سین تکسیال است. بررسی‌های چینه‌نگاری سکانسی به شناسایی ۳ سکانس رسوبی رده سوم در بخش بالایی سازند سروک انجامید و رخصاره‌ها و فرایندهای دیاژنزی در چهارچوب چینه‌شناسی سکانسی مورد بررسی قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: سازند سروک، میادین نفتی سیری، مدل رسوبی، دیاژنز، چینه‌نگاری سکانسی.

*نویسنده مسئول: مجید خانجانی

E-mail: drkhanjani@gmail.com

۱- پیش‌گفتار

درک صحیح محیط‌رسوبی با شناسایی و تحلیل رخصاره‌ها زمینه را برای مطالعات دیاژنزی و چینه‌نگاری سکانسی فراهم می‌کند. دیاژنز، یک عامل کنترل‌کننده مهم در بسیاری از مخازن هیدروکربنی به‌ویژه در خاورمیانه است (Shano et al., 1993) و تاریخچه دیاژنزی رسوبات کربناتی عموماً با نوسان‌های سطح آب دریا مرتبط است (Sarg, 1988; Emery & Meyers, 1996). ترکیبی از اطلاعات رخصاره‌ای، با بررسی‌های جامع دیاژنزی در چهارچوب چینه‌نگاری سکانسی می‌تواند در کسب درک درستی از سامانه‌های هیدروکربنی موجود در مخازن کربناتی و چگونگی تغییرات آن بسیار مفید باشند (Moore, 2001; Beiranvand et al., 2007; Murriss, 1980). تجمع سبتر رسوبات به سن کراتاسه در سکوی عربی و حوضه زاگرس در برگیرنده ذخایر هیدروکربن فوق‌عظیم و بسیار مهم از دید اقتصادی هستند (Setudehnia, 1978; Alsharhan & Nairn, 1986 & 1988; Ghabeishavi et al., 2009 & 2010; Hollis, 2011; Lapponi et al., 2011). بخش مهمی از این منابع هیدروکربنی در سازند سروک و معادل‌های آن در سکوی عربی جای گرفته است. سازند سروک به سن آلبین - تورونین یکی از سنگ مخزن‌های مهم در جنوب باختری ایران است (مطبعی، ۱۳۷۲) و بیشتر از سنگ‌های آهکی تشکیل شده است. این سازند بخشی از گروه بنگستان است که در سکوی کربناتی گسترده‌ای در حاشیه جنوبی نوتتیس نهشته شده است. برش نمونه سازند سروک در تنگ سروک واقع در یال جنوبی تاقدیس کوه بنگستان و در شمال باختری شهرستان بهبهان معرفی شده است (James & Wynd, 1965). ستبرای این سازند در میادین مختلف از ۴۱ متر تا ۲۲۳ متر متغیر است (Ghazban, 2007). این سازند در جنوب خاوری خلیج فارس شامل سنگ‌آهک مادستونی و وکستونی غنی از مواد آلی (سازند خاتیا) به سن سنومانین پیشین و سنگ‌آهک پکستونی و گریستونی غنی از رودیست (معادل میشریف) به سن سنومانین پسین - تورونین است (Farzadi, 2006). یک ناپوستگی این سازند را از شیل‌های سازند لافان جدا

می‌کند (James & Wynd, 1965). ناپوستگی رأس این سازند یک ناپوستگی ناحیه‌ای مربوط به زمان تورونین میانی است که در سراسر زاگرس و صفحه عربی قابل تشخیص است (برای نمونه Rahimpour-Bonab et al., 2012; Videtich et al., 1988; Sharland et al., 2001; Razin et al., 2010; Sharp et al., 2010; Van Buchem et al., 2011). در این مطالعه رخصاره‌ها، محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی در چهارچوب چینه‌نگاری سکانسی بخش بالایی سازند سروک مورد بررسی قرار می‌گیرد. میادینی که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند شامل میادین سیری اسفند، سیوند و دنا هستند که در جنوب و جنوب باختری جزیره سیری (حدود ۷۲ کیلومتری خط ساحلی ایران در جنوب بندر لنگه و ۴۰ کیلومتری باختر جزیره ابوموسی) در جنوب خاوری خلیج فارس واقع شده‌اند (شکل ۱).

۲- روش مطالعه

در این پژوهش بخش بالایی سازند سروک در ۳ میدان سیری اسفند (Siri E)، دنا (Siri D) و سیوند (Siri C) (در هر میدان یک چاه) مورد بررسی قرار گرفت. ستبرای سازند سروک در هر یک از چاه‌های بالا به ترتیب ۱۰۸، ۱۵۸ و ۱۸۵ متر است (خانجانی، ۱۳۹۲). از بخش بالایی سازند سروک (معادل میشریف) که بخش مخزنی در میادین بالا و هدف مورد مطالعه است، مغزه تهیه شده است. این بخش در میادین سیری اسفند، دنا و سیوند به ترتیب ۸۵، ۱۰۹ و ۵۰ متر است. در این پژوهش افزون بر استفاده از لاگ گاما و گزارشات مغزه‌ها، از ۴۳۷ مقطع نازک تهیه‌شده از مغزه‌ها برای تشخیص اجزای سازنده ریزرخساره‌ها استفاده شده است. برای جدایش کلسیت از دولومیت، از محلول فری‌سیانید پتاسیم و آلینارین سرخ به روش Dickson (1965) استفاده شد. هدف از بررسی موارد فوق، تعیین اندازه و نوع ذرات سازنده و عوارض مربوط به زمان رسوب‌گذاری، تعیین ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی، فرایندهای

۳-۵. گرینستون بایوکلاستی کورتوئیدی ریزدانه (Fine-grained Skeletal Cortoid Grainstone)

خرده‌های اسکلتی بیشتر رودیستی و کورتوئیدها حدود ۵۵ درصد اجزای این ریزرخساره هستند و پلوییدها، خرده‌های اکتینودرم و روزن‌بران کفزی (بیشتر تکستولارید و آلوتولینید) به‌طور فرعی ۱۰ درصد ریزرخساره را تشکیل می‌دهند. اندازه ذرات بین ۰/۱۲۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر و جورشدگی ذرات متوسط است. این ریزرخساره را می‌توان مربوط به رمپ میانی نزدیک به شول دانست (شکل ۲-ث).

۳-۶. گرینستون رودیستی (rudist grainstone)

مهم‌ترین اجزای این ریزرخساره خرده‌های رودیستی است که به میزان ۴۰ درصد در مقطع نازک وجود دارند. کورتوئید، پلویید و قطعات اکتینودرم با هم به میزان ۲۰ درصد اجزای فرعی این ریزرخساره هستند. اندازه ذرات در حد ماسه متوسط (بین ۰/۲۵ تا ۱ میلی‌متر) و جورشدگی متوسط است (شکل ۲-ج). گردش‌دهی ذرات و نبود ماتریکس گلی نشان می‌دهد این ریزرخساره مربوط به پشته‌های کم‌ژرفای پرانرژی است. این ریزرخساره قابل مقایسه با RMF27 (Flugel 2010) Bioclastic Grainstone/Packstone with a few Dominant Skeletal Grains است.

۳-۷. رودستون رودیستی کورتوئیدی (Rudist Cortoid Rudstone)

قطعات رودیست‌ها و کورتوئیدها اجزای اصلی این ریزرخساره به میزان ۶۰ درصد هستند و پلوییدها و قطعات اکتینودرم به‌طور فرعی ۱۵ درصد این ریزرخساره را تشکیل می‌دهند. اندازه ذرات تا چند میلی‌متر است و جورشدگی ذرات این ریزرخساره ضعیف است (شکل ۲-چ). گردش‌دهی ذرات و نبود ماتریکس گلی نشان می‌دهد این ریزرخساره مربوط به پشته‌های کم‌ژرفای پرانرژی (شول) و در مقایسه با ریزرخساره‌های پیشین و بعدی، نشان‌دهنده قله پشته زیرآبی و قابل مقایسه با ریزرخساره شماره ۲۷ (Flugel 2010) Bioclastic Grainstone/Packstone with a few Dominant Skeletal Grains است.

۳-۸. پکستون تا فلوتستون رودیستی (Rudist Packstone to Floutone)

این ریزرخساره از پکستون‌ها و فلوتستون‌های رودیستی تشکیل شده است. قطعات بزرگ و عمدتاً سالم رودیست‌ها و اکتینودرم‌ها به میزان ۲۵ تا ۳۵ درصد اجزای اصلی این ریزرخساره هستند. روزن‌بران کفزی کوچک، کورتوئیدها، استراکدا و پلوییدها به میزان ۷ درصد سازندگان فرعی این ریزرخساره هستند (شکل ۲-ح). این ریزرخساره نسبت به ریزرخساره‌های مربوط به شول موجودات دست‌نخورده بیشتری دارد. حالت میان‌لایه‌ای رسوبات این گروه ریزرخساره با رسوبات لاگون، نشان‌دهنده ریف‌های کومه‌ای (Patch Reefs) درون محیط لاگون است.

۳-۹. وکستون بایوکلاستیکی دارای روزن‌بران کفزی (Bioclastic Benthic Foraminifera Wackestone)

این ریزرخساره با بافت وکستون دارای خرده‌های دوکفه‌ای، پلویید و اکتینودرم و روزن‌بران کفزی کوچک (بیشتر میلیولید، تکستولارید و نزازاتا) با هم به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد تشکیل شده است. اجزای فرعی این ریزرخساره شامل استراکدا، گاستروپودها و روزن‌بران کفزی بزرگ به میزان ۶ درصد هستند (شکل ۲-خ). Geel (2000) آهک‌های دارای میلیولید را به محیط لاگون نسبت داده است. فراوان بودن روزن‌بران کفزی با پوسته پورسلانوز از جمله میلیولید و نزازاتا و بافت گلی معرف محیط لاگون برای این ریزرخساره است.

