

# محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی و کیفیت مخزنی سازند کنگان در میدان گازی پارس جنوبی، ایران

امید کاک‌مم<sup>۱\*</sup>، محمدحسین آدابی<sup>۲</sup> و احسان ده‌یادگاری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکترا، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۲</sup>استاد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

<sup>۳</sup>استادیار، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۱

## چکیده

بافت، ساخت رسوبی و فوئادهای موجود در سازند کنگان به سن تریاس در میدان گازی پارس جنوبی منجر به شناسایی دوازده رخساره کربناته- تبخیری شده است. این رخساره‌ها در سه کمربند رخساره‌ای پهنه جزرومدی، لاگون و شول کربناته نهشته شده‌اند. گسترش پهنه جزرومدی به همراه رسوبات تبخیری و رخساره‌های ترومبولیتی و استروماتولیتی (مؤید کم‌عمق بودن محیط نهشتی)، عدم وجود ساختمان‌های ریفی دارای تداوم جانبی، حضور گسترده گل کربناته و نبود رخساره‌های ریزشی و لغزشی تأییدکننده یک محیط رمپ کربناته از نوع هموکلینال برای سازند کنگان است. رخساره‌های شناسایی شده بر اساس مشخصات پتروفیزیکی که حاصل فرایندهای اولیه رسوبگذاری و دیاژنز می‌باشد در قالب هفت گونه سنگی طبقه‌بندی شده‌اند که در آنها گونه سنگی نخست (RT1) فاقد خواص مطلوب مخزنی بوده و به ترتیب به سمت RT7 کیفیت مخزنی افزایش می‌یابد. تغییرات جانبی و عمودی رخساره‌ها منجر به شناسایی دو سکانس رسوبی رده سوم شده است که الگوی انباشت چینه‌ای در آنها توسط رخساره‌های ساب‌تایدال با مشخصات مخزنی مناسب که توسط رخساره‌های تبخیری و پرتایدال با مشخصات پایین مخزنی در بر گرفته شده‌اند، مشخص می‌شود. بیشترین کیفیت مخزنی سازند کنگان در دو زون مخزنی K1 و K2 منطبق بر انتهای TST، سطح بیشینه پیشروی آب دریا (mfs) و قاعده HST در سکانس‌های رسوبی شناسایی شده می‌باشد که در رخساره‌های شول کربناته واقع شده است.

