

# محیط رسوبی، دیاژنز و کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در خلیج فارس

نیر شاهوردی<sup>۱\*</sup>، حسین رحیمپور بناب<sup>۲</sup>، محمدرضا کمالی<sup>۳</sup> و بهروز اسرافیلی دیزجی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دکتر، 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، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

<sup>۴</sup>دکتر، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۰

## چکیده

سازند سروک (آلبین - تورونین) از مخازن مهم در میدین نفتی جنوب و جنوب باختر ایران است که بخش قابل توجهی از ذخایر هیدروکربنی را در خود جای داده است. بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی این سازند در چاه‌های مورد مطالعه در بخش‌های شمال باختری، مرکزی و جنوب خاوری خلیج فارس سبب شناسایی ۷ ریزرخساره شد که این رخساره‌ها در ۴ زیرمحیط رخساره‌ای حوضه، رمپ خارجی، رمپ میانی و رمپ داخلی نهشته شده‌اند. مقایسه رخساره‌های شناسایی شده با نهشته‌های همانند در نقاط دیگر، نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در یک رمپ کربناتی هموکلینال است. ارتباط مستقیم میان نوع رخساره‌ها و کیفیت مخزنی سازند سروک بالایی وجود دارد. مطالعات نشان می‌دهد که محیط رسوبی و رخساره‌های تشکیل شده در میدین مورد مطالعه در خلیج فارس تفاوت بسیاری با هم دارند. رخساره‌های رودیستی در میدین مورد مطالعه در جنوب خاور خلیج فارس (مجموعه میدین سیری) گسترش زیادی دارند و به عنوان سنگ مخزن در این ناحیه رفتار کرده‌اند. در میدین مورد مطالعه در باختر (هندیجان و بهرگانسر) و مرکز (لاوان) خلیج فارس رخساره‌های گل‌پشتیان حوضه و لاگون گسترش دارند. مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی دیده شده در سازند سروک شامل نوشکلی، آشفستگی زیستی، میکرابیتی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، استیلولیتی شدن و شکستگی است. در طی دیاژنز رخساره‌های رودیستی به‌صورت انتخابی دچار انحلال و سبب گسترش تخلخل و کیفیت مخزنی در میدین سیری شده‌اند. به‌طور کلی در بخش‌های مرکزی و باختری میدین نفتی مورد مطالعه دیاژنز تأثیر کمی بر خواص مخزنی داشته است؛ اگر چه دولومیتی شدن سبب بهبود ویژگی‌های مخزنی در میدین هندیجان و بهرگانسر شده است. ارزیابی پتروفیزیکی توالی‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که توالی‌های دارای کیفیت مخزنی خوب با رخساره‌های رودیستی مرتبط هستند. همچنین یک روند افزایشی در مقادیر تخلخل و تراوایی به‌ویژه در میدین سیری وجود دارد. این روند با تأثیر دیاژنز جوی در زیر ناپوستگی تورونین ارتباط دارد. نتایج نشان از آن دارد که وجود و تکامل رودیست‌ها تأثیر بسیاری در فرایندهای دیاژنزی و پتانسیل مخزنی در سازند سروک داشته است.

**کلیدواژه‌ها:** سازند سروک، محیط رسوبی، دیاژنز، کیفیت مخزنی، خلیج فارس.

\*نویسنده مسئول: نیر شاهوردی

E-mail: nayyer.shahverdi@yahoo.com

## ۱- پیش‌نوشتار

تأثیرخشکی‌زایی ناحیه‌ای تورونین میانی، این رمپ کربناتی رخنمون تحت جوی یافته و در معرض انحلال و کارستی شدن شدید قرار گرفته است (James & Wynd, 1975; Setudehnia, 1978; Harris et al., 1984). این کارستی شدن (به‌ویژه در رخساره‌های رودیستی) در بخش بالایی سازند سروک موجب افزایش ویژگی‌های مخزنی و گسترش مخازن سروک شده است (Hajikazemi et al., 2010; Rahimpour-Bonab & Mehrabi, 2012). مخازن سروک بیشتر در زاگرس مرکزی (فروفتادگی دزفول) و همچنین در خاور خلیج فارس گسترش دارد. اگر چه در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری روی سازند سروک در ناحیه زاگرس صورت گرفته است ولی در مورد ویژگی‌های زمین‌شناسی و مخزنی سازند یاد شده در خلیج فارس، اطلاعات کمی وجود دارد. در این مطالعه، رخساره‌ها، دیاژنز و کیفیت مخزنی بخش بالایی و مخزنی سازند سروک در میدین هندیجان (چاه G)، بهرگانسر (چاه‌های S1 و S2)، لاوان و مجموعه میدین سیری (شامل میدین اسفند، دنا و سیوند) به‌صورت برش طولی در خلیج فارس مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۱). میدین هندیجان و بهرگانسر در شمال باختر خلیج فارس و نزدیک خط ساحلی (استان خوزستان) جای گرفته‌اند. میدان نفتی لاوان در بخش مرکزی خلیج فارس و در ۲۰ کیلومتری خط ساحلی استان بوشهر و مجموعه میدین سیری در جنوب خاوری خلیج فارس جای گرفته است. سازند مورد مطالعه در چاه‌های A و B در میدان سیری C، در چاه F در میدان سیری D و در چاه C در میدان سیری E بررسی شده است (شکل ۱).

سازند سروک یا سنگ‌آهک رودیستی به سن کرتاسه میانی (آلبین - تورونین) تشکیل‌دهنده سنگ مخزن بسیاری از مخازن زاگرس و خلیج فارس است (مطیعی، ۱۳۷۲). این سازند جزو گروه بنگستان بوده و در منطقه الگو (تنگ سروک) با ستبرای بیش از ۸۲۱ متر گسترش دارد (James & Wynd, 1965). برخی برآوردها نشان می‌دهد که به همراه سازند ایلام، این سازند یک چهارم نفت برجای کل ایران را در خود ذخیره کرده است (Al-Husseini, 2007). مرز پایینی سازند سروک با سازند کزدمی پیوسته و تدریجی است؛ در حالی که مرز بالایی با سازند ایلام ناپیوسته و همراه با یک نبود رسوبی مهم است. به دلیل همانندی سازند سروک و ایلام، در بسیاری از میدین نفتی فروفتادگی دزفول تعیین مرز بالایی بحث‌برانگیز بوده و با مشکلاتی روبه‌رو است (Motiei, 1993). این سازند در زاگرس مرکزی و خاوری شامل دو رخساره مهم کربناتی‌های کم‌ژرفا (دارای رودیست) و ژرف (الیگوستژین دار) است که در فارس ساحلی با دو عضو یا رخساره آهک اربیتولینادار (عضو مدود) و مارل‌های آگروژیرادار (عضو احمدی) جایگزین می‌شود (James & Wynd, 1965). سازندهای مدود، احمدی و میشریف در خلیج فارس، میشریف در عراق و عربستان سعودی و سازند ناتیبه در عمان معادل‌های این سازند هستند (Alsharhan & Nairn, 1997; Van Buchem et al., 1996). مطالعات در زاگرس مرکزی و خاوری نشان می‌دهد که با پیشروی نسبی سطح آب دریاها در کرتاسه میانی (آلبین - سنومانین)، رسوبات سازند سروک در یک رمپ کربناته هموکلینال دارای ریف‌های کومه‌ای رودیستی نهشته شده‌اند (Taghavi et al., 2006). تحت

## ۲- زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه

روش (1965) Diksone و برای نام‌گذاری رخساره‌ها نیز از روش تقسیم‌بندی Dunham (1962) و Embry & Klovan (1971) استفاده شده است.

برای تعیین کیفیت مخزنی توالی‌های مورد مطالعه با استفاده از مقادیر تخلخل و تراوایی حاصل از تجزیه مغزه‌ها، نمودار تخلخل-تراوایی بر پایه بافت و محیط رسوبی برای رخساره‌های تعیین شده رسم گردید. سپس با استفاده از این نمودارها رابطه میان رخساره‌ها و کیفیت مخزنی و نیز تأثیر فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر میزان تخلخل و تراوایی این توالی مورد بررسی قرار گرفت.

برای هر چاه، سنگ‌شناسی، بافت رسوبی، ذرات رسوبی و رخساره‌های تعیین شده در مغزه‌ها و مقاطع نازک میکروسکوپی با مقیاس مناسب در لاگ‌های رسوبی به‌همراه اطلاعات لاگ گاما و داده‌های تخلخل و تراوایی رسم شد. ریزرخساره‌های تعیین شده با ریزرخساره‌های معرفی شده در مطالعات پیشین تطبیق داده شده است. افزون بر این، فرایندهای دیاژنزی در ارتباط با تخلخل مورد بررسی قرار گرفت. سپس با بررسی و مقایسه لاگ‌های رسوبی و شواهد سنگ‌نگاری به تفسیر محیط رسوبی، دیاژنز و عوامل کنترل‌کننده کیفیت مخزنی پرداخته شد.

### ۴- بررسی رخساره‌ها و محیط رسوبی

مطالعه مقاطع نازک بخش بالایی سازند سروک سبب شناسایی ۷ ریزرخساره رسوبی شد (شکل ۲) که در ۴ زیرمحیط رخساره‌ای حوضه (Basin)، رمپ خارجی (Outer-ramp)، رمپ میانی (Mid-ramp) و رمپ داخلی (Inner-ramp) تشکیل شده‌اند. این ریزرخساره‌ها به شرح زیر خلاصه شده‌اند.

#### ۴-۱. کمربند رخساره‌ای حوضه (Basin)

• **ریزرخساره شماره ۱- مادستون- وکستون پلاژیک (Pelagic mudstone-Wackstone):** اجزای اصلی این ریزرخساره شامل روزن‌بران پلاژیک (گلوبیورینا- گلوبیورنکانا- هدیبرولا) و الیگوستژینیدها است. سوزن اسفنج، خرده‌های اکتینوید و پلوییدهای ریز از دیگر سازنده‌های این ریزرخساره هستند. فراوانی زیادی پلاژیک، بافت گل پشتیبان، فراوانی ناچیز موجودات کف‌زری و نبود ذرات درشت نشان‌دهنده محیط ژرف و کم‌انرژی و نهشته شدن این رخساره در زیر ژرفای تأثیر امواج (SWB) است. این ریزرخساره را می‌توان معادل RMF2 (Flugel 2010) دانست و در کمربند رخساره‌ای ۱ (حوضه) Wilson (1975) قرار می‌گیرد (Ghabeishavi et al., 2010; Rahimpour-Bonab & Mehrabi, 2012).