۳-۱۰. وکستون حاوی کریسالینید (Chrysalinid Wackestone)

کریسالینید و روزن‌بران کفزی کوچک (از جمله نزازاتا و میلیولید) به میزان ۲۰ درصد اجزای اصلی این ریزرخساره هستند. جلبک، استراکدا، گاستروپودها و اکتینودرم‌ها با هم به میزان ۵ درصد سازندگان فرعی این ریزرخساره هستند (شکل ۲-د). ریزرخساره‌های شماره ۹ و ۱۰ قابل مقایسه با RMF20 (Flugel 2010) Bioclastic Benthic Foraminifera Wackestone است.

دیاژنزی و ترتیب قرارگیری سکانس‌های رسوبی است. نام‌گذاری سنگ‌های کربناتی بر پایه رده‌بندی (Dunham 1962) و (Embry & Klovan 1971) صورت گرفت و ریزرخساره‌های تعین شده با ریزرخساره‌های استاندارد (Flugel 2010) مطابقت داده شد.

۳- ریزرخساره‌ها

مطالعه مقاطع نازک بخش بالایی سازند سروک در میداین مورد مطالعه به شناسایی ۱۲ ریزرخساره انجامید که در ۵ مجموعه رخصاره‌ای برجای گذاشته شده‌اند. این ریزرخساره‌ها به شرح زیر خلاصه شده‌اند:

۳-۱. مادستون (Mudstone)

این ریزرخساره از زمینه گلی تیره و ۵ درصد آلوم تشکیل شده است. آلوم‌ها که به‌طور بسیار پراکنده در ماتریکس قرار گرفته‌اند شامل روزن‌بران پلانکتونیک، الیگوستزینید، رادیولاریا و سوزن اسفنج هستند. بافت گل‌پشتیان، حضور زیای پلاژیک، نبود زیای کفزی، نشان دادن مقادیر زیاد لاگ گاما و رنگ تیره که احتمالاً در نتیجه شرایط انوکسیک و حفظ مواد آلی ایجاد شده است، نشانگر محیط ژرف و کم‌انرژی حوضه است (شکل ۲-الف). این ریزرخساره را می‌توان معادل RMF5 (Flugel 2010) Mudstone (مادستون پلاژیک) در نظر گرفت و در کمربند رخصاره‌ای شماره ۱ (Wilson 1975) حوضه قرار می‌گیرد.

۳-۲. وکستون تا پکستون دارای روزن‌بران پلانکتونیک و الیگوستزینید (Planktonic foraminifera Oligosteginids wackestone to packstone)

در این ریزرخساره روزن‌بران پلانکتونیک و الیگوستزینیدها فراوان‌ترین آلوم هستند که به میزان ۲۵ تا ۳۵ درصد در مقاطع نازک وجود دارند. خرده‌های اکتینوئید، سوزن اسفنج، استراکدا و پلویید به‌صورت فرعی با هم ۱۵ درصد ریزرخساره را تشکیل می‌دهند. بافت گل‌پشتیان، حضور زیای پلانکتونیک، عدم حضور زیای کفزی، نشان دادن مقادیر زیاد لاگ گاما و نبود بایوکلاست‌های درشت نشانگر محیط ژرف و کم‌انرژی حوضه است (شکل ۲-ب). این ریزرخساره را می‌توان معادل RMF2 (Flugel 2010) Argillaceous burrowed mudstone/wackestone در نظر گرفت و در کمربند رخصاره‌ای شماره ۱ (Wilson 1975) حوضه قرار می‌گیرد. ریزرخساره‌های حوضه در توالی‌های مورد مطالعه با بخش خاتیا (شیلیف) در بخش جنوبی خلیج فارس (Burchette & Britton, 1985) مطابقت دارند.

۳-۳. پکستون تا وکستون اسکلتی در اندازه سیلتی (Silt Size-grained Skeletal Packstone to wackestone)

این ریزرخساره از پکستون‌ها و وکستون‌های بیوکلاستی تشکیل شده است. آلوم‌ها در این ریزرخساره بیشتر خرده‌های رودیستی با اندازه در حد سیلت (کوچک‌تر از ۰/۰۶۴ میلی‌متر) هستند که بین ۳۰ تا ۵۰ درصد ریزرخساره را تشکیل می‌دهند. از آنجایی که رودیست‌ها در بخش‌های کم‌ژرفاتر حوضه رسوبی گسترش داشته‌اند، بر اثر عملکرد امواج و جریان‌ها قطعاتی از آنها خرد و به این محیط منتقل شده‌اند. این ریزرخساره در محدوده رمپ بیرونی قرار گرفته و قابل مقایسه با ریزرخساره شماره ۱ (Flugel 2010) Peloidal Calcisiltite with Spicules است (شکل ۲-پ).

۳-۴. پکستون بایوکلاستی ریزدانه (Fine-grained Skeletal Packstone)

اجزای اصلی این ریزرخساره قطعات خردشده رودیستی به میزان ۵۰ درصد هستند. خرده‌های اکتینودرم و پلوییدها سازندگان فرعی این ریزرخساره هستند که با هم ۱۳ درصد ریزرخساره را تشکیل می‌دهند. اندازه ذرات در حد ماسه خیلی ریز و ریز (۰/۰۶۴ تا ۰/۲۵ میلی‌متر) و جورشدگی متوسط است (شکل ۲-ت). این ریزرخساره را می‌توان معادل RMF8 (Flugel 2010) Burrowed Multigrain Packstone/Wackestone، واقع در رمپ میانی در نظر گرفت.

(Alsharhan & Nairn, 1997; Sharland et al., 2001; Ziegler, 2001;) (Rahimpour-Bonab et al., 2012). (Rahimpour-Bonab et al., 2012) تأثیر این ناپوستگی‌ها را بر دیاژنز و ویژگی‌های مخزنی سازند سروک بررسی کرده‌اند. فرایندهای اصلی دیاژنزی بخش مخزنی سازند سروک در میداین سیری به شرح زیر است:

۵-۱. آشفته‌گی زیستی

آشفته‌گی زیستی در توالی‌های مورد مطالعه به‌صورت ظاهر لکه‌ای، آثار حفاری و به‌هم ریختگی رسوبات توسط موجودات، در رسوبات بخش‌هایی از رمپ بیرونی، رمپ میانی و در زیر محیط‌های لاگون و ریف‌های کومه‌ای از رمپ درونی دیده شد (شکل ۴- الف).

۵-۲. میکرایتی شدن

میکرایتی شدن فرایندی است که طی آن حاشیه‌های دانه‌های کربناتی یا همه حجم دانه توسط بلورهای کربناتی ریزبلور یا نهبان‌بلور جایگزین می‌شوند. میکرایتی شدن ناقص به ایجاد کورتویید می‌انجامد (Flugel, 2010). این فرایند بیشتر در ریزرخساره‌های مربوط به بخش‌های کم‌ژرف‌تر محیط رسوبی سازند سروک بالایی (لاگون، ریف و بخش‌های کم‌ژرف‌تر رمپ میانی) وجود دارد. ولی در بخش‌های ژرف‌تر (بخش‌های ژرف‌تر رمپ میانی و رمپ بیرونی) هم دیده می‌شوند (شکل ۴- ب).

۵-۳. سیمانی شدن

۴ نوع سیمان در سازند سروک بالایی در میداین مورد مطالعه شناسایی شد که بدین شرح است: ۱) سیمان کلسیتی هم‌بعد ریز بلور که در توالی مورد مطالعه، بخشی از تخلخل میان‌دانه‌ای (در گریستون‌ها) و درون دانه‌ای (درون حجرات رودیست‌ها و روزن‌بران) را پر کرده است و بیشتر در رخساره‌های مربوط به بخش‌های نزدیک به شول در رمپ میانی و شول دیده می‌شود. (Hajikazemi et al., 2010) همانند این سیمان را در سازند سروک در جنوب باختری ایران دیده و تشکیل آن را به محیط جوی نسبت داده‌اند. در شکل ۴- پ این سیمان در میان دانه‌های گریستون دیده می‌شود؛ ۲) سیمان کلسیتی دروزی که با تشکیل در تخلخل‌های اولیه و ثانویه موجب کاهش کیفیت مخزنی شده است. به علت فراوانی این سیمان در زیر مرزهای سکاسنی و پر کردن حفرات انحلالی به‌نظر می‌رسد طی دیاژنز جوی تشکیل شده باشند. مشابه این نوع سیمان در سازند سروک را غلامی‌زاده 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. در توالی سازند سروک در میداین سیری، این نوع سیمان به فراوانی در رخساره‌های شول و رمپ میانی و به میزان کمتر در رخساره‌های ریف و لاگون و به‌طور خیلی کم در رخساره‌های رمپ بیرونی گسترش دارد (شکل ۴- ت)؛ ۳) سیمان کلسیت اسپاری بلوکی درشت‌بلور که پرکننده بخشی از تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای و شکستگی‌هاست که نشانگر تشکیل در محیط دفنی است. سیمان بلوکی درشت در همه گروه‌های ریزرخساره بخش میشریف به‌ویژه در رخساره‌های شول گسترش دارد (شکل ۴- ث). (Hajikazemi et al., 2010) این سیمان را در سازند سروک در جنوب باختری ایران دیده و تشکیل آن را به محیط دفنی نسبت داده‌اند؛ ۴) سیمان سین‌تکسیال که نوع شفاف آن در محیط دیاژنز جوی و همراه با سیمان دروزی (Flugel, 2010) و نوع غبارآلود آن در محیط دریایی و همراه با سیمان شعاعی (Kaufman et al., 1988) تشکیل می‌شود. این سیمان در رخساره‌های مورد مطالعه سازند سروک گسترش چندانی ندارد و به‌طور کمیاب در اطراف دانه‌های اکتیوئید به‌صورت شفاف دیده می‌شود که به‌نظر می‌رسد در محیط جوی تشکیل شده است (شکل ۴- ج).

۵-۴. انحلال

انحلال زمانی رخ می‌دهد که سامانه سنگ- آب (سیال) خارج از تعادل باشد و باعث ایجاد تخلخل قالبی و حفره‌ای در مقیاس کوچک می‌شود که با ادامه

(و کستون تا پکستون بایو کلاستی دارای جلبک و فرامینیفر کف‌زی) است که بیانگر محیط لاگون در رمپ درونی هستند.