**کلیدواژه‌ها:** محیط رسوبی، گونه‌های سنگی، چینه‌نگاری سکانسی، کیفیت مخزنی، سازند کنگان، میدان گازی پارس جنوبی.

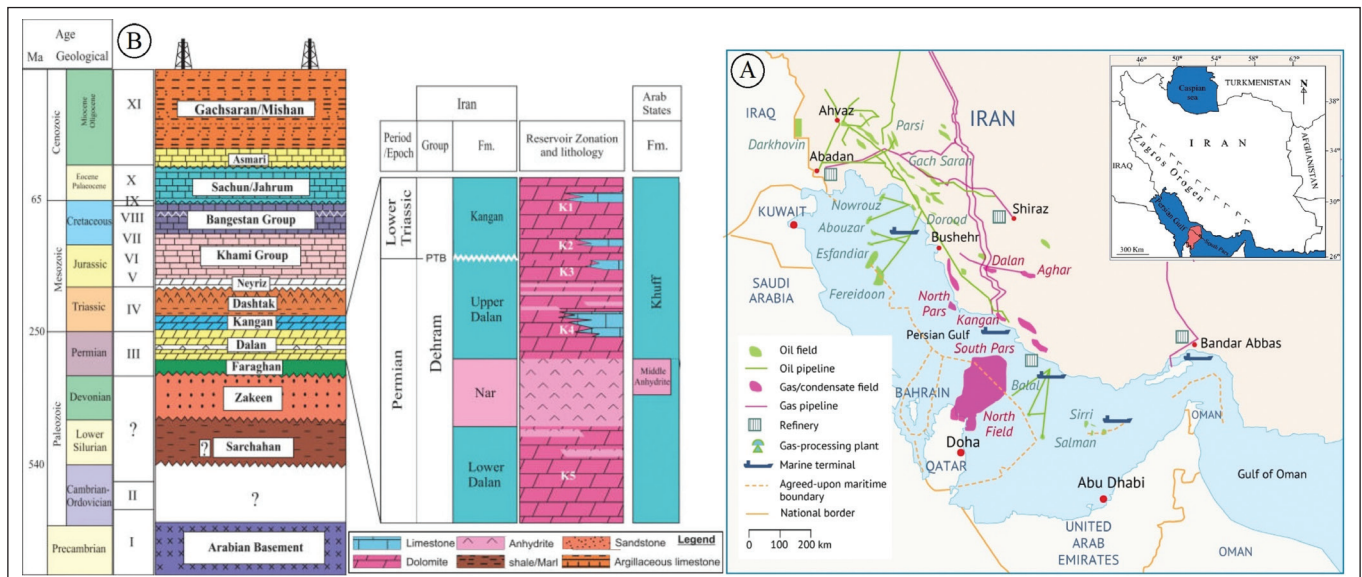
\*نویسنده مسئول: امید کاک‌مم

E-mail: u.kakemem@gmail.com

## ۱- پیش‌نوشتار

ساختمان میدان گاز پارس جنوبی است (Alsharhan and Nairn, 1997). این ساختار تکتونیکی به عنوان تله‌نفتی به همراه وجود محیط نهشتی مناسب برای تشکیل سنگ منشأ، سنگ مخزن و پوش سنگ در زمان رسوبگذاری باعث ایجاد بزرگترین تجمع گازی دنیا شده است (شکل ۱). سازند کنگان در چاه مورد بررسی از نظر سنگ شناسی با ۱۳۵ متر ضخامت از ترکیب سنگ آهک، دولومیت و انیدریت تشکیل شده است. مرز فرسایشی پرموتریاس در زیر و سازند دشتک در بالا آن را محدود می‌کنند (Insalaco et al., 2006) (شکل ۱). در این مقاله به بررسی رخساره‌ها، محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی و تعیین گونه‌های سنگی و تأثیر آن بر نحوه تغییرات خواص مخزنی در توالی سازند کنگان پرداخته شده است.

از آنجایی که پارس جنوبی میدان گازی دریایی بسیار عظیمی است که سنگ مخزن آن را سازندهای دالان و کنگان تشکیل می‌دهند، شناسایی و مطالعه این سازندها اهمیت بالایی دارد. این میدان در موقعیت ۵۲ تا ۵۲/۵ درجه شرقی و ۲۶/۵ تا ۲۷ درجه شمالی واقع شده است. ساختمان پارس جنوبی و تداوم اصلی جنوبی آن که تحت عنوان گنبد شمالی قطر نامیده می‌شود، بر روی یک برجستگی قاعده‌ای ناحیه ای موسوم به کمان قطر قرار دارد که از جنوب شبه جزیره قطر تا جنوب ناحیه فارس، در ایران امتداد دارد و خلیج فارس را به دو حوضه رسوبی و تبخیری پرکامبرین که در دو طرف آن قرار دارد، تقسیم می‌کند. از میان روندهای تکتونیکی ناحیه، تکتونیک شمالی- جنوبی قدیمی در پلیت عربی مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری



شکل ۱- A) موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی خلیج فارس و میدان گازی پارس جنوبی به همراه موقعیت برخی از شهرهای بزرگ و میداین هیدروکربنی اصلی (برگرفته از شرکت ملی نفت ایران)؛

B) ستون چینه‌شناسی میدان گازی پارس جنوبی دربرگیرنده سازند کنگان به سن تریاس و استراتیگرافی مخازن پرموتریاس شامل سنگ‌شناسی و زون‌های مخزنی (Mehrabani et al., 2016)

## ۲- روش تحقیق

فرامینیفرهای بنتیک کوچک و آلوکم‌های غیر اسکلی نظیر الیپدها، اینتراکلست‌ها، آنکوییدها و پلوییدها با فراوانی متغیر و تا حد اکثر ۲۰ درصد که در طی نهشت در بین لایه‌های نواری میکروبی و مت‌های جلبکی به دام افتاده‌اند، در این رخساره دیده می‌شوند (شکل ۳-۳c).

• **تفسیر:** استروماتولیت‌ها ساختارهای کربناته زیستی هستند که توسط کلنی‌های میکروبی تثبیت‌کننده کلسیت ایجاد شده‌اند. استروماتولیت‌ها با توجه به فراوانی و گسترش محدود موجودات تغذیه‌کننده از جلبک‌ها تمایل دارند تا در بخش‌های بالایی پهنه اینترتایدال توسعه یابند. علاوه بر این دولومیکرایت به صورت دولومیت‌های دیاژنتیکی اولیه که توسط سیانوباکتری‌ها تثبیت شده‌اند به پهنه پرتایدال نسبت داده می‌شوند (Flügel, 2010; Esrafil-Dizaji et al., 2013). تمامی این شواهد نهشت این رخساره در بخش بالایی اینترتایدال را تأیید می‌کند. استروماتولیت باندستون توسط فعالیت سیانوباکتری‌ها از زون بالای اینترتایدال توسط (Insalaco et al., 2006) گزارش شده است.

– **رخساره ترومبولیت باندستون (MF4):** ریزرخساره ترومبولیتی شامل ساختمان‌های نهران جلبکی و بافت اصلی آن فابریک لخته شده در مقیاس میکروسکوپی بوده و احتمالاً توسط سیانوباکتری‌های آهک ساز تولید شده است. لامیناسیون خاص استروماتولیت‌ها در این رخساره دیده نمی‌شود. در این رخساره نیز مانند رخساره استروماتولیتی قطعات اسکلتی و غیر اسکلی با فراوانی متغیر و کمتر از ۱۰ درصد حضور دارند (شکل ۳-۳d).