#### ۴-۲. کمربند رخساره‌ای رمپ خارجی (Outer ramp)

• **ریزرخساره شماره ۲- وکستون دارای میکروبیوکلست (Microbioclastic wackstone):** اجزای اصلی این ریزرخساره واریزه‌های ریز رودیست در اندازه سیلت (کلسی سیلتایت رودیستی) هستند. اسپیکول اسفنج، پلویید، خرده‌های ریز اکتینوید و روزن‌بران پلاژیک به میزان خیلی کم، دیگر سازنده‌های این ریزرخساره هستند که در یک زمینه میکربیتی قرار گرفته‌اند. رودیست‌ها که در بخش‌های کم‌ژرفاتر حوضه رسوبی گسترش می‌یابند (Pomar, 2001)، بر اثر عملکرد امواج و جریان‌ها خرد و به این محیط حمل شده‌اند. فابریک رسوبی و همچنین حضور کانی‌های شرایط احیایی (پیریت) در این ریزرخساره نشان‌دهنده شرایط محیطی کم‌انرژی بخش‌های کم‌ژرفای دریای باز است (Wilson, 1975; Flugel, 2010). این ریزرخساره در محدوده رمپ خارجی گسترش یافته و معادل RMF1 (Flugel 2010) است.

#### ۴-۳. کمربند رخساره‌ای رمپ میانی (Outer ramp)

• **ریزرخساره شماره ۳- بایوکلست وکستون تا پکستون (Bioclastic wackestone to packstone):** اجزای اصلی این ریزرخساره قطعات اسکلتی از منشأ رودیست است. اکتینویدها، دوکفه‌ای‌ها و پلوییدها نیز در این ریزرخساره حضور دارند. اندازه ذرات

حوضه غنی از هیدروکربن خلیج فارس بخشی از صفحه عربی است که در حاشیه خاوری صفحه عربی میان عرض‌های جغرافیایی ۲۰ تا ۳۰ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ تا ۵۷ درجه خاوری جای گرفته است. در طول فانروزوییک این حوضه بخشی از حاشیه غیر فعال قاره‌ای گندوانا بوده است که رو به سوی اقیانوس پالئوتتیس در زمان پالئوزوییک و نوتتیس در زمان مزوزوییک گسترش داشته است. طی برخورد خشکی عربی و ایران مرکزی (مزوزوییک- سنوزوییک)، پیش‌گودال (Foredeep) خلیج فارس در میان زاگرس چین‌خورده و شلف عربی تشکیل شد. فرونشست پیوسته و به نسبت پایدار و شرایط اقلیمی حاکم در طول زمان زمین‌شناسی سبب تشکیل توالی‌های ستر کربناتی و تبخیری (کمتر ماسه‌سنگی) در این حوضه شده است (Murriss, 1980; Edgell, 1992; Alsharhan & Nairn, 1997; Ziegler, 2001; Konyuhov & Maleki, 2006). این حوضه چهار مرحله تکاملی زمین‌شناسی را تجربه کرده است که شامل الف) کامبرین تا کربنیفر (حاشیه غیر فعال)، ب) پرموتریاس (کافت)، ج) ژوراسیک تا کرتاسه پیشین (حاشیه غیر فعال) و د) کرتاسه پسین تا حال (برخورد قاره‌ای) است (Sepehr & Cosgrove, 2005).

چینه‌شناسی، تحول زمین‌شناسی و پتانسیل مخزنی حوضه خلیج فارس در بسیاری از منابع مورد بررسی قرار گرفته است (Murriss, 1980; Edgell, 1992; Alsharhan & Nairn, 1997; Ziegler, 2001). حوضه در نزدیکی استوا، در شرایط اقلیمی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری بوده و یک دریای اپیریکی، تقریباً همه حوضه خلیج فارس و زاگرس را پوشانده بوده است که کربناتی‌های دریایی سروک در آن نهشته شده‌اند (Setudehnia, 1978; Glennie, 2000; Sharland et al., 2001; Ziegler, 2001). در طول سنومانین-تورونین، دو حوضه میان‌شلفی (intrashef basin) در فروافتادگی دزفول و خاور خلیج فارس وجود داشته که با تغییر رخساره از رسوبات سکویی و رودیست‌دار سروک به رسوبات حوضه‌ای و به نسبت ژرف (چند ده متری) همراه بوده است (Murriss, 1980; Alsharhan & Nairn, 1988). فعال شدن زمین‌ساختی حوضه خلیج فارس در این زمان (متأثر از برخورد قاره‌ای) به همراه تغییرات نسبی سطح آب دریا و دیابریسم نمکی سبب شد که رسوب‌گذاری سروک کاملاً پیوسته نباشد و با چندین فاز انقطاع رسوبی همراه باشد (Sharland et al., 2001; Razin et al., 2010; Hajkazemi et al., 2012; Rahimpour-Bonab & Mehrabi, 2012). دو ناپیوستگی ناحیه‌ای (سنومانین میانی و تورونین میانی) و یک ناپیوستگی محلی (سنومانین-تورونین) در ارتباط با این کربنات‌ها شناسایی و گزارش شده است (Van Buchem et al., 2001; Rahimpour-Bonab & Mehrabi, 2012; Rahimpour-Bonab & Mehrabi, 2013).

## ۳- روش مطالعه

در این مطالعه بخش بالایی سازند سروک در ۷ چاه از ۴ میدان هیدروکربنی خلیج فارس شامل میدین هندیجان، بهرگانسر، لاوان و سیری (اسفند، دنا و سیوند) مورد بررسی قرار گرفته است. از مغزه‌های حفاری (به طول ۳۵۰ متر)، مقاطع نازک میکروسکوپی (۵۰۰ عدد)، خرده‌های حفاری، داده‌های تخلخل و تراوایی حاصل از تجزیه مغزه‌ها و داده‌های پتروفیزیکی (به‌ویژه لاگ گاما) در این مطالعه استفاده شده است. در مطالعه نمونه‌های مغزه متغیرهایی چون سنگ‌شناسی، بافت رسوبی و اندازه دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات سنگ‌نگاری برای تعیین بافت رسوبی، نوع ذرات و اندازه آنها، عوارض مربوط به زمان رسوب‌گذاری، محتوای فسیلی، تعیین ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و فرایندهای دیاژنزی صورت گرفت.

برای تفکیک کلسیت از دولومیت، از رنگ‌آمیزی آلزارین سرخ به

(Beydoun et al., 1992; Fluteau et al., 2007; Keller et al., 2008; Hollis, 2011) سبب گسترش رودیست‌ها در محیط نور دوست (photozoan) لبه سکو شده است.

## ۵- بررسی چگونگی گسترش ریزرخساره‌های سازند سروک بالایی در میادین مورد مطالعه

در میادین مورد مطالعه نوع، گسترش و ستبرای ریزرخساره‌های بررسی شده در میادین مختلف متفاوت است (شکل ۴). به طور کلی ریف‌های کومه‌ای (رودیستی) در میادین شمالی (هندیجان و بهرگانسر) نسبت به میادین مرکزی (لاوان) و جنوب خاوری (مجموعه میادین سیری) گسترش بسیار محدودی دارند. در میادین شمالی رخصاره‌های حوضه و رمپ خارجی با درصد به نسبت بالا حضور دارند. رخصاره‌های رمپ میانی در این میادین گسترش محدودی دارند. ریزرخساره‌های رمپ داخلی در این میادین تنها شامل ریزرخساره‌های محیط لاگون است. در میدان نفتی لاوان (مرکز خلیج فارس) رخصاره‌های حوضه و رمپ خارجی گسترش خیلی کم ولی رخصاره‌های محیط رمپ میانی گسترش زیادی دارند. از رخصاره‌های رمپ داخلی تنها رخصاره‌های لاگونی حضور دارند. در میادین سیری (C) ریزرخساره‌های رمپ داخلی دیده نشده‌اند. در میدان سیری (D) ریزرخساره‌های پشته‌های زیرآبی و ریف‌های کومه‌ای دیده می‌شوند و ریزرخساره‌های مربوط به محیط لاگون حضور ندارند. در میدان سیری (E)، رمپ داخلی، با رخصاره‌های گریستونی و رودستونی مربوط به پشته‌های زیرآبی شروع و توسط رخصاره‌های فلوتستونی دارای رودیست (ریف‌های کومه‌ای) دنبال می‌شود. رخصاره‌های مادستونی و وکستونی لاگون بالاترین بخش توالی مطالعه شده را تشکیل می‌دهند. جدول ۱ انواع ریزرخساره‌های دیده شده در چاه‌های میادین مورد مطالعه و درصد ریزرخساره‌های هر یک از چاه‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۵). در طی سنومانین-تورونین، یک حوضه درون شلفی تحت تأثیر فرونشست (سوسیدانس) تفریقی در اثر عملکرد گسل‌های محلی در خاور خلیج فارس گسترش یافته است (Murriss, 1980). این حوضه با رسوب‌گذاری رخصاره‌های گل‌پشتیبان و همی‌پلاژیک دارای یک حاشیه با گسترش ریف‌های رودیستی بوده است. رشد مکرر ریف‌های یاد شده و ریزش مداوم آن به سوی ژرفا موجب گسترش رخصاره‌های خرده رودیستی بخش بالایی سروک در ایران (میادین سیری) و میشریف در آب‌های ایالات متحده عربی شده است. این مجموعه‌های رودیستی با پتانسیل بالای مخزنی، موجب تشکیل مخازن نفتی در این ناحیه شده است (شکل ۱).

### ۵-۱. دیاژنز

از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنزی مؤثر بر سازند سروک بالایی می‌توان به نوشکلی، زیست‌آشفتگی، میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، فشردگی و شکستگی اشاره کرد. به طور کلی سازند سروک دیاژنز کم‌ژرفا (دریایی و جوی) تا ژرف را تجربه کرده است.

- **نوشکلی:** نوشکلی به دو صورت در توالی‌های مورد مطالعه دیده می‌شود. نوشکلی ماتریکس میکرایتی (نوشکلی افزایشی) که در این حالت میکرات‌ها در اثر تبلور دوباره و رشد بلورها به میکرواسپارایت تبدیل شده‌اند (شکل ۶-الف). این فرایند در بسیاری از نمونه‌های نازک میکروسکوپی بسیار گسترده است؛ به گونه‌ای که تشخیص بافت اولیه رسوبی را در برخی از رخصاره‌ها غیر ممکن ساخته است. نوع دوم نوشکلی دیده شده در توالی‌های مورد مطالعه تبدیل آراگونیت به کلسیت (نوشکلی پلی‌مورفیک) است که در این حالت با یوکلسیت‌هایی که ترکیب آراگونیتی داشته‌اند (رودیست‌ها و دو کفه‌ای‌ها) دچار این نوع فرایند شده‌اند. در میدان سیری E نوع دوم بسیار گسترده است (شکل ۶-ب). نوشکلی افزایشی و تبدیل آراگونیت به کلسیت در محیط‌های فریاتیك، وادوز و دفنی رخ می‌دهد. تنها لازمه این فرایند وجود دانه‌های ناپایدار آراگونیتی و آب‌های فقیر از منیزیم است (Bathurst, 1975). میکرایتی شدن نیز نوع دیگری از نوشکلی است که در بخش‌های کم‌ژرفا تر توالی‌های مورد مطالعه

در حد ماسه ریز تا خیلی ریز است. این ریزرخساره معادل 8 RMF (Flugel (2010) در محیط رمپ میانی است.