۳-۱۱. مادستون تا وکستون دارای روزن‌بران کفزی (Benthic Foraminifera Mudstone to Wackestone)

روزن‌بران کفزی کوچک میلیولید، نزازاتا و تکستولارید و پلوییدها با هم به میزان ۸ تا ۱۸ درصد سازندگان اصلی این ریزرخساره‌اند. بیشتر این ریزرخساره گل‌آهکی است که زمینه سنگ را تشکیل می‌دهد (شکل‌های ۲- ذ و ر). این ریزرخساره قابل مقایسه با MF19 (Flugel (2010) Non-burrowed lime mudstone) است که بیانگر محیط لاگون در رمپ درونی است.

۴- محیط رسوب‌گذاری

بررسی ریزرخساره‌ها، اجزای سازنده و تغییرات عمودی آنها و مقایسه با ریزرخساره‌های ارائه شده توسط (Flugel (2010) نشان می‌دهد که بخش بالایی سازند سروک در میداین مورد مطالعه در یک محیط رمپ کربناتی تشکیل شده است. نبود رسوبات ریزشی و لامیناسیون و چینه‌های پیچیده، رمپ هموکلینال را برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌کند. در این رمپ، چیرگی آب‌وهوای حاره‌ای مرطوب در زمان کرتاسه میانی در خاورمیانه (Murriss, 1980; Beydoun, 1991; Beydoun et al., 1992; Fluteau et al., 2007; Keller et al., 2008; Hollis, 2011) باعث گسترش رودیست‌ها در یک مجموعه فتوزوآن شده است. زیر محیط‌های این رمپ کربناتی شامل رمپ درونی، رمپ میانی، رمپ بیرونی و حوضه است. در رمپ درونی بخش‌های لاگون، ریف‌های کومه‌ای و شول تشخیص داده شده‌اند و رخساره‌های ساحلی و پهنه کشندی دیده نشده است. به‌طور کلی با توجه به مقاطع میکروسکوپی در توالی مورد مطالعه در هر ۳ میدان، اندازه ذرات سازنده ریزرخساره‌ها به‌سوی بالا درشت می‌شوند. در میداین سیری اسفند و سیوند رخساره گل‌پشتیان با زیای پلاژیک، پایین‌ترین بخش توالی مورد مطالعه است، که بیانگر محیط حوضه است و توسط رسوبات پکستونی رمپ بیرونی پوشیده می‌شود. رخساره‌های مربوط به رمپ میانی بیشترین ستبرای را در هر سه میدان تشکیل می‌دهند که از پکستون (در بخش‌های ژرف‌تر) تا گریستون (در بخش‌های نزدیک‌تر به شول) متغیر است. در میدان دنا و سیوند رخساره‌های مربوط به رمپ درونی دیده نمی‌شود. در میدان سیری اسفند، رمپ درونی، بارخساره‌های گریستونی و رودستونی مربوط به شول شروع می‌شود که به اوج رسیدن توالی درشت‌شونده به‌سوی بالا را نشان می‌دهد و توسط رسوبات ریف‌های کومه‌ای با رخساره فلوستون دارای رودیست پوشیده می‌شود. رخساره مادستونی و وکستونی لاگون بالاترین بخش توالی مطالعه شده در میدان سیری اسفند را تشکیل می‌دهد. شکل ۳ محیط رسوبی سازند سروک در منطقه مورد مطالعه را به‌صورت نمادین نشان می‌دهد.

۵- فرایندهای دیاژنزی

مخازن زیر ناپوستگی ۲۰ تا ۳۰ درصد مخازن هیدروکربنی را تشکیل می‌دهند (Harris et al., 1984; Weidlich, 2010) که تحت تأثیر رخنمون تحت جوی و دیاژنز جوی که مهم‌ترین فرایندها در گسترش یا تخریب تخلخل هستند (Harris et al., 1984; Weidlich, 2010) قرار گرفته‌اند. تأثیر فرایندهای جوی قابل ملاحظه بر کربنات‌های سازند سروک به اثبات رسیده و به ناپوستگی توروین میانی نسبت داده شده است (Hajikazemi et al., 2010; Razin et al., 2010; Taghavi et al., 2006; Rahimpour-Bonab et al., 2012). این ناپوستگی منطقه‌ای بوده و در سراسر خاورمیانه قابل شناسایی است (Alsharhan & Nairn, 2001; Sharland et al., 1997). دیگر ناپوستگی به ثبت رسیده در بخش بالایی سازند سروک و معادل‌های آن، ناپوستگی سنومانین- توروین است

بیرونی و لاگون) گسترش دارد (شکل ۴-۳). نوع دوم بلورهای پیریت شکل‌دار درشت است که به‌صورت اکناهدرال یا کویک و در طی دیاژنز دفنی ایجاد شده است. این نوع پیریت در سراسر توالی کم و بیش دیده می‌شود (شکل ۴-۳).

۵-۹. توالی پارازنتیک

فرایندهای دیاژنزی در طی ۳ مرحله ائوژنز، مزوژنز و تلوزنز رسوبات سروک بالایی را تحت تأثیر قرار داده‌اند. ائوژنز اولین مرحله از تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر رسوبات مورد مطالعه است که بی‌درنگ پس از ته‌نشست و گاه در هنگام ته‌نشست و پیش از مرحله دفن ژرف بر رسوبات اثر کرده و به دو صورت دیاژنز در محیط دریایی و جوی صورت گرفته است. در این مرحله در محیط دریایی فرایندهای آشفستگی زیستی و میکروبی شدن دانه‌ها و تشکیل پیریت ریزیلور مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی دیده‌شده در توالی مورد مطالعه هستند. در محیط جوی رسوبات تحت تأثیر آب‌های جوی قرار گرفته که باعث انحلال قالبی دانه‌های آراگونیتی و تشکیل سیمان‌های کلسیتی هم‌بعد، دروزی و سین‌تکسیال و نیز تشکیل دولومیت‌های شکل‌دار در این محیط شده است.

پس از مرحله دیاژنز اولیه (ائوژنز) رسوبات سازند سروک بالایی تحت تأثیر دیاژنز میانی (مزوژنز) قرار گرفته‌اند. فرایندهای دیاژنزی در این مرحله در هنگام دفن و در دما، فشار و ژرفاهای مختلف رسوبات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فرایند اصلی در این مرحله شامل استیلولیتی شدن، دولومیتی شدن مرتبط با استیلولیت‌ها، تشکیل سیمان بلوکی و تشکیل بلورهای پیریت شکل‌دار هستند. آخرین مرحله از تأثیر فرایندهای دیاژنزی بر روی سنگ‌های آهکی سازند سروک بالایی در مرحله تلوزنز صورت می‌گیرد. در این مرحله در هنگام بالاآمدگی سنگ‌های سازند سروک بالایی، شکستگی‌هایی ایجاد می‌شود. تأثیر دوباره آب‌های جوی روی رسوبات سخت‌شده سازند سروک بالایی باعث انحلال دانه‌ها، سیمان و ماتریکس، و گسترش تخلخل حفره‌ای (شکل‌های ۵-الف و ب) شده است. انحلال سیمان‌های دفنی (شکل ۵-پ) و انحلال بلورهای دولومیت ایجادشده در محیط دفنی (شکل‌های ۵-ت و ث) نیز از شواهد دیاژنز در مرحله تلوزنز است. شکل ۶ انواع فرایندهای دیاژنزی در محیط‌های مختلف را نشان می‌دهد.

۶- چینه‌نگاری سکانسی

به‌طور کلی پراکنندگی جانبی رخساره‌های رسوبی مربوط به محیط رسوبی است، در حالی که برهم انباشت قائم رخساره‌ها توسط نوسان‌های سطح آب دریا تعیین می‌شود و بازتابی از چهارچوب چینه‌نگاری سکانسی است (Schlager, 2005; Roger, 2006). ۳ سکانس رسوبی رده سوم برای بخش بالایی سازند سروک در میداین مورد مطالعه شناسایی شد که به خوبی با سکانس‌های شناسایی شده مربوط به این سازند در جنوب باختری ایران (Rahimpour-Bonab et al., 2010; Taghavi et al., 2006; Razin et al., 2010) و سکوی عربی (Wagner, 1990; Rahimpour-Bonab et al., 2012) قابل مقایسه است. (Van Buchem et al., 1996) این انطباق را در پهنه گسترده‌ای از جنوب باختری ایران تا سکوی عربی، مرتبط با نقش انوستازی نوسان‌های سطح آب دریا در شکل‌گیری سکانس‌های رسوبی در طول این زمان می‌دانند. در زیر هر یک از سکانس‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۶-۱. سکانس ۱

این سکانس با ستبرای در حدود ۴۰ متر در میدان سیری اسفند و با کاهش به‌سوی باختر به ۳۵ متر در سیری دنا و ۱۹ متر در سیری سیوند می‌رسد. دسته رخساره پیشرونده (TST) در این سکانس کم‌ستبر (۵ تا ۸ متر) است و با رخساره ژرف حوضه (مادستون و وکستون با فسیل‌های پلاژیک) و به‌سوی باختر (سیری دنا) با رخساره رمپ بیرونی (وکستون و پکستون اسکلتی در اندازه سیلتی) دنبال می‌شود. بیشترین سطح غرقابی (mfs) مطابق با ریزرخساره ۱ (مادستون مربوط به حوضه) در میدان‌های سیوند و اسفند

و گسترش انحلال به تشکیل کانال و کارست می‌انجامد (Lucia, 2007; Ahr, 2008). چنین شرایطی بیشتر در محیط جوی یا منطقه آمیختگی آب ایجاد می‌شود (Ahr, 2008). عملکرد انحلال به‌ویژه در زیر مرزهای سکانسی باعث ایجاد تخلخل قالبی (شکل ۴-چ) و حفره‌ای (شکل ۴-ح) در توالی مورد مطالعه شده است. (Rahimpour-Bonab et al., 2012) با بررسی سازند سروک در جنوب باختری ایران، عامل گسترش تخلخل قالبی و حفره‌ای مجزا را تأثیر انحلال دانه‌های ناپایدار به‌صورت انتخاب‌کننده فابریک تحت تأثیر آب‌های جوی در مرحله ائوژنتیک که رسوبات هنوز کاملاً سخت نشده‌اند می‌دانند. در مرحله دوم این رسوبات پس از دفن و سیمانی شدن، سخت می‌شوند و دوباره تحت تأثیر آب‌های جوی، این بار در مرحله تلوزنتیک قرار می‌گیرند. در این شرایط همه اجزا از جمله دانه‌ها و سیمان و ماتریکس تحت تأثیر انحلال قرار می‌گیرند و تخلخل حفره‌ای مرتبط، قالبی و حفره‌ای مجزا گسترش می‌یابد (Rahimpour-Bonab et al., 2012). در توالی‌های مورد مطالعه گسترش تخلخل حفره‌ای در سکانس میانی نشانگر تأثیرپذیری دوباره رسوبات سخت‌شده این بخش از آب‌های جوی در مرحله تلوزنز است.

۵-۵. دولومیتی شدن

دولومیتی شدن در شرایط خاص ممکن است سبب بهبود کیفیت مخزنی شود (Morrow, 1982; Machel, 2004). بلورهای دولومیت به‌صورت شکل‌دار، نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل دیده می‌شوند. بلورهای شکل‌دار باعث افزایش بیشتر تخلخل و تراوایی مخزن نسبت به بلورهای نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل می‌شوند (Gregg & Sibley, 1984). حضور دولومیت‌ها در استیلولیت‌ها قابل توجه است. این استیلولیت‌ها به موازات سطوح لایه بندی بوده و در حاشیه و درون آنها بلورهای شکل‌دار دولومیت تشکیل شده‌اند که از ویژگی‌های دیاژنز دفنی هستند (Morrow, 1982). این دولومیت‌ها با بلورهای ریز تا متوسط، احتمالاً از مهاجرت سیال‌های هیدروکربوری، زمانی که استیلولیت‌ها مجرای فعال برای عبور سیال‌ها بوده‌اند، ته‌نشست کرده‌اند (Kamali et al., 1995). در نمونه‌های مورد مطالعه سازند سروک این نوع دولومیت در رخساره‌های ژرف تر رمپ بیرونی که حضور گل و به طبع آن فشردگی و استیلولیت‌ها فراوان‌تر است و با فراوانی کمتر در رخساره‌های رمپ میانی و لاگون و در توالی سکانسی عمدتاً مرتبط با بیشترین سطح غرقابی (MFS) دیده می‌شود (شکل ۴-خ). نوع دیگر دولومیت دیده شده در نمونه‌های مورد مطالعه دولومیت‌های شکل‌دار و رمبهدری درشت و شفاف و به‌صورت منفرد و با فراوانی کم است که بیشتر در رخساره‌های رمپ میانی گسترش دارد (شکل ۴-د). این نوع دولومیت را در سازند سروک، غلامی‌زاده و آدابی (۱۳۹۰) در نواحی تنگستان (در جنوب ایران) و (Rahimpour-Bonab et al., 2012) در جنوب باختری ایران دیده و تشکیل آن را به منطقه آمیختگی آب شور و شیرین نسبت داده‌اند.

۵-۶. استیلولیتی شدن

مهم‌ترین محصول فشردگی شیمیایی در رسوبات کربناتی، استیلولیت‌ها هستند. استیلولیت‌ها در توالی‌های مورد مطالعه در رخساره‌های گل‌پشتیبان به مراتب بیشتر از دانه‌پشتیبان دیده می‌شود. تعداد استیلولیت‌ها در افق‌های غنی از مواد آلی در حوضه، بخش‌های ژرف تر رمپ بیرونی و لاگون افزایش می‌یابد (شکل ۴-ذ).

۵-۷. شکستگی‌ها

شکستگی‌ها در هر دو رخساره گل‌پشتیبان و دانه‌پشتیبان دیده می‌شود. این شکستگی‌ها عرض کمتر از ۱ میلی‌متر دارند و به سه صورت باز (شکل ۴-ر)، نیمه پر شده یا کامل پر شده توسط سیمان دفنی (شکل ۴-ز) دیده می‌شوند.

۵-۸. پیریتی شدن

دو نوع پیریتی شدن در توالی‌های مورد مطالعه دیده شد. نوع اول پیریت ریزیلور که در طی دیاژنز اولیه و شرایط احیایی ایجاد می‌شود (Butler & Rickard, 2000). این نوع پیریت در رخساره‌های ژرف تر با مواد آلی بیشتر (حوضه، بخش‌های ژرف رمپ

مادستونی لاگون (ریزرخساره شماره ۱۱) در مرز سکانسی پایان می‌یابد. همراه بودن رسوبات ستر لاگونی با تجمع رودیست‌ها (ریف‌های کومه‌ای) نوسان‌های آب دریا را نشان می‌دهد (Alsharhan & Nairn, 1988). این سکانس، دارای ستریای ۳۹ متر در میدان سیری دنا و ۲۴ متر در میدان سیری سیوند است و دسته رخساره پیشرونده با رخساره گرینستونی رمپ میانی نزدیک به شول (ریزرخساره شماره ۵) در سیری دنا و پکستونی دور از شول (ریزرخساره شماره ۴) در سیری سیوند آغاز و به رخساره وکستونی و پکستونی رمپ بیرونی (ریزرخساره شماره ۳) در بیشترین سطح سیلابی می‌رسد که معادل بیشترین سطح غرقابی K140 تعیین شده توسط (Sharland et al., 2001) در صفحه عربی است. دسته رخساره تراز بالا در این دو میدان از پایین به بالا، شامل رخساره رمپ بیرونی (پکستون تا وکستون اسکلتی در اندازه سیلتی) و رمپ میانی (پکستون و گرینستون بایوکلاستی کورتوییدی ریزدانه) تشکیل شده است. در این دو میدان اثری از رخساره‌های لاگون و ریف‌های کومه‌ای نیست، که احتمالاً در اثر فرسایش ناشی از ناپیوستگی تورونین در رأس سروک بالایی (میشریف) از بین رفته‌اند. مرز سکانسی که در این سکانس بالاترین بخش سازند سروک را از سازند شیلی لافان جدا می‌کند از نوع اول است و آثار رخنمون تحت جوی و فرسایش به‌خوبی در آن دیده می‌شود. این سطح فرسایشی در میدان سیوند با فراوانی پیزویدهای کالیچی و تشکیل میکروکنگلومرای پیزویدی (شکل‌های ۷-الف، ب، پ و ت) به خوبی مشخص است. برشی شدن (شکل ۷-ث) در بخش‌هایی در زیر این مرز به‌ویژه در میدان سیری اسفند نمایانگر گسترش تخلخل غاری و کارستی شدن و ریزش‌های ناشی از آن است.

در سکانس‌های ۲ و ۳ که با مرز سکانسی نوع اول (ناپیوستگی) پایان می‌یابند، در اثر نفوذ آب‌های جوی در زیر مرزهای سکانسی، تأثیر انحلال باعث گسترش تخلخل حفره‌ای و قالبی شده است که می‌تواند باعث بالا رفتن کیفیت مخزنی شود. افزون بر این به‌طور کلی توالی‌های مورد مطالعه به‌سوی بالا کم‌ژرفاشونده هستند. کم‌ژرفا شدن رخساره‌ها باعث افزایش رودیست‌ها می‌شود و انحلال قطعات رودیستی با اسکلت ناپایدار آراگونیتی موجب افزایش تخلخل می‌شود که می‌تواند باعث بالا رفتن کیفیت مخزنی در بخش‌های بالایی توالی‌ها شود. ستون‌های چینه‌شناسی، عوارض دیاژنزی مهم و سکانس‌های شناسایی شده در میادین مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است.

۷- نتیجه‌گیری

با مطالعات انجام شده روی مقاطع نازک، اطلاعات مغزه و لاگ گاما و بررسی رخساره‌های بخش بالایی سازند سروک در میادین نفتی سیری می‌توان نتیجه گرفت که کربنات‌های سازند سروک در یک رمپ کربناتی هموکلینال نهشته شده‌اند. مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی شناسایی شده در توالی مورد مطالعه شامل آشفستگی زیستی، میکرایتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن، استیلولیتی شدن، پیریتی شدن و ایجاد شکستگی‌هاست. ۳ سکانس رسوبی رده سوم در این توالی شناسایی شد که سکانس اول با مرز سکانسی نوع دوم و دو سکانس بالایی با مرزهای سکانسی نوع اول پایان می‌یابند. سکانس اول در برگیرنده بخش‌های ژرف‌تر محیط رسوبی است و فرایندهای دیاژنزی چیره در آن شامل آشفستگی زیستی، استیلولیتی شدن و دولومیتی شدن است؛ انحلال گسترده و سیمانی شدن بیشترین فرایندهای دیاژنزی در سکانس‌های دوم و سوم به‌ویژه در زیر مرزهای سکانسی است. مرز سکانسی سوم با گسترش پیزویدهای کالیچی در سطح ناپیوستگی جدا کننده سازند سروک بالایی (میشریف) از سنگ‌های بالایی (سازند لافان) است.