## ۴-۴. کمربند رخصاره‌های رمپ داخلی (Inner ramp) - کمربند رخصاره‌های پشته‌های زیرآبی (Shoal)

• **ریزرخساره شماره ۴ - بایوکلست - رودیست گریستون (Bioclast-rudist grainstone):** خرده‌های رودیست فراوان‌ترین اجزای سازنده این رخصاره هستند. افزون بر خرده‌های رودیست، خرده‌های دوکفه‌ای و اکتینوئید نیز در این رخصاره دیده می‌شوند. پلوییدها از دیگر سازنده‌های این رخصاره هستند. اندازه ذرات سازنده در حد ماسه متوسط است. خرده‌های رودیست در بیشتر نمونه‌های متعلق به این رخصاره کاملاً گرد شده‌اند. فراوانی ذرات رودیست و فابریک سنگ نشان‌دهنده محیط پرانرژی سد است (Aqrawi et al., 2010; Alsharhan & Nairn, 1993).

• **ریزرخساره شماره ۵ - رودیست فلوتستون (Rudist floatstone):** این ریزرخساره از قطعات خیلی درشت و تقریباً سالم رودیست تشکیل شده است. اندازه قطعات رودیست بیش از چند میلی‌متر است که در زمینه‌ای از خرده‌های ریزتر رودیست قرار گرفته‌اند. بافت و فابریک این رخصاره نشان‌دهنده تالوس ناشی از ریف‌های کومه‌ای موجود در رمپ داخلی (پشت شول تا لاگون) است (Rahimpour-Bonab & Mehrabi, 2012; Alsharhan & Nairn, 1993).

• **ریزرخساره شماره ۶ - رودیست رودستون (Rudist rudstone):** قطعات درشت رودیست و کورتوئیدها سازنده‌های اصلی این ریزرخساره هستند. اندازه ذرات در حد چند میلی‌متر است که در زمینه‌ای از کلسیت اسپاری قرار گرفته‌اند. پلوییدها از دیگر سازنده‌های این رخصاره هستند. در برخی از نمونه‌های متعلق به این رخصاره‌ها روزن‌بران کفزی دیده می‌شود. با توجه به بافت و فابریک رسوبی این ریزرخساره به ریف‌های کومه‌ای (Pach reef) رمپ داخلی تعلق دارند (Taghavi et al., 2006; Alsharhan & Nairn, 1993).

### - کمربند رخصاره‌های لاگون (Lagoon)

• **ریزرخساره شماره ۷ - وکستون دارای روزن‌بران کفزی (Wackstone with benthic foraminifera):** این ریزرخساره از میلوئیدهای فراوان، تکستولاریا، کریستالینید، نزازاتا و دیگر روزن‌بران کفزی شاخص محیط لاگون در یک زمینه گلی تشکیل شده است. در بیشتر نمونه‌های این ریزرخساره دانه‌ها به شدت میکرایتی شده‌اند؛ به گونه‌ای که تشخیص اجزای تشکیل‌دهنده را غیرممکن ساخته است. فراوانی انواع بایوکلست‌های شاخص لاگونی شاور در ماتریکس گلی (به‌ویژه میلوئید) و وجود پوشش‌های میکرایتی روی بایوکلاست‌ها، بیانگر قرارگیری طولانی‌مدت دانه‌های اسکلتی در شرایط آب‌های آرام و تشکیل این رخصاره در محیط لاگون (محدود شده) است. این ریزرخساره در کمربند رخصاره‌ای شماره ۸ (Wilson (1975) قرار گرفته و معادل 19 RMF (Flugel (2010) است.

بررسی مجموعه ریزرخساره‌های بخش بالایی سازند سروک در میادین مورد مطالعه و مقایسه آن با ویژگی‌های رسوبی ارائه‌شده توسط Wilson (1975) و Flugel (2010) نشان می‌دهد که نهشته‌های این سازند در یک رمپ کربناته نهشته شده‌اند (شکل ۳). مطالعات پیشین صورت گرفته روی سازند سروک نیز نشان‌دهنده نهشته شدن رسوبات این سازند در یک محیط رمپ کربناته بوده است (Aqrawi et al., 2010; Alsharhan & Nairn, 1993; Taghavi et al., 2006; Hajikazemi et al., 2010; Ghabeshavi et al., 2010; Rahimpour-Bonab & Mehrabi, 2012). نبود ریف‌های سدی اسکلت‌ساز گسترده، نبود رسوبات توریدایی و ریزشی و نبود ریف نشان‌دهنده یک رمپ هموکلینال (کم‌شیب) برای نهشته‌های سازند مورد مطالعه است. آب‌وهوای حاره‌ای و مرطوب حاکم بر کرتاسه میانی در خاورمیانه (Murriss, 1980; Beydoun, 1991; www.SID.ir

است. مطالعات پیشین صورت گرفته روی سازند سروک نشان از تأثیر فرایندهای جوی قابل ملاحظه روی کربنات‌های این سازند دارد که به ناپیوستگی تورونین میانی نسبت داده می‌شود (Taghavi et al., 2006; Hajikazemi et al., 2010). این امر با شواهدی مانند انحلال گسترده، کارستی شدن و دولومیت‌زدایی دیده می‌شود. در میداین مورد مطالعه (به‌ویژه میداین جنوب خاوری خلیج فارس) شواهد این ناپیوستگی و تأثیر فرایندهای جوی (وجود افق‌های پیرویدی و انحلال‌های گسترده و همچنین انحلال سیمان‌های دفنی ژرف) بر روی نهشته‌های سازند سروک بالایی قابل ملاحظه است (شکل ۷).

– **سیمانی شدن:** بر پایه بررسی‌های انجام شده روی نمونه‌های مورد مطالعه، ۴ نوع سیمان در کربنات‌های سازند سروک بالایی شناخته شده‌اند که عبارتند از سیمان کلسیتی هم‌بعد ریزبلور، سیمان رورشدی هم‌محور، سیمان دروزی، و سیمان‌های دفنی نیمه‌ژرف تا ژرف (سیمان‌های بلوکی).

سیمان کلسیتی هم‌بعد در توالی‌های مورد مطالعه بخشی از تخلخل میان‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای (درون حجرات رودیست‌ها و روزن‌بران) را پر کرده است و بیشتر در رخساره‌های دانه‌پشتیبان نزدیک به پشته‌ها در رمپ میانی و پشته‌ها دیده می‌شود. این سیمان به‌صورت بلورهای کوچک و هم‌اندازه در محیط‌های جوی و دفنی تشکیل می‌شود. (Hajikazemi et al., 2010) همانند این سیمان‌ها را در سازند سروک در جنوب باختر ایران گزارش کرده و تشکیل آن را به محیط جوی نسبت داده‌اند. با توجه به شواهد سنگ‌نگاری (مانند وجود انحلال‌های حفره‌ای و نبود استیلولیت‌ها) محیط تشکیل این سیمان در توالی‌های مورد مطالعه، محیط جوی است (شکل ۶-چ). سیمان رورشدی هم‌محور محدود به محیط خاصی نیست و در محیط‌های دریایی، جوی و دفنی می‌تواند تشکیل شود (Tucker & Wright, 1990). در نمونه‌های مورد مطالعه این نوع سیمان روی خرده‌های کرنیوید رشد کرده است و با توجه به شواهد سنگ‌نگاری، محیط تشکیل این نوع سیمان در توالی‌های مورد مطالعه، محیط جوی است. سیمان کلسیت دروزی در محیط‌های جوی و دفنی تشکیل می‌شود (Tucker & Wright, 1990). در مقاطع مورد مطالعه این سیمان تخلخل‌های اولیه و ثانویه را پر کرده است. در توالی‌های مورد مطالعه این سیمان در رخساره‌های دانه‌پشتیبان (پشته‌ها و رمپ میانی) به فراوانی و در رخساره‌های ریف و لاگون به میزان کمتر و در رخساره‌های رمپ خارجی خیلی کم دیده می‌شود. در توالی‌های مورد مطالعه این نوع سیمان هم در محیط جوی و هم در محیط دفنی گسترش دارد (شکل ۶-خ). سیمان‌های بلوکی پرکننده بخشی از تخلخل‌های قالبی، حفره‌ای و شکستگی‌ها هستند که نشانگر تشکیل در محیط دفنی است. این سیمان در تمامی گروه‌های ریزرخساره‌ای مورد مطالعه به‌ویژه در رخساره‌های پشته‌های زیرآبی گسترش دارد (شکل ۶-ر).

– **استیلولیتی شدن:** استیلولیت‌ها و رگچه‌های انحلالی از فراوان‌ترین آثار فشرده‌گی شیمیایی در این سازند هستند که بیشتر در رخساره‌های گل‌پشتیبان (مادستونی و کستونی) دیده می‌شوند (شکل‌های ۶-ز، د). استیلولیت‌ها بیشتر در رخساره‌های مربوط به محیط لاگون، بخش‌های ژرف رمپ خارجی و حوضه گسترش دارند. استیلولیت‌ها در گروه‌های ریزرخساره پشته زیر آبی، ریف‌های رودیستی و رمپ میانی کمتر دیده می‌شوند. کمبود فراوانی عوارض تراکمی در این رسوبات احتمالاً به سیمانی شدن ضعیف در این گروه‌های ریزرخساره‌ای پیش از ورود به محیط دفنی مربوط می‌شود. فرایند دولومیتی شدن در امتداد استیلولیت‌ها دیده می‌شود و استیلولیت‌ها مجراهایی برای عبور سیال‌های دولومیت‌ساز ایجاد کرده‌اند. همچنین در امتداد استیلولیت‌ها آثار هیدروکربور فراوان دیده می‌شود. استیلولیت‌ها فابریک سنگ، دانه‌ها، سیمان و زمینه را با هم قطع می‌کنند. این پدیده یکی از شاخص‌ترین محصولات دیاژنز دفنی است.