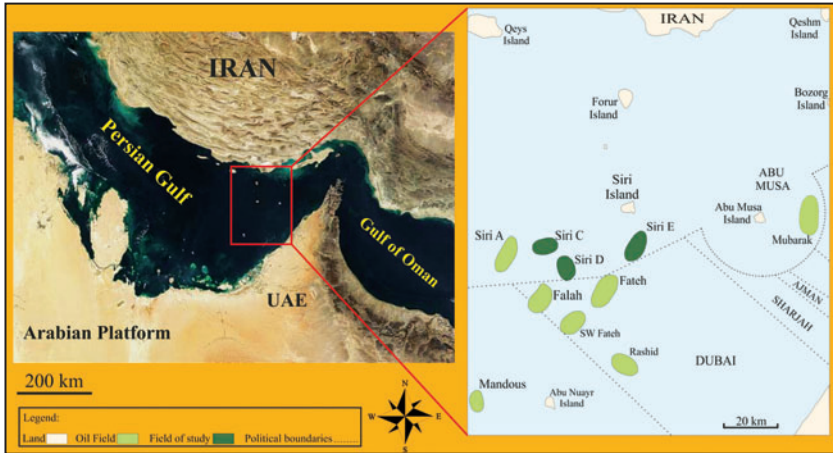
و ریزرخساره ۳ (وکستون و پکستون اسکلتی در اندازه سیلتی مربوط به رمپ بیرونی) در میدان دنا و بیشترین میزان لاگ گاما در هر توالی است. دسته رخساره تراز بالا (HST) از رخساره‌های حوضه و رمپ بیرونی تا رخساره پکستونی (در سیری اسفند) و گرینستونی (در سیری سیوند و دنا) رمپ میانی دنبال می‌شود. مرز سکانسی (SB) در هر ۳ میدان نوع دوم است. این مرز با ریزرخساره ۴ (پکستون بایوکلاستی ریزدانه) در میدان اسفند و ریزرخساره ۵ (گرینستون بایوکلاستی کورتوییدی ریزدانه) در میدان‌های سیوند و دنا نشان‌دهنده بیشترین کم‌ژرفاشوندگی در این دسته رخساره است. آشفستگی زیستی در سرتاسر این سکانس کم‌ویش به‌صورت یکنواخت دیده می‌شود. سیمانی شدن به‌صورت محدود در بخش‌های بالایی دسته رخساره تراز بالا دیده می‌شود. انحلال به‌صورت گسترده در این سکانس وجود ندارد و تنها در دسته رخساره تراز بالا با انحلال بخشی از خرده‌های رودیستی، تخلخل قالبی ایجاد شده است. استیلولیتی شدن و دولومیتی شدن مرتبط با آن در سرتاسر این سکانس به‌ویژه در دسته رخساره پیشرونده با رخساره ژرف‌تر دیده می‌شود. این سکانس با داشتن فسیل‌های الیگوستیژینا به‌طور گسترده در ریزرخساره‌های مربوط به حوضه، دربرگیرنده زیست‌زون شماره ۲۶ (Wynd (1965) Oligostegina interval zone) به سن سنومانین پیشین است. بیشترین سطح غرقابی (mfs) در این سکانس معادل بیشترین سطح غرقابی K130 تعیین شده توسط (Sharland et al., 2001) در صفحه عربی است.

۶-۲. سکانس ۲

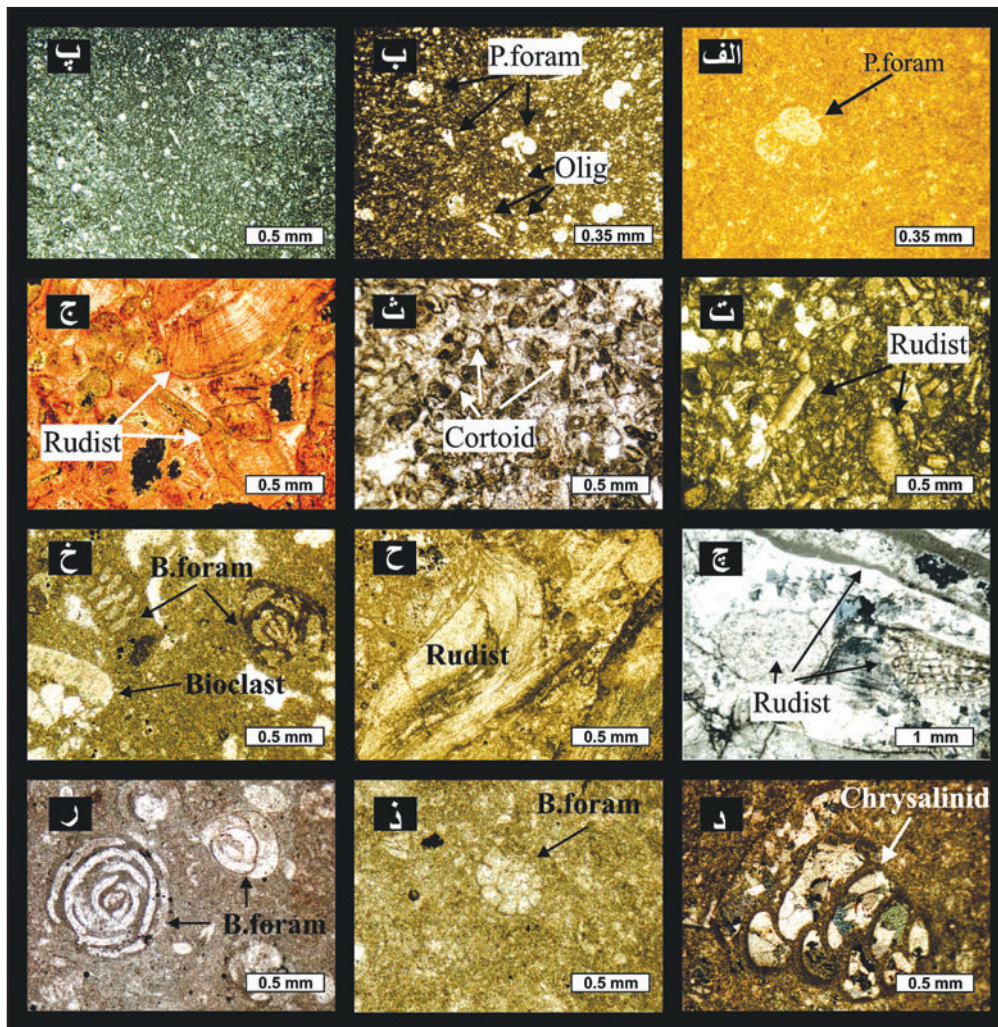
این سکانس دارای ستریای ۳۷ متر در میدان سیری اسفند، ۲۹ متر در میدان سیری دنا و ۱۶ متر در میدان سیوند است. دسته رخساره پیشرونده در این سکانس هم کم‌ستریا (۵/۵ تا ۹ متر) و نمایانگر بالا آمدن سریع آب دریاست و در هر ۳ میدان با رخساره پکستونی یا گرینستونی رمپ میانی آغاز و در بیشترین سطح سیلابی مطابق با بیشترین میزان لاگ گاما به ریزرخساره شماره ۳ مربوط به رمپ بیرونی (پکستون تا وکستون اسکلتی در اندازه سیلتی) می‌رسد. دسته رخساره تراز بالا در برگیرنده رخساره‌های پکستونی رمپ بیرونی تا رخساره گرینستونی رمپ میانی (در سیری سیوند و دنا) و رخساره گرینستونی و رودستونی شول (در میدان سیری اسفند) است و به مرز سکانسی نوع اول می‌رسد (شکل ۸). انحلال گسترده بدون وابستگی به فابریک و ایجاد تخلخل حفره‌ای (شکل‌های ۵-الف و ب)، انحلال بلورهای دولومیت مرتبط با استیلولیت (شکل‌های ۵-ت و ث) و انحلال سیمان‌های دفنی (شکل ۵-پ) در زیر مرز سکانسی به‌ویژه در رخساره‌های گرینستونی و رودستونی مربوط به شول در میدان سیری اسفند نشان‌دهنده فرارگیری دوباره رسوبات در محیط دیاژنزی جوی در مرحله تلوژن پس از مرحله دفن ژرف است. گسترش نیافتن عوارض بالا در سکانس سوم نشان‌دهنده وجود مرز سکانسی نوع اول در رأس سکانس دوم است. چنین حالتی را (Rahimpour-Bonab et al., 2012) در سازند سروک در جنوب باختری ایران دیده و این ناپیوستگی درون سازند سروک را به مرز سنومانین-تورونین نسبت داده‌اند. برخی این ناپیوستگی را محلی دانسته‌اند که تنها در بالاآمدگی‌های قدیمی به ثبت رسیده است (برای نمونه: Alsharhan & Nairn, 1997; Ziegler, 2001; Sharland et al., 2001).

۶-۳. سکانس ۳

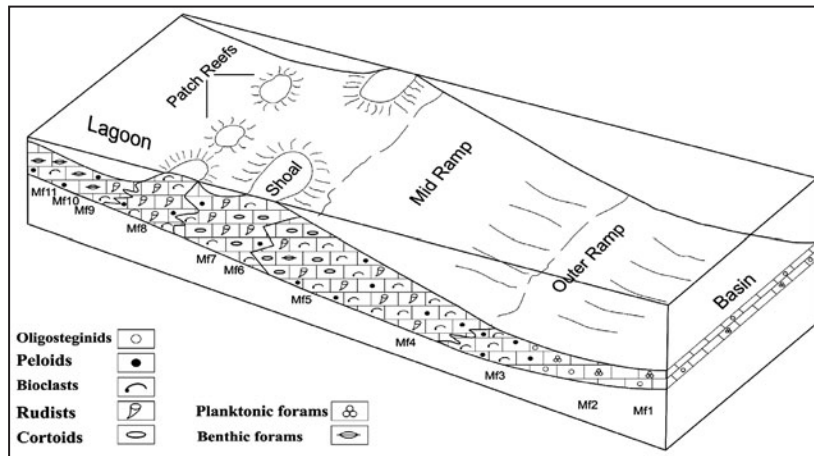
این سکانس دارای ستریای ۱۸ متری در سیری اسفند است و دسته رخساره پیشرونده با رخساره وکستونی (ریزرخساره‌های شماره ۹ و ۱۰) لاگون آغاز می‌شود و با رخساره فلوتستونی ریف‌های تکه‌ای (ریزرخساره شماره ۸) در بیشترین سطح سیلابی پایان می‌یابد. در دسته رخساره تراز بالا تناوب رخساره‌های بالا به رخساره