– **شکستگی‌ها:** در توالی مورد مطالعه شکستگی‌ها بیشتر در گروه‌های ریزرخساره‌ای

(لاگون، ریف و بخش‌های کم‌ظرفی رمپ میانی) به فراوانی دیده شده است (شکل ۶-ت). فرایند میکرایتی شدن در برخی از رخساره‌های پکستونی مربوط به محیط لاگون (به‌ویژه میدان بهرگانسر) به‌صورت کامل انجام گرفته؛ به‌گونه‌ای که تشخیص روزن‌بران کف‌زی بسیار مشکل است. میکرایتی شدن در محیط فریاتیکی دریایی رخ می‌دهد و بیشتر به‌صورت پوشش‌های میکریتی دور دانه‌های رودیست و کرنیوید را در بر می‌گیرد.

– **زیست‌آشفتگی:** زیست‌آشفتگی از فرایندهای دیاژنزی متدوال در بخش بالایی سازند سروک در میداین مورد مطالعه است که بر اثر فعالیت زیستی و به هم ریختگی توسط موجودات در محیط دریایی ایجاد شده است. این فرایند بیشتر در زیرمحیط لاگون و رمپ خارجی دیده می‌شود (شکل ۶-پ).

– **دولومیتی شدن:** دولومیتی شدن در میداین مورد مطالعه در شمال خلیج فارس (هندیجان و بهرگانسر) مهم‌ترین فرایند دیاژنزی دیده شده است. در نمونه‌های مورد مطالعه میزان آن ۳۰ تا ۵۰ درصد است. در میداین مورد مطالعه در مرکز (لاوان) و جنوب خاوری خلیج فارس (مجموعه میداین سیری) نیز دولومیتی شدن دیده می‌شود؛ ولی میزان دولومیت‌شدگی در آنها نسبت به میداین شمالی کمتر است. دولومیت‌ها به دو صورت دولومیت‌های مدل آمیختگی (Mixing-Type Dolomites) و دولومیت‌های مرتبط با استیلولیت‌ها (دولومیت‌های دفنی) دیده می‌شوند. دولومیت‌های نوع اول به‌صورت رمیوندرهای به نسبت درشت و شفاف و به‌صورت تک‌بلور یا اجتماعی از بلورها تشکیل شده‌اند و در میداین مورد مطالعه در شمال خلیج فارس دارای فراوانی زیادی هستند (شکل ۶-ث). دو احتمال در مورد زمان تشکیل این دولومیت‌ها وجود دارد. اولی شکل‌گیری در طی فرایندهای دیاژنزی اولیه (اوتوژنیک) و دیگری در اثر بالاآمدگی زمین‌ساختی کربنات‌های دفن شده و قرارگیری آنها در محیط دیاژنزی تلوزنیک است. این نوع دولومیت‌ها از نوع دولومیت‌های جانیشینی هستند و از تبلور دوباره دولومیکرات‌ها و دولومیکرواسپارایت‌ها به وجود آمده‌اند. پایین افتادن سطح آب دریا در طی سنومانین-تورونین سبب تشکیل محیط دیاژنزی مخلوط جوی-دریایی شده است. بیشتر دولومیت‌های دیده شده در توالی‌های مورد مطالعه دارای ارتباط مشخصی با آثار و شواهد مربوط به فشرده‌گی شیمیایی یعنی استیلولیت‌ها هستند. این نوع دولومیت‌ها در همه توالی‌های مورد مطالعه دارای گسترش زیادی هستند (شکل ۶-ج).

نظرات مختلفی در مورد منشأ منیزیم این دولومیت‌ها بیان شده است (Alaharhan & Nairn, 1997; Agrawi et al., 1998; Machel, 2004; Rahimpour-Bonab & Mehrabi, 2012). عده‌ای منشأ آن را در ارتباط با فرورانش همزمان روی حاشیه قاره‌ای صفحه عربی و ایران مرکزی می‌دانند که در اواخر کرتاسه میانی و کرتاسه پایانی روی داده است. فراوانی خرده‌های خارپوست در این توالی‌ها که جنس پوسته آنها از کلسیت پرمینیزیم (HMC) است و تمرکز و انحلال آنها در پیرامون استیلولیت‌ها می‌تواند بخشی از Mg مورد نیاز برای دولومیتی شدن را فراهم کند. همچنین در میداین سیری با توجه به اینکه دولومیت‌ها بیشتر در گروه‌های ریزرخساره مربوط به بخش پایینی توالی‌های مورد مطالعه دیده می‌شوند، احتمالاً بخشی از این Mg می‌تواند از فشرده‌گی شیل‌های بخش خاتیا تأمین شده باشد.

– **انحلال:** انحلال مهم‌ترین فرایند دیاژنزی دیده شده در میداین جنوب خاوری (مجموعه میداین سیری) است که سبب افزایش تخلخل و تراوایی و در نتیجه کیفیت مغزنی به‌ویژه در رخساره‌های رودیستی شده است. انحلال در این رخساره‌ها موجب گسترش تخلخل‌های حفره‌ای شده است. این انحلال بسیار فراگیر است؛ به‌طوری که همه اجزای سازنده سنگ از جمله دانه‌ها، سیمان و ماتریکس را تحت تأثیر قرار داده است. طبق مطالعات سنگ‌نگاری صورت گرفته فرایند انحلال بیشتر در رخساره‌های دانه‌پشتیبان (گرینستون، رودستون و فلوستون) گسترش داشته

رخساره متوسط تا خوب است. رخساره‌های گریستونی دربر دارنده رخساره‌های پراثری رمپ داخلی هستند. میزان تخلخل و تراوایی در این رخساره‌ها بالاست. نمودار تخلخل- تراوایی برای رخساره‌های رسوبی در این میدان نیز یک روند افزایشی در مقادیر تخلخل و تراوایی از رخساره‌های کم‌انرژی به سوی رخساره‌های پراثری نشان می‌دهد (شکل ۱۰-ب). همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، مقادیر تخلخل و تراوایی در رخساره‌های مادستونی حوضه به دلیل بافت گل‌پشتیان پایین است. رخساره‌های وکستونی و پکستونی رمپ خارجی دارای مقادیر تخلخل به نسبت بالا ولی تراوایی پایینی هستند. در برخی از نمونه‌های متعلق به این رخساره‌ها به دلیل وجود انحلال‌های حفره‌ای و همچنین فرایند دولومیت‌شدگی (بیشتر دولومیت دفنی مرتبط با استیلولیت) میزان تخلخل و تراوایی تا حد زیادی افزایش یافته است. رخساره‌های دانه‌پشتیان رمپ میانی (پکستون و گریستون) دارای بهترین کیفیت مخزنی هستند. کیفیت مخزنی خوب در رخساره‌های متعلق به رمپ میانی به دلیل دانه‌پشتیان بودن و گسترش انحلال‌های حفره‌ای در این رخساره‌هاست. در برخی از نمونه‌های متعلق به رخساره‌های رمپ میانی به دلیل سیمانی شدن (سیمان کلسیت هم‌بعد و دفنی) میزان تخلخل و تراوایی کاهش پیدا کرده است.

شکل ۱۱ نمودار تغییرات تخلخل- تراوایی برای رخساره‌های رودیستی و غیر رودیستی در میداین سیری دنا و اسفند را نشان می‌دهد. میزان تغییرات تخلخل در رخساره‌های رودیستی ۱/۲ تا ۳۲/۶۲ درصد و میزان تغییرات تراوایی ۰/۱۶ تا ۸۴/۹۴ میلی‌داری است. انحلال حاصل از تأثیر فرایندهای جوی سبب بهبود کیفیت مخزنی در رخساره‌های رودیستی شده است. فرایند سیمانی شدن (سیمان درشت بلور دفنی) در برخی از این رخساره‌های پراثری سبب کاهش کیفیت مخزنی در این رخساره‌ها شده است. میزان تغییرات تخلخل در رخساره‌های غیر رودیستی ۰/۵ تا ۲۲/۱۹ و میزان تغییرات تراوایی ۰/۱ تا ۱۶ میلی‌داری است.

#### ۷- نتیجه‌گیری

مطالعات سنگ‌نگاری انجام گرفته روی سازند سروک بالایی در میداین مورد مطالعه نشان از نهشته شدن این کربنات‌ها در یک محیط رمپ کربناته هموکینال دارد. این رمپ کربناته شامل چهار زیرمحیط حوضه، رمپ خارجی، رمپ میانی و رمپ داخلی است. تفاوت‌های مهمی در محیط رسوبی و نوع رخساره‌های تشکیل شده در میداین مورد مطالعه وجود دارد. در میداین مورد مطالعه در بخش باختری و مرکزی خلیج فارس رخساره‌های گل‌پشتیان متعلق به محیط حوضه و لاگون درصد بالایی از توالی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. در میداین واقع در بخش جنوب خاوری خلیج فارس رخساره‌های رودیستی (گریستون و رودستون) گسترش قابل توجهی دارند و بهترین پهنه‌های مخزنی را در این توالی‌ها تشکیل داده‌اند. فرایندهای دیاژنزی دیده شده در توالی‌های مورد مطالعه شامل نوشکلی، آشفنگی زیستی، میکرایتی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، سیمانی شدن، استیلولیتی شدن و شکستگی هستند. انحلال بر اثر فرایندهای جویی تحت تأثیر بالآمدگی ناحیه‌ای در توروین میانی مهم‌ترین فرایند دیاژنزی در افزایش میزان تخلخل و تراوایی و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی به‌ویژه در رخساره‌های دانه‌پشتیان است. سیمان‌های دفنی مهم‌ترین عامل کاهش تخلخل و تراوایی در توالی‌های مورد مطالعه است. مطالعات صورت گرفته نشان‌دهنده ارتباط مستقیم میان رخساره‌های رسوبی و فرایندهای دیاژنزی و در نتیجه کیفیت مخزنی سازند سروک در توالی‌های مورد مطالعه است. توالی‌های دارای کیفیت مخزنی خوب با رخساره‌های رودیستی مرتبط هستند. همچنین یک روند افزایشی در مقادیر تخلخل و تراوایی به‌ویژه در میداین سیری وجود دارد. این روند با تأثیر دیاژنزی جوی در زیر ناپوستگی توروین ارتباط دارد.