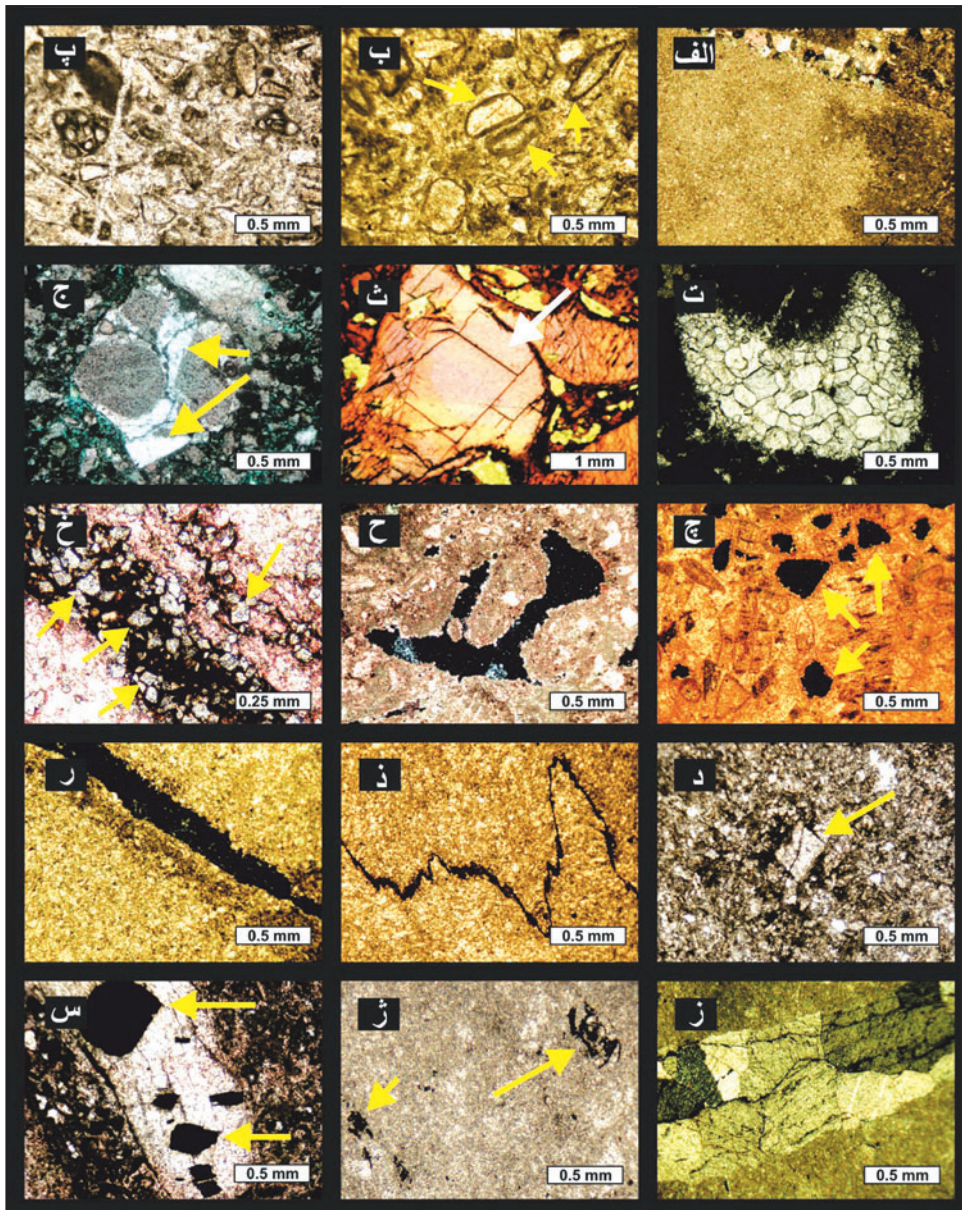
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.



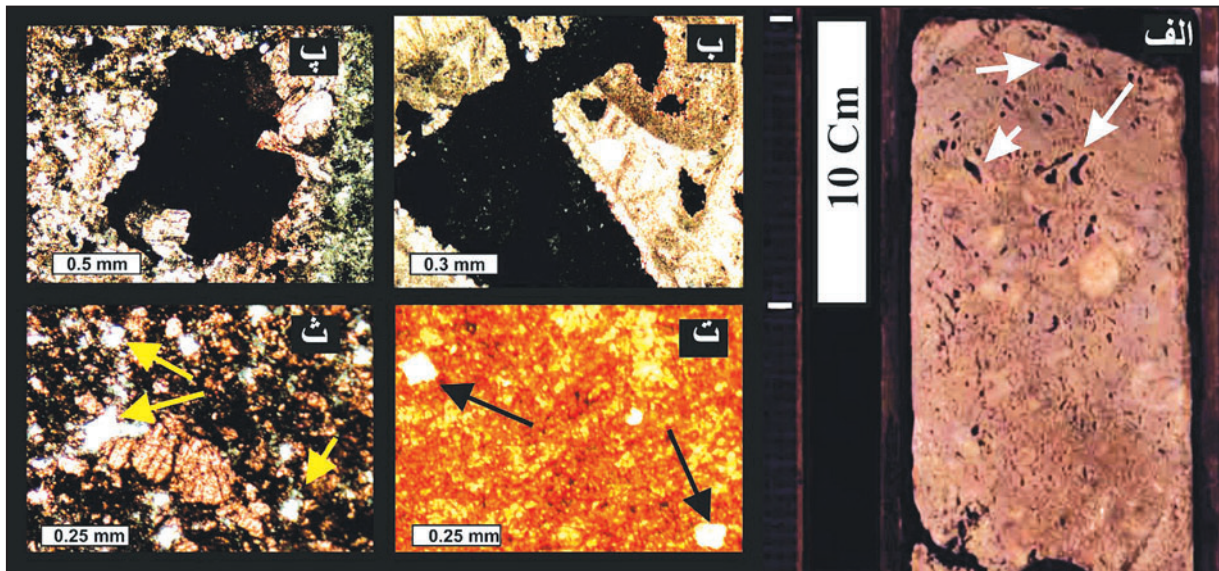
شکل ۲- ریزرخساره‌های سازند سروک بالایی در میدین مورد مطالعه: الف) مادستون با فسیل روزن‌بران پلانکتونیک، مربوط به محیط ژرف و کم‌انرژی حوضه؛ ب) وکستون تا وکستون دارای روزن‌بران پلانکتونیک و الیگوستژینید مربوط به حوضه؛ پ) پکستون تا وکستون اسکلتی در اندازه سیلتی مربوط به محدوده رمپ بیرونی؛ ت) پکستون بایو کلاستی ریزدانه، که بیشتر دانه‌ها خرده‌های رودیستی هستند، مربوط به رمپ میانی؛ ث) گرینستون بایو کلاستی کورتوییدی ریزدانه مربوط به رمپ میانی نزدیک به شول؛ ج) گرینستون رودیستی گرد شده بدون ماتریکس گلی مربوط به پشته‌های کم‌انرژی (شول)؛ چ) رودستون رودیستی کورتوییدی مربوط به پشته‌های کم‌انرژی (شول)؛ ح) پکستون تا فلوئتستون رودیستی مربوط به ریف‌های کومه‌ای؛ خ) وکستون بایو کلاستیکی دارای روزن‌بران کفزی مانند میلیولید و تکستولارید، مربوط به محیط کولاب؛ د) وکستون حاوی کریسالینید، مربوط به محیط کولاب؛ ذ، ر) مادستون تا وکستون دارای روزن‌بران کفزی از جمله نازاتا و میلیولید، مربوط به محیط کولاب از رمپ داخلی.



شکل ۳- محیط رسوبی سازند سروک بالایی در منطقه مورد مطالعه.



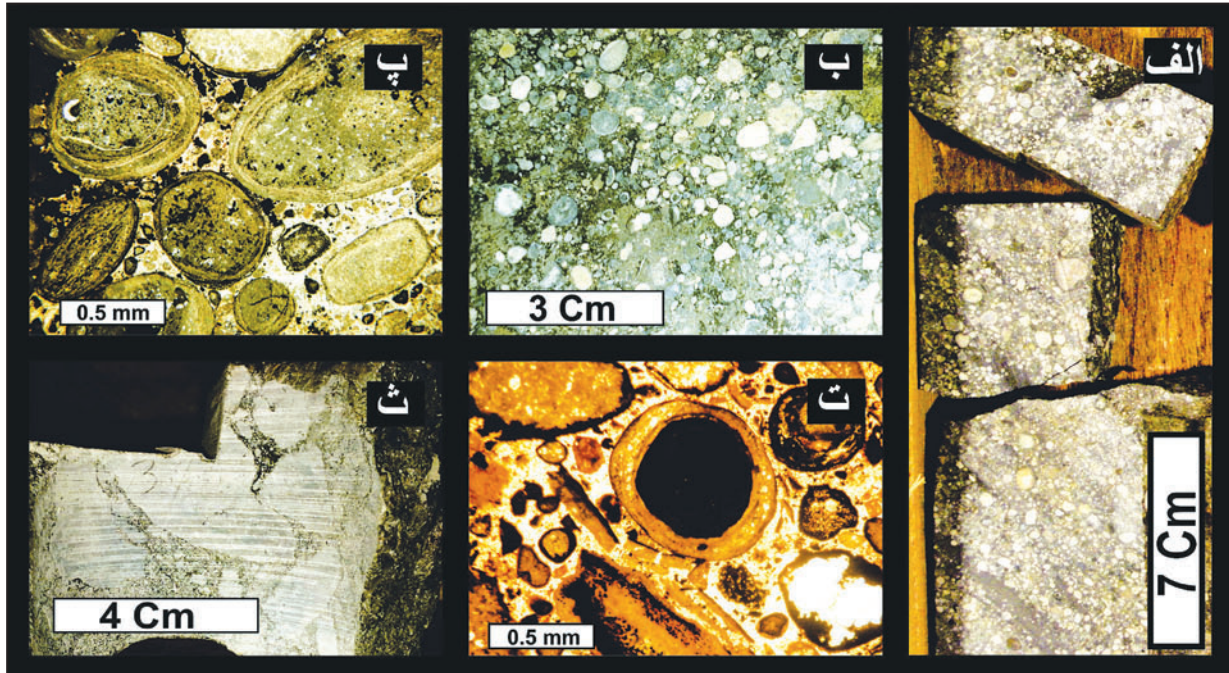
شکل ۴- فرایندهای دیاژنزی مهم مشاهده شده در سازند سروک بالایی: الف) آشفستگی زیستی مربوط به محیط دیاژنز دریایی؛ ب) میکربیتی شدن دانه‌ها و ایجاد پوشش میکربیتی مربوط به محیط دیاژنز دریایی؛ پ) سیمان کلسیتی هم‌بعد ریزبلور میان دانه‌ها مربوط به محیط دیاژنز جوی؛ ت) سیمان کلسیتی دروزی پرکننده تخلخل حفره‌ای، مربوط به محیط دیاژنز جوی؛ ث) سیمان کلسیت اسپاری بلوکی درشت‌بلور، مربوط به محیط دیاژنز دفنی؛ ج) سیمان سین‌تکسیال شفاف در پیرامون دانه‌های اکتینوید مربوط به محیط دیاژنز جوی؛ چ) انحلال انتخاب کننده فابریک، (بیشتر جوی)؛ ح) انحلال حفره‌ای (بیشتر تلوژنتیک)؛ خ) دولومیتی شدن مرتبط با استیلولیت مربوط به محیط دیاژنز دفنی؛ د) دولومیت شکل‌دار درشت مربوط به محیط جوی؛ ذ) استیلولیت مربوط به محیط دیاژنز دفنی؛ ر) شکستگی باز مربوط به مرحله تلوژنتیک؛ ز) شکستگی پر شده توسط سیمان دفنی؛ ژ) پیریت ریز بلور در حفرات میلیولید، مربوط به محیط دیاژنز دریایی؛ س) بلورهای پیریت شکل‌دار درشت که در طی دیاژنز دفنی ایجاد شده است.



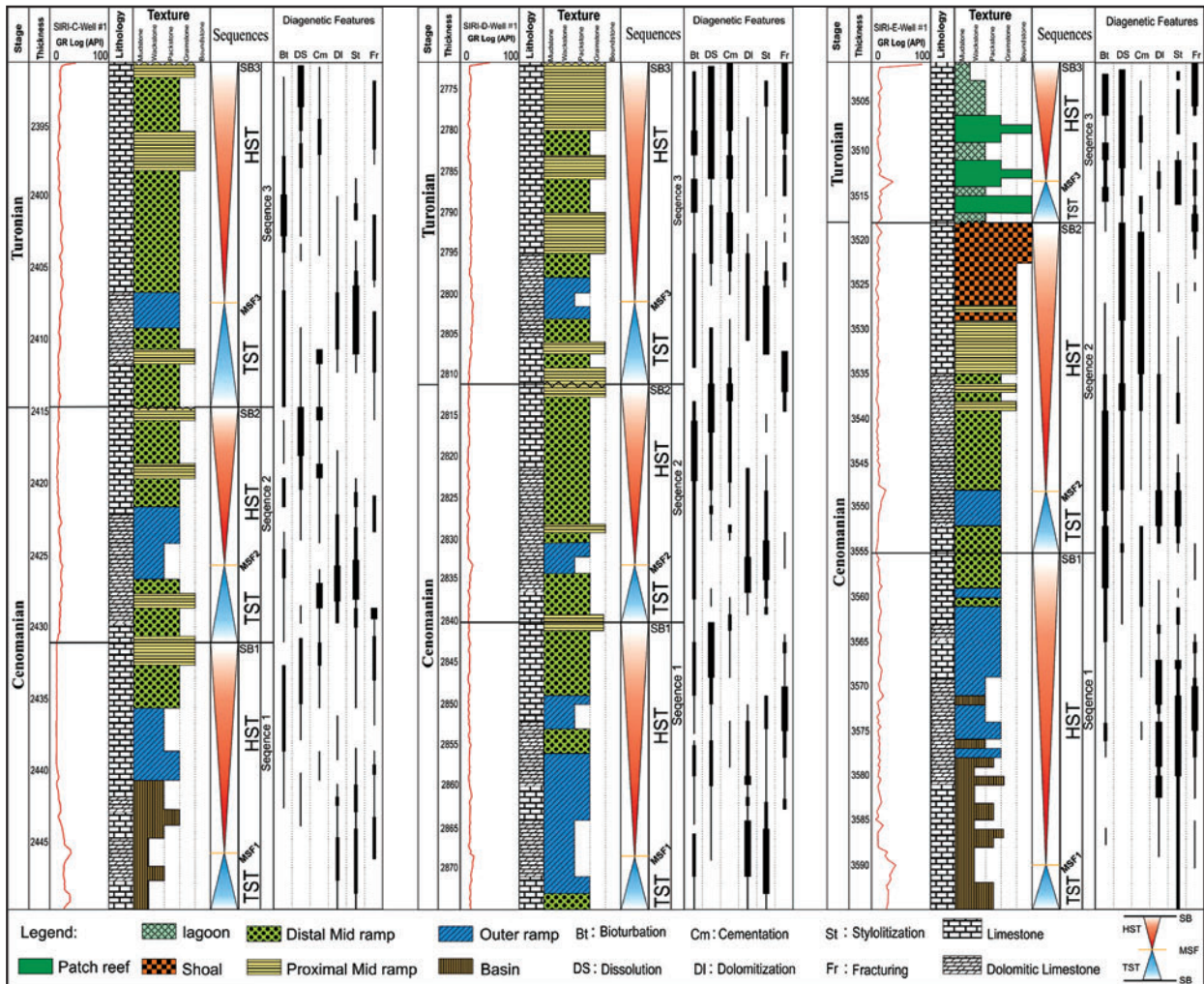
شکل ۵- انحلال در مرحله تلوژنز: الف) تخلخل حفره‌ای (تصویر مغزه)؛ ب) تخلخل حفره‌ای (تصویر مقطع میکروسکوپی)؛ پ) انحلال سیمان تدفینی؛ ت و ث) انحلال بلورهای دولومیت.

Phase	Diagenesis Processes	Marine	Meteoric	Burial
Eogenic	Bioturbation	██████████		
	Micritization	██████████		
	Framboidal Pyrite	██████████		
	Dolomitization		●●●●●●●●	
	Fine Equant Calcite Cement		●●●●●●●●	
	Syntaxial Calcite Cement		●●●●●●●●	
	Drusy Calcite Cement		●●●●●●●●	
	Dissolution (Mainly fabric-selective)		●●●●●●●●	
Mesogenic	Blocky Calcite Cement			●●●●●●●●
	Euhedral Pyrite			●●●●●●●●
	Stylolites			●●●●●●●●
	Dolomitization (stylolite-related)			●●●●●●●●
Telogenic	Fracturing		●●●●●●●●●●●●●●	
	Dissolution (Mainly non fabric-selective)		●●●●●●●●	
Enhancing porosity		●●●●●●●●		
Destroying porosity		●●●●●●●●		
No change in porosity		██████████		

شکل ۶- انواع فرایندهای دیاژنز در سازند سروک در مقاطع مورد مطالعه.



شکل ۷- الف و ب) میکروکنگلومرای پیرویدی در سطح فرسایشی رأس سازند سروک (تصویر مغزه)؛ پ و ت) تصویر میکروسکوپی پیرویدهای کالیچی؛ ث) برشی شدن در زیر ناپوستگی رأس سازند سروک (تصویر مغزه).



شکل ۸- ستون چینه‌شناسی و سکانس‌های مشاهده شده در چاه‌های مورد مطالعه.

کتابنگاری

خانجانی، م.، ۱۳۹۲- چینه‌نگاری سکانسی سازندهای سروک و ایلام در میادین نفتی منطقه سیری واقع در خلیج فارس و ارتباط آن با خصوصیات مخزنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده علوم پایه، رساله دکتری، ۱۶۸ صفحه.

غلامی‌زاده، پ. و آدابی، م.، ح.، ۱۳۹۰- مطالعه فرایندهای دیاژنتیکی و تغییرات ژئوشیمیایی عناصر فرعی سازند سروک در جنوب ایران، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال ۲۷، شماره ۴۲، صفحات ۵۳ تا ۷۲.

مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۳۶ صفحه.

References

- Ahr, W. M., 2008- Geology of carbonate reservoirs. John Wiley and Sons, Chichester, 296 p.
- Alsharhan, A. S. & Nairn, A. E. M., 1986- A review of the Cretaceous formations in the Arabian Peninsula and Gulf: part I, Lower Cretaceous (Thamama Group), stratigraphy and paleogeography, *Journal of Petroleum Geology* 9: 365-392.
- Alsharhan, A. S. & Nairn, A. E. M., 1988- A review of the Cretaceous formations in the Arabian Peninsula and gulf: part II, mid-Cretaceous (Wasia Group), stratigraphy and paleontology. *Journal of Petroleum Geology* 11: 89-112.
- Alsharhan, A. S. & Nairn, A. E. M., 1997- Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Elsevier, Amsterdam, 843 p.
- Beiranvand, B., Ahmadi, A. & Sharafodin, M., 2007- Mapping and classifying flow units in the upper part of the middle Cretaceous Sarvak formation (Western Dezful Embayment, SW Iran) based on a determination of the reservoir types. *Journal of Petroleum Geology* 30: 357-373.
- Beydoun, Z. R., 1991- Arabian plate hydrocarbon geology and potential - a plate tectonic approach. *American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology*, 33-77.
- Beydoun, Z. R., Hughes Clarke, M. W. & Stoneley, R., 1992- Petroleum in the Zagros Basin: a late Tertiary foreland basin overprinted onto the outer edge of a vast hydrocarbon-rich Paleozoic-Mesozoic passive margin shelf. In: Macqeen, R., Leckie, D.A. (Eds.), *Foreland Basins and Fold Belts*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 55: 309-339.
- Burchette, T. P. & Britton, S., 1985- Carbonate facies analysis in the exploration for hydrocarbons: a case study from the cretaceous, *Geological Society of London, Oxford, Black wells*, p. 311-388.
- Butler, I. B. & Rickard, D., 2000- Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II) monosulfide by hydrogen sulphide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64: 2665-2672.
- Dickson, J. A. D., 1965- A modified staining technique for carbonate in thin section, *Nature*, 205: 587.
- Dunhum, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E. (ed.), *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1: 108-121.
- Embry, A. F. & Klovan, J. E., 1971- A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, NWT, *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19: 730 - 781.
- Emery, D. & Meyers, K. J., 1996- Sequence Stratigraphy. Blackwell, Oxford. Jordan, C.F., Connaly, T.C. & Vest, H.A. 1985. Middle Cretaceous carbonate of Mishrif Formation, Fateh Field, offshore Dubai, U.A.E. In: Roehl, P.O. & Choquette, P.W. (eds) *Carbonate petroleum reservoirs*. Springer Verlag, New York, 426-442.
- Farzadi, P., 2006- The development of Middle Cretaceous carbonate platforms, Persian Gulf, Iran: Constraints from seismic stratigraphy, well and biostratigraphy. *Petroleum Geoscience*, 12: 59-68.
- Flügel, E., 2010- *Microfacies of Carbonate Rocks: analysis, interpretation and application*. Springer, Berlin Heidelberg, New York, 984 p.
- Fluteau, F., Ramstein, G., Besse, J., Guiraud, R. & Masse, J. P., 2007- Impacts of palaeogeography and sea level changes on mid-Cretaceous climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 247: 357-381.
- Geel, T., 2000- Recognition of stratigraphic sequences in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analysis of Palaeogene deposits in southeastern Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 155: 211-238.
- Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H. & Taheri, A., 2009- Facies distribution and sequence stratigraphy of the Coniacian-Santonian succession of the Bangestan palaeo-high in the Bangestan Anticline, SW Iran. *Facies* 55: 243-257.
- Ghabeishavi, A., Vaziri-Moghaddam, H., Taheri, A. & Taati, F., 2010- Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of the Bangestan anticline, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 37: 275-285.
- Ghazban, F., 2007- *Petroleum geology of the Persian Gulf*, Joint publication, Tehran University Press and National Iranian Oil Company, Tehran, 707p.