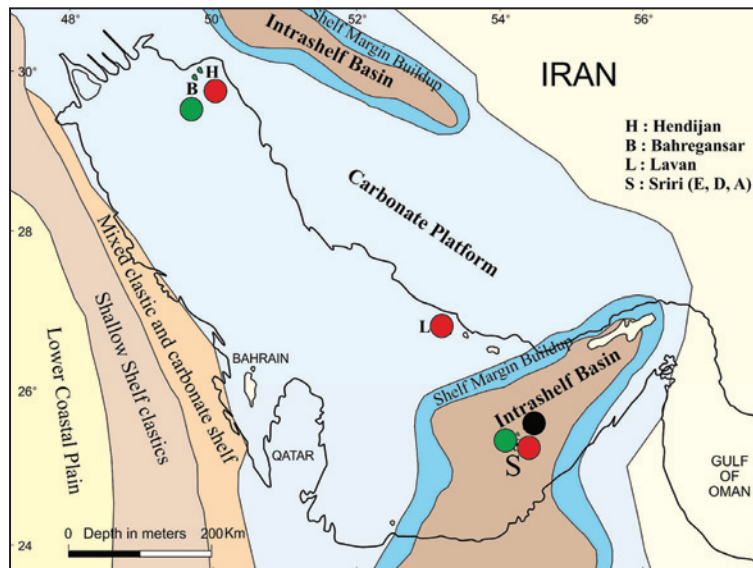
لاگون، رمپ خارجی و حوضه دیده می‌شوند. این عوارض که در آخرین مراحل دیاژنزی دفنی ایجاد شده‌اند از سیمان پر نشده‌اند و به‌صورت شکستگی باز دیده می‌شوند (شکل ۶-ن). این شکستگی‌ها می‌توانند به‌صورت محلی، در ارتباط دادن دیگر تخلخل‌ها نقش داشته باشند. شکستگی‌های زمین‌ساختی نقش مهمی در چگونگی رفتار مخازن هیدروکربوری دارند؛ برای نمونه می‌توانند در طی مهاجرت هیدروکربن‌ها، به عنوان گذرگاهی برای عبور سیال‌ها عمل کنند. در برخی موارد این شکستگی‌ها به وسیله سیمان کلسیت اسپاری درشت‌بلور پر شده‌اند. این سیمان‌ها در محیط دفنی تشکیل شده‌اند. شکستگی‌ها همچنین می‌توانند نقش مهمی در افزایش کیفیت مخزنی داشته باشند.

شکل ۸ توالی پاراژنزی فرایندهای دیاژنزی سازند سروک بالایی در میداین مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به‌طور کلی فرایندهای دیاژنزی شناخته شده در سنگ‌آهک‌های بخش بالایی سازند سروک و بررسی زمان نسبی تشکیل آنها نشان از آن دارد که این فرایندها در سه محیط اصلی دیاژنزی دریایی، جوی و دفنی رخ داده‌اند.

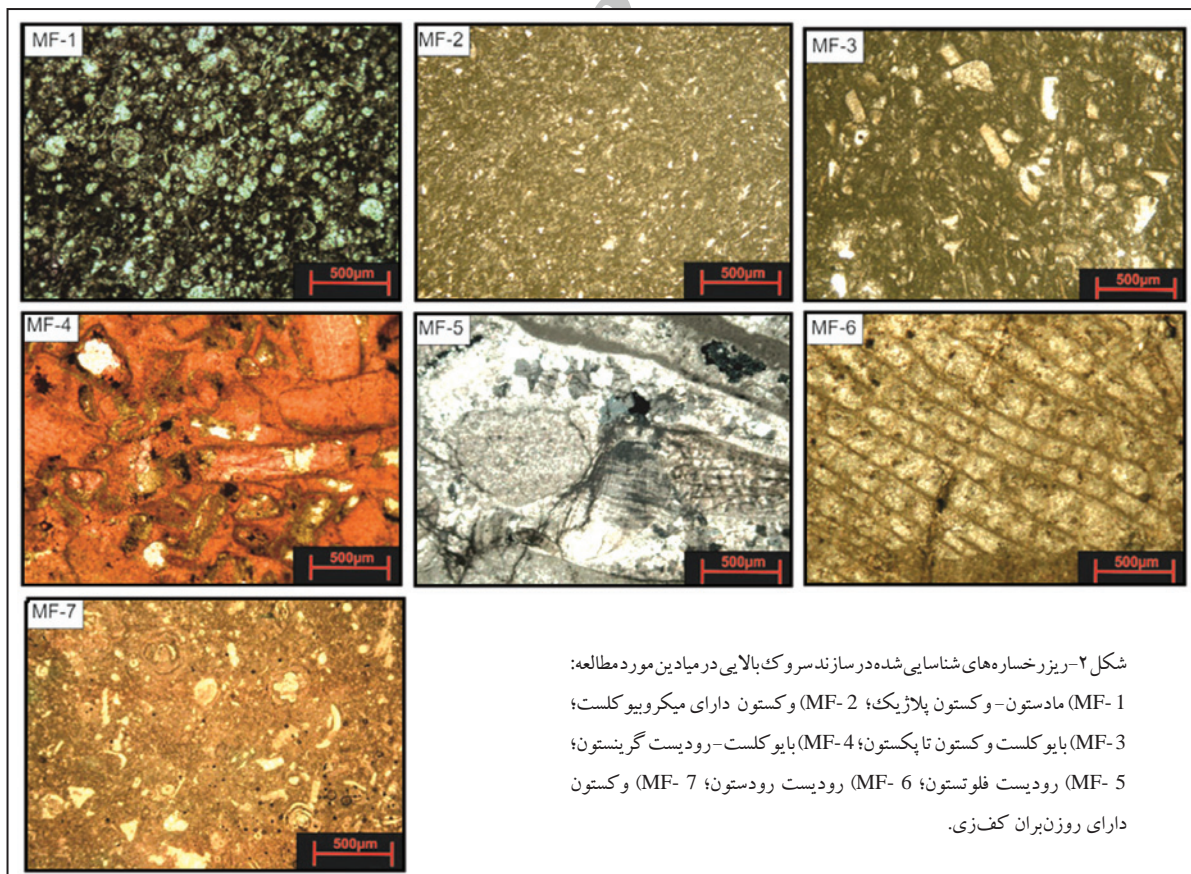
#### ۶- کیفیت مخزنی

پتانسیل مخزنی یک سنگ توسط متغیرهای تخلخل و تراوایی اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه برای تعیین کیفیت مخزنی هر یک از میداین مورد مطالعه، پس از بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی، نمودار تغییرات تخلخل در برابر ژرفا برای میداین مورد مطالعه، نمودار تغییرات تخلخل- تراوایی برای انواع بافت‌های دیده شده در میداین مورد مطالعه، نمودار تغییرات تخلخل- تراوایی برای انواع محیط‌های رسوبی و نمودار تغییرات تخلخل- تراوایی برای رخساره‌های رودیستی و غیر رودیستی به منظور تعیین عوامل مؤثر بر کیفیت مخزنی سازند سروک بالایی در میداین مورد مطالعه رسم شد. شکل ۹، نمودار تغییرات تخلخل در برابر ژرفا را برای میداین مورد مطالعه نشان می‌دهد. با افزایش ژرفا از رأس به سوی پایین مخزن، میزان تخلخل کاهش می‌یابد و در نتیجه کیفیت مخزنی پایین می‌آید. بالا بودن کیفیت مخزنی در بخش بالایی توالی مورد مطالعه به دلیل گسترش رخساره‌های رودیستی و به دنبال آن تأثیر فرایندهای دیاژنزی جوی (به‌ویژه روی رخساره‌های رودیستی) در مرحله تولوژن (بالآمدگی) در توروین میانی است (James & Wind, 1965; Setudehnia, 1978; Harris et al., 1984). همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد تأثیر فرایندهای دیاژنزی جوی در توالی مورد مطالعه شامل افق‌های پیرویدی، کارستی شدن، انحلال‌های گسترده رخساره‌های رودیستی و همچنین انحلال سیمان‌های دفنی ژرف است (شکل ۶). بنابراین چنین نتیجه گرفته می‌شود که کیفیت مخزنی سازند سروک بالایی در توالی مورد مطالعه توسط رخساره‌های رسوبی و در پی آن فرایندهای دیاژنزی بوده است.

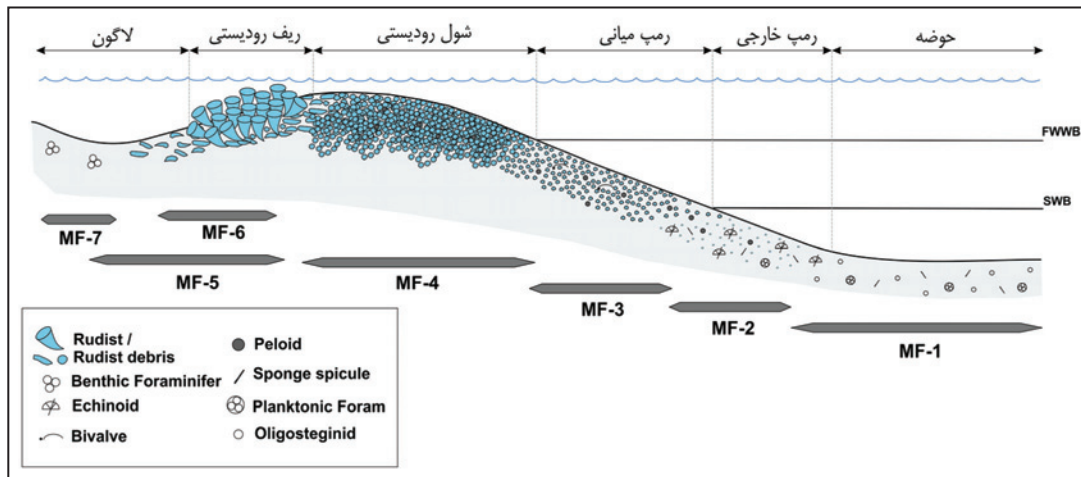
شکل ۱۰ نمودار تغییرات تخلخل- تراوایی برای انواع بافت‌های رسوبی و رخساره‌های رسوبی شناسایی شده در میدان سیری سیوند را نشان می‌دهد. نمودار تخلخل- تراوایی برای انواع بافت‌های رسوبی (شکل ۱۰-الف) نشان‌دهنده یک روند افزایشی در میزان تخلخل و تراوایی از رخساره‌های کم‌انرژی به سوی رخساره‌های پراثری است. رخساره‌های مادستونی مربوط به محیط حوضه دارای تخلخل و تراوایی پایینی هستند. رخساره‌های دارای بافت وکستونی دارای پراکنندگی زیادی از دید تخلخل و تراوایی هستند. این بافت رسوبی شامل رخساره‌های وکستونی رمپ خارجی و همچنین رخساره‌های وکستونی انتهایی رمپ میانی است. رخساره‌های پکستونی نیز شامل رخساره‌های پراثری رمپ میانی و به‌ندرت دربردارنده رخساره‌های رمپ خارجی هستند. میزان تخلخل و تراوایی در این



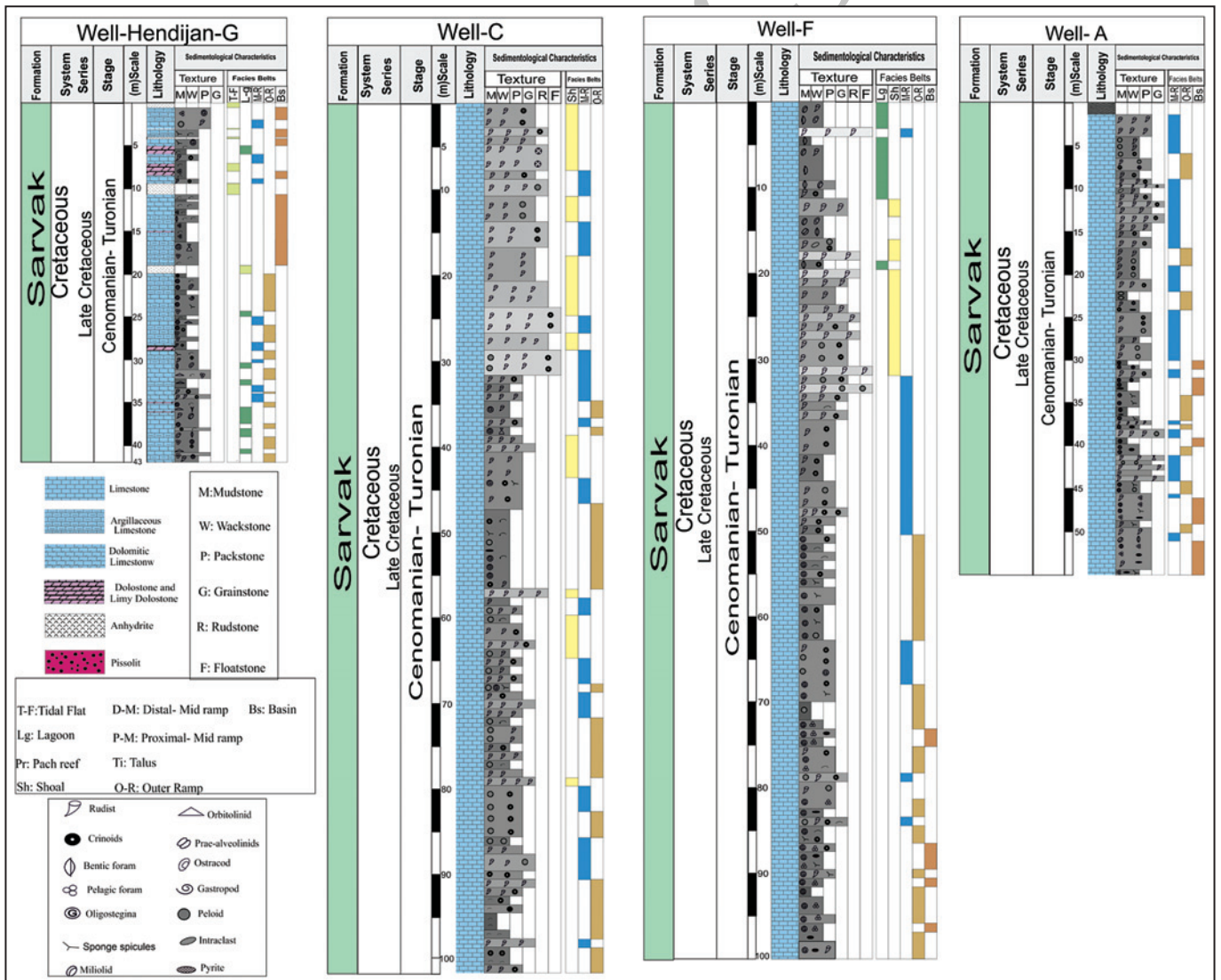
شکل ۱- نقشه رخساره‌های ستوماین- توروین حوضه خلیج فارس و جنوب باختر ایران که میداین مورد مطالعه را نشان می‌دهد. دو حوضه درون‌شلفی یا حاشیه ریف‌رودیستی در این نقشه دیده می‌شود (Murriss, 1980).



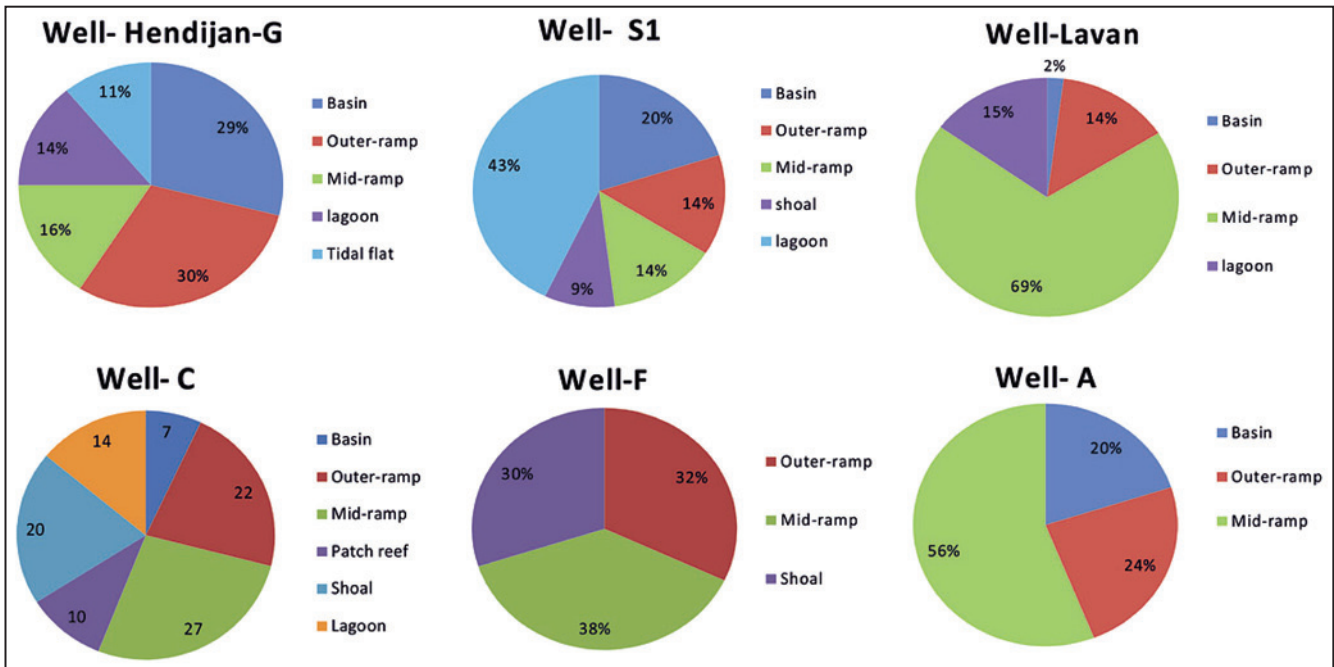
شکل ۲- ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند سروک بالایی در میداین مورد مطالعه:  
 MF- 1 مادستون- وکستون پلاژیک؛ MF- 2 وکستون دارای میکروبیوکلست؛  
 MF- 3 بایوکلست وکستون تا پکستون؛ MF- 4 بایوکلست- رودیست گریستون؛  
 MF- 5 رودیست فلوئستون؛ MF- 6 رودیست رودستون؛ MF- 7 وکستون دارای روزن‌بران کف‌زی.



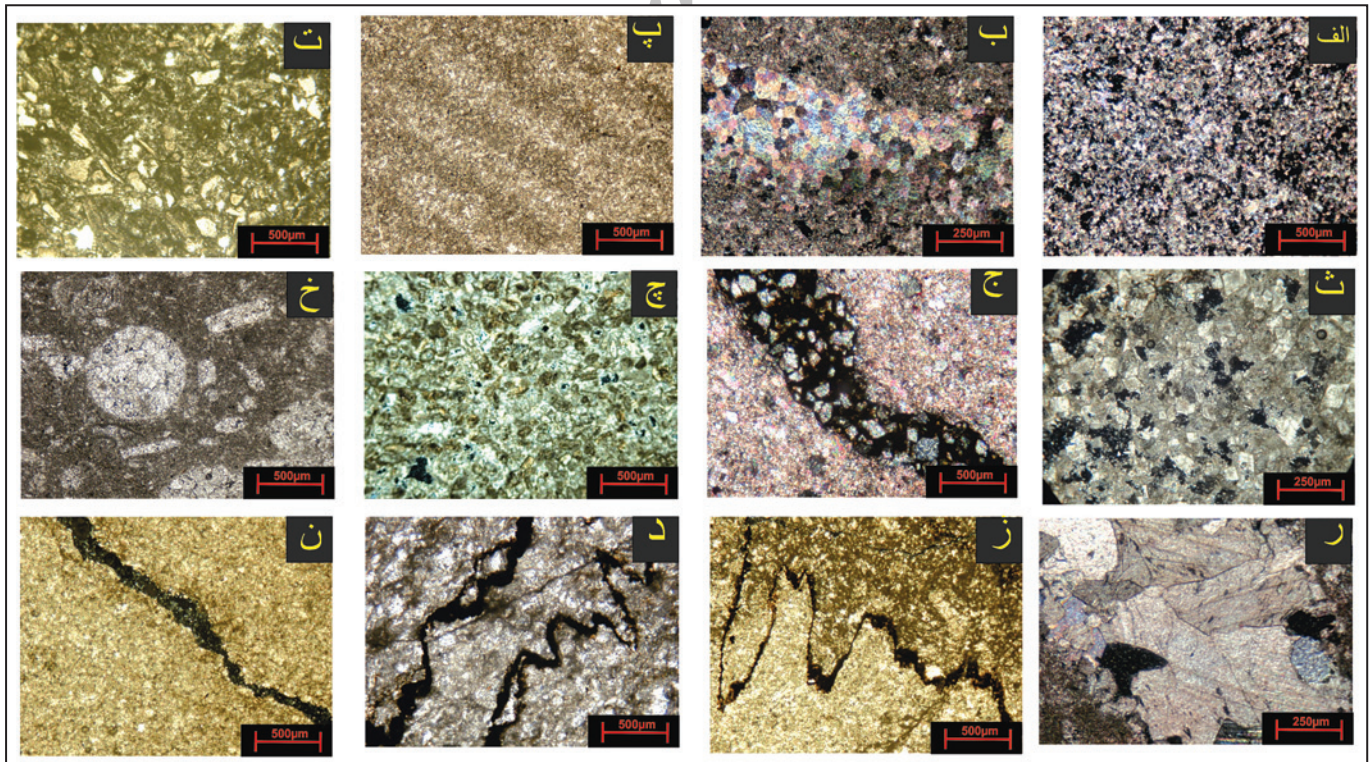
شکل ۳- مدل ریمپ کربناتی ارائه شده برای میدین نفتی مورد مطالعه در خلیج فارس که موقعیت تقریبی هر یک از ریزرخساره‌ها در آن مشخص شده است. سطوح اصلی انرژی (FWWB و SWB) و قطعات اسکلتی هر کمر بند رسوبی به صورت نمادین نشان داده شده است. در شیب سکو به منظور رسم نیمرخ آن اغراق شده است.