- Gregg, J. M. & Sibley, D. F., 1984- Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 53, p. 908-931.
- Hajkazemi, E., Al-Aasm, I. S. & Coniglio, M., 2010- Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the Cenomanian-Turonian upper Sarvak Formation, southwestern Iran. *Geological Society, London, Special Publication 330: 253-272.*
- Harris, P. M., Frost, S. H., Seiglie, G. A. & Schneidermann, N., 1984- Regional unconformities and depositional cycles, Cretaceous of the Arabian Peninsula. In: Schlee, J.S. (Ed.), *Interregional unconformities and hydrocarbon accumulation. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 36: 67-80.*
- Hollis, C., 2011- Diagenetic controls on reservoir properties of carbonate successions within the Albian-Turonian of the Arabian Plate. *Petroleum Geoscience 17: 223-241.*
- James, G. A. & Wynd, J. G., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 49: 2182-2245.*
- Kamali, M. R., Lemon, N. M. & Apark, S. N., 1995- Porosity generation and reservoir potential of Ouldburra Formation carbonates, Officer Basin, South Australia, *Australian Petroleum Exploration Association (APEA) Journal, 35: 106-120.*
- Kaufman, J., Cander, H. S., Daniels, L. D. & Mayers, W. J., 1988- Calcite cement stratigraphy and cementation history of the Burlington-Keokuk Formation (Mississippian), Illinois and Missouri: *Journal of Sedimentary Petrology, 58: 312-326.*
- Keller, G., Adatte, T., Berner, Z., Chellai, E. H. & Stueben, D., 2008- Oceanic events and biotic effects of the Cenomanian-Turonian anoxic event, Tarfaya Basin, Morocco. *Cretaceous Research 29: 976-994.*
- Lapponi, F., Casini, G., Sharp, I., Blendinger, W., Fernández, N., Romaine, I. & Hunt, D., 2011- From outcrop to 3D modelling: a case study of a dolomitized carbonate reservoir, Zagros Mountains, Iran. *Petroleum Geoscience 17: 223-241.*
- Lucia, F. J., 2007- Carbonate reservoir characterization. Springer-Verlag, Berlin, 341 p.
- Machel, H. M., 2004- Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal. In: Braithwaite, C.J.R., Rizzi, G., Darke, G. (Eds), *The Geometry and petrogenesis of dolomite hydrocarbon reservoirs, Geological Society, London, Special Publication, 235: 7-63.*
- Moore, C. H., 2001- Carbonate reservoir porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework. Elsevier, Amsterdam, 444 p.
- Morrow, D. W., 1982- Diagenesis, dolomites, part two: dolomitization models and ancient dolostones. *Geoscience Canada 9: 95-107.*
- Murris, R. J., 1980- Middle East: stratigraphic evolution and oil habitat. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 64: 597-618*
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Enayati-Bidgoli, A. H. & Omidvar, M., 2012- Coupled imprints of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of a mid Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, southwest Iran., *Cretaceous Research, 37: 15-34*
- Razin, P., Taati, F. & Van Buchem, F. S. P., 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, F.S.P., Gerdes, K.D., Esteban, M. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic carbonate systems of the Mediterranean and the Middle East: Stratigraphic and diagenetic reference models. Geological Society, London, Special Publication, 329: 1-7.*
- Roger, M. S., 2006- Stratigraphic reservoir characterization for petroleum geologists, geophysicists and engineers, Elsevier, Amsterdam, 492 p.
- Sarg, J. F., 1988- Carbonate sequence stratigraphy. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. & Van Wagoner, J.C. (eds) *Sea-Level Changes: an Integrated Approach. SEPM Special Publication, 42: 155-181.*
- Schlager, W., 2005- Carbonate sedimentology and sequence stratigraphy. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology Series 8: 200 p.*
- Setudehnia, A., 1978- The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent areas. *Journal of Petroleum Geology 1: 3-42.*
- Shano, G. G., Samimi, B. & Bagherpour, H., 1993- An integrated reservoir characterization study of a giant Middle East oil field: Part I; Geological modelling. *Society of Petroleum Engineers (SPE), Middle East Oil Technical Conference and Exhibition, Bahrain, 3-6 April, 14 p.*
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heyward, A. P., Horbury, A. D. & Simmons, M. D., 2001- Arabian plate sequence stratigraphy. *GeoArabia, Special Publication 2: 371 p.*
- Sharp, I., Gillespie, P., Morsalnezhad, D., Taberner, C., Karpuz, R., Verge, S. J., Horbury, A., Pickard, N., Garland, J. & Hunt, D., 2010- Stratigraphic architecture and fracture-controlled dolomitization of the Cretaceous Khami and Bangestan Groups: an outcrop case study, Zagros Mountains, Iran. In: van Buchem, F.S.P., Gerdes, K.D., Esteban, M. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic carbonate systems of the Mediterranean and the Middle East: Stratigraphic and diagenetic reference models. Geol. Soc. Lond., Spec. Publ. 329, 343-396.*
- Taghavi, A. A., Mork, A. & Emadi, M. A., 2006- Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehluran field, SW Iran. *Petroleum Geoscience 12: 115-126.*
- Van Buchem, F. S. P., Razin, P., Homewood, P. W., Oterdoom, W. H. & Philip, J., 1996- High-resolution sequence stratigraphy of the Natih Formation (Cenomanian-Turonian) in northern Oman: distribution of source rocks and reservoir facies. *GeoArabia 1: 65-91.*

- Van Buchem, F. S. P., Simmons, M. D., Droste, H. J. & Davies, R. B., 2011- Late Aptian to Turonian stratigraphy of the eastern Arabian Plate – depositional sequences and lithostratigraphic nomenclature. *Petroleum Geoscience*, 17(3), 211-222.
- Videtch, P. E., Mclimans, R. K., Watson, H. K. S. & Nagy, R. M., 1988- Depositional, diagenetical, thermal and maturation histories of cretaceous Mishrif formation, Fateh field, Dubai. *AAPG. Bull.*, V. 72, No 10, P. 1143- 1159.
- Wagner, P. D., 1990- Geochemical stratigraphy and porosity controls in Cretaceous carbonates near the Oman Mountains. In: Robertson, A.H.F., Searle, M.P., Ries, A.C. (Eds.), *The geology and tectonics of the Oman Region*. Geological Society London, Special Publication, 49: 127-138.
- Weidlich, O., 2010- Meteoric diagenesis in carbonates below karst unconformities: heterogeneity and control factors. *Geological Society London, Special Publication 329*, 291-315.
- Wilson, J. L., 1975- *Carbonate facies in geologic history*. Springer-Verlag, New York, 471 p.
- Wynd, A. G., 1965- *Biofacies of the Iranian oil consortium a greement area (I.O.O.C)*. Report No. 1082, (Unpublished paper).
- Ziegler, M., 2001- Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences. *GeoArabia 6*: 445-504.

Sedimentary Environment, Diagenesis and Sequence Stratigraphy of Upper Sarvak Formation (Mishrif Equivalent) in Siri Oil Fields

M. Khanjani ^{1*}, S. R. Moussavi-Harami ², H. Rahimpour-Bonab ³ & M. R. Kamali ⁴

¹ Ph.D., Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), Tehran, Iran

² Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Professor, Department of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Exploration and Production Division, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran

Received: 2013 January 08

Accepted: 2013 May 27

Abstract

The Albian - Turonian Sarvak Formation, the second major reservoir formation in south and southwest Iran is composed of mainly carbonate rocks. In this study, the upper part of Sarvak Formation in Siri Oil Fields was studied to determine facies, depositional environments, diagenetic processes and sequence stratigraphy analysis. The facies analysis led to the recognition of 12 microfacies in 5 facies associations, which deposited in a homoclinal carbonate ramp environment. The main diagenetic processes affected carbonates of this formation are bioturbation, micritization, cementation, dissolution, dolomitization, stylolitization, pyritization and fracturing. The most important cements in this formation are fine equant calcite cement, drusy mosaic calcite cement, coarse blocky calcite cement and syntaxial calcite overgrowth cement. Three third order sequences recognized in sequence stratigraphic studies for the upper part of Sarvak Formation taking into account of facies and diagenetic events in a sequence stratigraphic framework.

Keywords: Sarvak Formation, Siri Oilfields, Sedimentary model, Diagenesis, Sequence Stratigraphy.

For Persian Version see pages 263 to 274

*Corresponding author: M. Khanjani; E-mail: drkhanjani@gmail.com