شکل ۴- چگونگی آنگسترش انواع ریزرخساره‌های رسوبی در چاه‌های میدین مورد مطالعه.

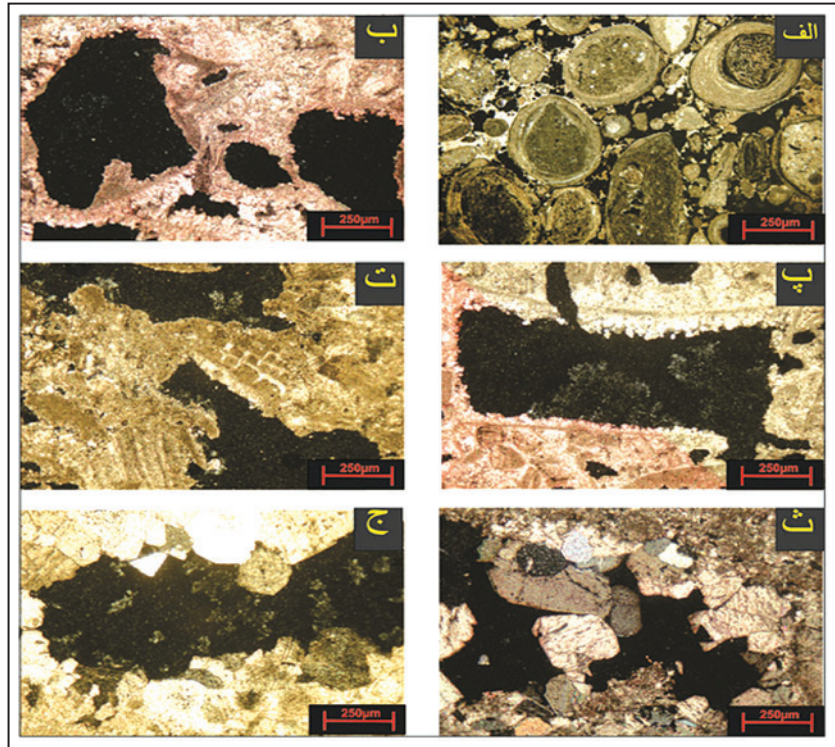


شکل ۵- درصد ریزرخساره‌های دیده شده در هر یک از چاه‌های میداین مورد مطالعه.

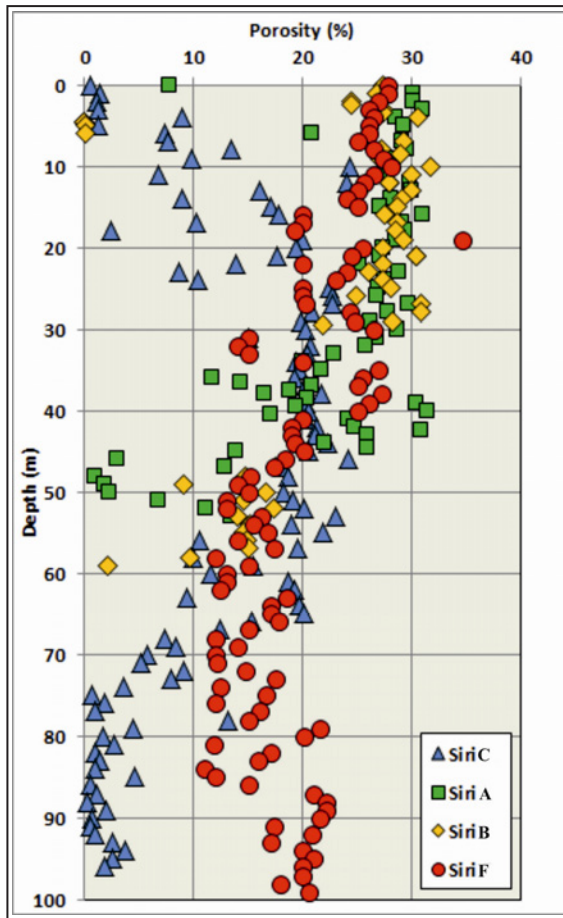


شکل ۶- فرایندهای دیاژنری دیده شده در سازند سروک. الف و ب) نوشکلی؛ پ) زیست آشفتنگی؛ ت) میکرایتی شدن؛ ث) دولومیت‌های مدل اختلاطی؛ ج) دولومیت‌های مرتبط با استیلولیت‌ها؛ ج) سیمان کلسیت هم‌بعد که بایوکلاست‌ها را به هم متصل کرده‌اند؛ خ) سیمان دروزی که قالب انحلالی را پر کرده‌است؛ ر) سیمان دفنی؛ ز و د) استیلولیتی شدن؛ ن) شکستگی‌های باز.





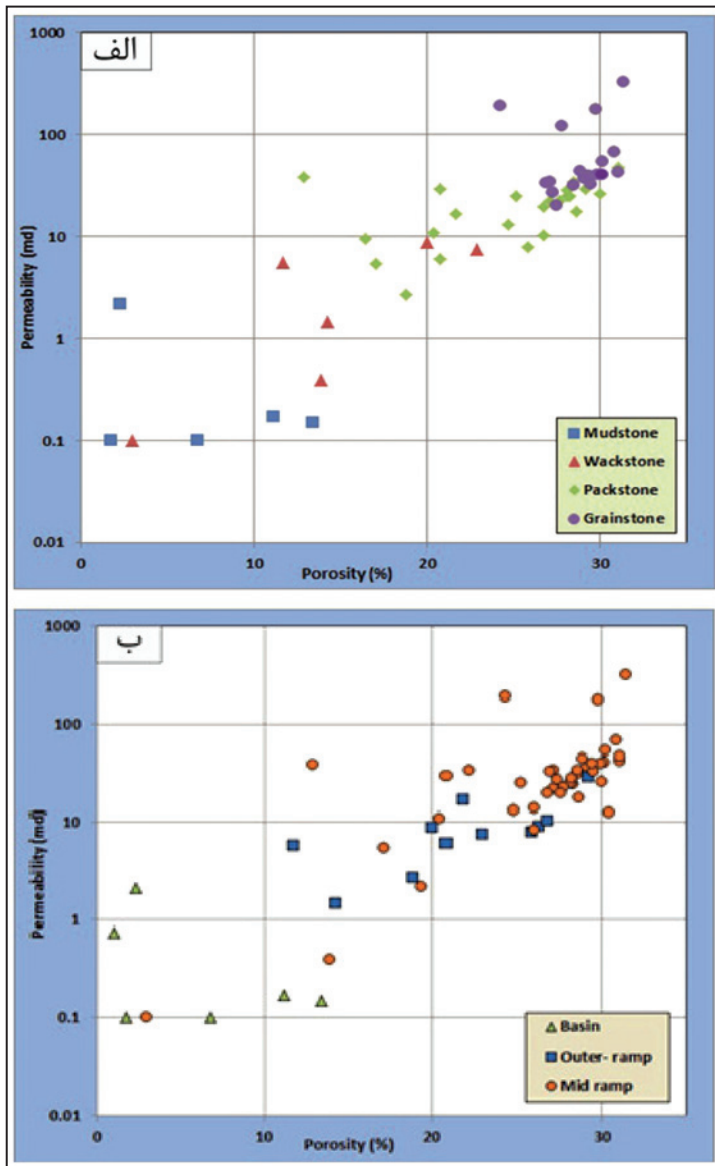
شکل ۷- شواهد ناپیوستگی و تأثیر فرایندهای جوی روی نهشته‌های سازند سروک. الف) افق‌های پیرویدی دیده شده در میدان مورد مطالعه؛ ب، پ، ت) انحلال‌های فراگیر دیده شده در نمونه‌های مورد مطالعه؛ ث و ج) انحلال گسترده سیمان‌های دفنی تشکیل شده در میدان مورد مطالعه.



شکل ۹- نمودار تغییرات تخلخل در برابر ژرفا برای مجموعه میدان سیری. از رأس مخزن به سوی پایین کیفیت مخزنی کاهش پیدا می‌کند.

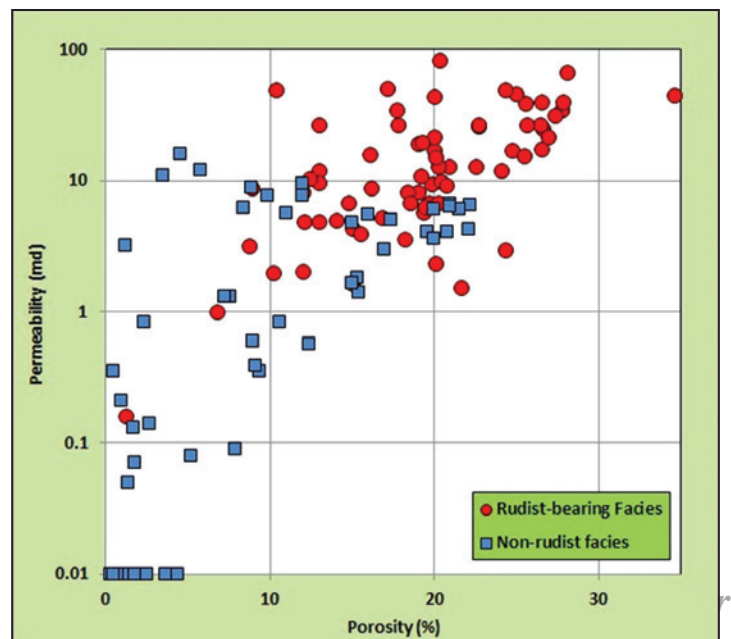
فازهای دیاژنزی	فرایندهای دیاژنزی	دریایی	جوی	تدفینی
دیاژنز اولیه (آوژنتیک)	زیرت آسفنگی نوشکلی دولومیتی شد (مدل اختلاطی) انحلال (عمدتا انتخاب کننده فابریک) سیمان رو رشدی هم محور (سین تکسیال) سیمان دروزی موزائیک سیمان کلسیتی هم بعد تراکم فیزیکی	=====	=====	=====
دیاژنز میانی (مروژنتیک)	سیمان درشت بلور بلوکی شکستگی ها (پر شده با سیمان بلوکی) استیلولیت ها دولومیتی شدن (مرتبط با استیلولیت ها)	=====	=====	=====
دیاژنز نهایی (تاوژنتیک)	شکستگی ها (عمدتا خالی) انحلال (بدون انتخاب کننده فابریک)	=====	=====	=====

شکل ۸- توالی پاراژنزی فرایندهای دیاژنزی سازند سروک بالای در میدان مورد مطالعه.



شکل ۱۰- الف) نمودار تغییرات تخلخل- تراوایی بر پایه انواع بافت؛  
 ب) نمودار رخساره های دیده شده در میدان سیری سیوند.

شکل ۱۱- روند تغییرات تخلخل- تراوایی در رخساره های رودیستی  
 و غیر رودیستی در میادین سیری دنا و اسفند.



جدول ۱- انواع ریزرخساره‌های شناسایی شده در چاه‌های میدین مورد مطالعه.

نام میدین و شماره چاه‌ها						محیط رسوبی	نام رخساره	کد رخساره
سیری			لاوان L	بهر گانسر S1	هندیجان G			
C	F	A						
√	-----	√	√	√	√	حوضه	مادستون - وکستون پلاژیک	MF1
√	√	√	√	√	√	رمپ خارجی	وکستون دارای میکروویو کلاست	MF2
√	√	√	√	√	√	رمپ میانی	بایوکلست وکستون تا پکستون	MF3
√	√	-----	-----	-----	-----	ریف کومه‌ای	رودیت فلوتستون	MF4
√	√	-----	-----	-----	-----	تالوس	رودیت رودستون	MF5
√	√	-----	-----	-----	-----	پشته‌های زیرآبی	بایوکلست - رودیت گربنستون	MF6
√	-----	-----	√	√	√	لاگون	وکستون دارای روزن‌بران کف‌زی	MF7

## کتابنگاری

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

## References

- Al- Husseini, M. L., 2007- Iran's crude oil reserves and production. *Geo. Arabia* 12: 69-94.
- Alsharhan, A. S. & Nairn, A. E. M., 1993- Carbonate platform models of Arabian Cretaceous reservoirs. In: Simo, J.A.T., Scott, R.W., And Masse, J. P., (eds.), *Cretaceous carbonate platforms*. American Association of Petroleum Geologists, *Memoir* 56: 173-148.
- Alsharhan, A. S. & Nairn, A. E. M., 1988- A review of the cretaceous formations in the Arabian Peninsula and gulf: part II, Mid-Cretaceous (WasiaGroup), Stratigraphy and paleontology. *Journal of Petroleum Geology* 11: 89-112.
- Alsharhan, A. S. & Narin, M. E., 1997- *Sedimentary Basin and Petroleum Geology of the Middle East*. (Elsevier, Amsterdam).
- Aqrabi, A. A. M., Mahdi, T. A., Sherwani, G. H. & Horbury, A. D., 2010- Characterization of the Mid- Cretaceous Mishrif reservoir of the Southern Mesopotamian basin, Iraq. AAPG GEO 201- Middle East Geoscience Conference, Bahrain, March 7-10. AAPG Search and Discovery Article# 50264.
- Aqrabi, A. A. M., Thehni, G. A., Sherwani, G. H. & Kareem, B. M. A., 1998- Midcretaceousrudist-bearing carbonates of the Mishrif Formation: an important reservoir sequence in the Mesopotamian Basin, Iraq. *J Pet Geol* 21:57-82
- Bathurst, R. G. C., 1975- *Carbonate sediment and their diagenesis*. Developments in sedimentology, Elsevier, Amsterdam, No. 12.
- Beydoun, Z. R., 1991- Arabian plate hydrocarbon geology and potential - a plate tectonic approach, American Association of Petroleum Geologists, *Studies in Geology*, pp.33-77, 1991.
- 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 PaleozoicMesozoic passive margin shelf. In: Macqeen, R., Leckie, D.A. (Eds.), *Foreland Basins and Fold Belts*, American Association of Petroleum Geologists., *Memoir*, Vol. 55, pp. 309-339.
- Dickson, J. A. D., 1965- Amodified staining technique for carbonate in thin section. *Natures*:205-287p.
- Dunham, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture, American Association of Petroleum Geologists, *Memoir* 1: 108-121.
- Edgell, H. S., 1992- *Basment Tectonics of Saudi Arabi as Related to Oil Field Structures*, Eds., Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., v.9, p.169-193.
- Embry, A. F., & Klován, J. E., 1971- A late Devoninan reef tract on northeastern Banks Island Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 19: 730- 781.

- Flugel, 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*, Vol.247, pp.357-381.
- Ghabeishavi, A., Vaziri- Moghadam, H., Thaheri, A. & Taati, F., 2010- Microfacies and depositional environment of the Cenomanian of the Bangestan anticline, SW Iran. *Journal of Asia Earth Science* 37: 275-285.
- Glennie, K. W., 2000- Cretaceous tectonic evolution of Arabia's eastern plate margin: a tale of two oceans. In: Alsharhan, A.S., Scott, R.W. (Eds.), *Middle East models of Jurassic/Cretaceous carbonates systems*. SEPM Special Publication 69: 9-20.
- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S. & Coniglio, M., 2012- Chemostratigraphy of Cenomanian-Turonian carbonates of the Sarvak Formation, southern Iran. *J Pet Geol* 35:187-205.
- Hajikazemi, 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: 235-272.
- Harris, P. M., Frost, S. H., Seiglie, G. A. & Schnidermann, N., 1984- Regional unconformities and depositional cycles, Cretaceous of the Arabian Peninsula. In: Schlee, J.S. (Ed), *Inter- regional unconformities and hydrocarbon accumulation*. AAPG 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. *AAPG BULL.*, 49(12), 2182-2245.
- 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.
- Konyuhov, A. I. & Maleki, B., 2006- The Persian Gulf Basin: Geological history, sedimentary formations, and petroleum potential. *Lithology and Mineral Resources*, 41, 344-361.
- 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., Vol. 235, PP. 7-63.
- Motiei, H., 1993- *Geology of Iran. The stratigraphy of Zagros*. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Murriss, R. J., 1980- Middle East stratigraphic evolution and oil habitat: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 64, 597-618.
- Pomar, L., 2001- Types of carbonate ramp: a genetic approach, *Basin Research*, Vol. 13, pp. 313-334.
- Rahimpour-Bonab, H. & Mehrabi, A. H., 2012- Couple imprint of tropical climate and recurring emergence on reservoir evolution of mid Cretaceous carbonate ramp, Zagros Basin, Southwest Iran. Elsevier.
- Rahimpour-Bonab, H. & Mehrabi, H., 2013- Palaeo-exposure surfaces in Cenomanian-Santonian carbonate reservoirs in the Dezful Embayment, SW Iran. *J Pet Geol* 36:335-362.
- Razin, P., Taati, F. & Van Buchem, F. S. P., 2010- Sequence stratigraphy of the Cenomanian- Turonian carbonate platform margins (Sarvak Formation) in the High Zagros, SW Iran: an outcrop reference model for Arabian Plate, In: Van Buchem, F.S.P., Gerdes, K.D., Esteban, M. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic carbonate system of the Mediterranean and the Middle East: Stratigraphic and diagenetic reference models*. Geological Society, London, Special Publication, 329: 1- 7.
- Sepehr, M. & Cosgrove, J. W., 2005- Role of the Kazerun fault zone in the formation and deformation of the Zagros fold thrust belt, Iran. *Tectonics* 24(5). TC5005 1eTC5005-13.
- Setudehnia, A., 1978- The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent areas. *Journal of Petroleum Geology*, 1: 3-42.
- 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 pp.
- Taghavi, A., Mork, A. & Emadi., M. A., 2006- Sequence stratigraphically controlled diagenesis governs reservoir quality in the carbonate Dehluran field, SW Iran. *Petroleum Geoscience*, v. 12, p. 115-126.
- Tucker, M. E. & Wright, V. P., 1990- *Carbonate Sedimentology*. Blackwell, Oxford, 482pp.
- 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 the northern Oman: distribution of source rocks and reservoir facies. *GeoArabia*. 1: 65-91.
- Van Buchem, F., Letouzey, J., Gaumet, F., Rudkiewicz, J. L., Mengus, J. M., Baghbani, D., Sherkati, S. H., Asillian, H., Keyvani, F., Ashrafzadeh, R. & Ehsani, M. H., 2001- The Petroleum Systems of the Dezful Embayment and Northern Fars (South-west Iran). NIOC Internal Report No. 55.729-1.
- Wilson, J. L., 1975- *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer Verlag. New York, 471p.
- Ziegler, M., 2001- Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and Its Hydrocarbon Occurrences. *GeoArabia*, v. 6, no. 3, p. 445-504.

## Sedimentary environment, diagenesis and reservoir quality of Upper Sarvak Formation in the Persian Gulf

N. Shahverdi <sup>1\*</sup>, H. Rahimpour- Bonab <sup>2</sup>, M. R. Kamali <sup>3</sup> & B. Esrafilizadeh <sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup> Associate Professor, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Ph.D., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2014 May 21

Accepted: 2015 July 01

### Abstract

The Albian-Turonian Sarvak Formation is one of the main oil reservoirs in south and southwest Iran that hosts significant amount of hydrocarbon resources in this region. Facies analysis in seven oil fields of Persian Gulf led to identification of 7 microfacies that are deposited in four facies belts in a homoclinal ramp platform. Studies show that there is major facies variation in Sarvak carbonates of offshore Zagros. The rudist-bearing facies are mainly developed as major reservoir facies in the eastern Persian Gulf (Siri Fields) and replaced with mud-dominated lagoonal facies in central and western sectors of considered area (Hendijan, Bahregansar, Balal and Lavan Fields). There are positive correlation between paleogeographic position of rudist buildups and configuration of Sarvak reservoir in the Persian Gulf. Main diagenetic processes that effected facies of this formation are neomorphism, bioturbation, micritization, dolomitization, dissolution, cementation, stylolitization and fracturing. During diagenesis, rudist-dominated facies are selectively dissolved and led to development porosity and reservoir quality in the Siri Fields. Generally, diagenesis is slightly impacted reservoir properties in the central and western parts oil fields, although, dolomitization is improved reservoir characteristics in the Bahregansar Field. Petrophysical evolution of studied intervals suggests that good reservoir intervals are associated with rudist-bearing facies. As well, there are decreasing trend in both porosity and permeability values from top of formation downwards, particularly in Siri fields. This trend is attributed to effect of meteoric diagenetic under the Turonian unconformity. In conclusion, our studies indicate that occurrence and evolution of rudists had main impact on diagenetic modification and reservoir potential of Sarvak Formation.

**Keywords:** Sarvak Formation, Sedimentary Environment, Diagenesis, Reservoir Quality, Persian Gulf.

For Persian Version see pages 55 to 66

\*Corresponding author: N. Shahverdi; E-mail: nayyer.shahverdi@yahoo.com

Archive of SQU