• **تفسیر:** فابریک لخته‌ای حاصل عمل زیست آشفستگی در ساختمان‌های استروماتولیتی است. ترومبولیت‌ها در محیط‌های کم عمق دریایی و تا عمق حدود چند متری نیز تشکیل می‌شوند. ترومبولیت‌ها در طی بالا آمدن سطح آب دریا همراه با نرخ رسوبگذاری پایین تحت شرایط کم‌انرژی در بخش اینترتایدال بر روی بستر سخت توسعه می‌یابند. موجودات میکروبی بعد از انقراض دسته جمعی انتهای پرمین به دلیل از بین رفتن موجودات پرسلولی تغذیه‌کننده از آنها گسترش می‌یابند (Hips and Hass, 2006; Rahimpour-Bonab et al., 2009; Peyravi et al., 2010). در نهایت این رخساره به صورت نهشت در زون اینترتایدال و احتمالاً سابتایدال کم عمق در شرایط کم انرژی و محدود و در ارتباط با مت‌های جلبکی قابل تفسیر است.

### ۳-۲. ریزرخساره‌های لاگون

– **رخساره مادستون فسیل‌دار (MF5):** زمینه به طور غالب از میکرایت و در مواردی دولومیکرایت تشکیل شده است. اجزای اسکلتی شامل قطعات فرامینیفرهای بنتیک محیط محدود، دوکفه‌ای و گاستروپود با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد هستند. پلوییدهای ریزدانه دارای فراوانی کمتر از ۵ درصد می‌باشند. لامیناسیون، بایوتوربین و باروهای پرشده در برخی از نمونه‌ها دیده شده‌اند (شکل ۳-۳e).

• **تفسیر:** پلویید به همراه غلبه گل کربناته در زمینه در محیط‌های لاگونی عهد حاضر با انرژی کم معمول هستند علاوه بر این حضور فرامینیفرهای بنتیک بدون منفذ به همراه خرده‌های نرم تنان نظیر گاستروپود از مشخصه‌های محیط‌های محدود شده هستند. تنوع و فراوانی کم اجزای فسیلی شناسایی شده تأییدکننده نهشت این رخساره در یک محیط محدود می‌باشد (Amao et al., 2016). تمامی این شواهد نشان دهنده یک جایگاه لاگونی محدود شده در پشت شول کربناته با عمق کم، انرژی پایین و مواد غذایی محدود است.

– **رخساره پلویید بایوکلست و کستون (MF6):** فراوانی اجزای اسکلتی و غیراسکلتی در این رخساره با زمینه میکرایتی و بافت و کستون نسبت به رخساره قبلی افزایش می‌یابد. خرده‌های اسکلتی (فرامینیفرهای بنتیک لاگونی نظیر میزیا یا (Mizzia sp.)) جلبک سبز و دوکفه‌ای و پلویید با فراوانی ۲۰ تا ۳۰ درصد اصلی‌ترین اجزای تشکیل دهنده در این رخساره می‌باشند. در مواردی ذرات اسکلتی تحت تأثیر میکروارگانیسم‌ها، میکرایتی شده‌اند. کلیه ذرات موجود اندازه‌های در محدوده ماسه خیلی ریز تا درشت و جورشدگی ضعیفی دارند (شکل ۳-۳f).

جهت دستیابی به اهداف یادشده تعداد ۴۷۱ عدد مقطع نازک تهیه شده از مغزه‌هایی که داده‌های تخلخل و تراوایی آنها جهت انجام مطالعات مربوط به گونه‌های سنگی استفاده شده، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این مقاطع توسط محلول آلزاین سرخ به روش Dickson (1966) رنگ آمیزی شده‌اند. رده‌بندی و نامگذاری سنگ‌ها بر اساس روش Dunham (1962) و تحلیل رخساره‌ها و محیط رسوبی با استفاده از روش‌های (Burchette and Wright, 1992) و (Flügel, 2010) انجام شده است. گونه‌های سنگی و روابط پتروفیزیکی آنها با توجه به داده‌های پتروفیزیکی موجود و با استفاده از روش‌های (Lucia, 2007) و (Ahr, 2008) مشخص شده‌اند.

## ۳- ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی

تجزیه و تحلیل رسوب‌شناختی مقاطع نازک سازند کنگان منجر به شناسایی ۱۲ رخساره کربناته-تبخیری گردیده است که در سه محیط رسوبی شامل پهنه جزرومدی، لاگون و شول کربناته نهشته شده‌اند؛ که به ترتیب از بخش کم عمق به سمت بخش عمیق حوضه به اختصار در ادامه آورده شده‌اند. تغییرات رخساره‌ها و محیط رسوبی مربوط به آنها به همراه فرایندهای غالب دیاژنتزی در طول توالی سازند کنگان در شکل ۲ نشان داده شده است.

### ۳-۱. ریزرخساره‌های پهنه جزرومدی

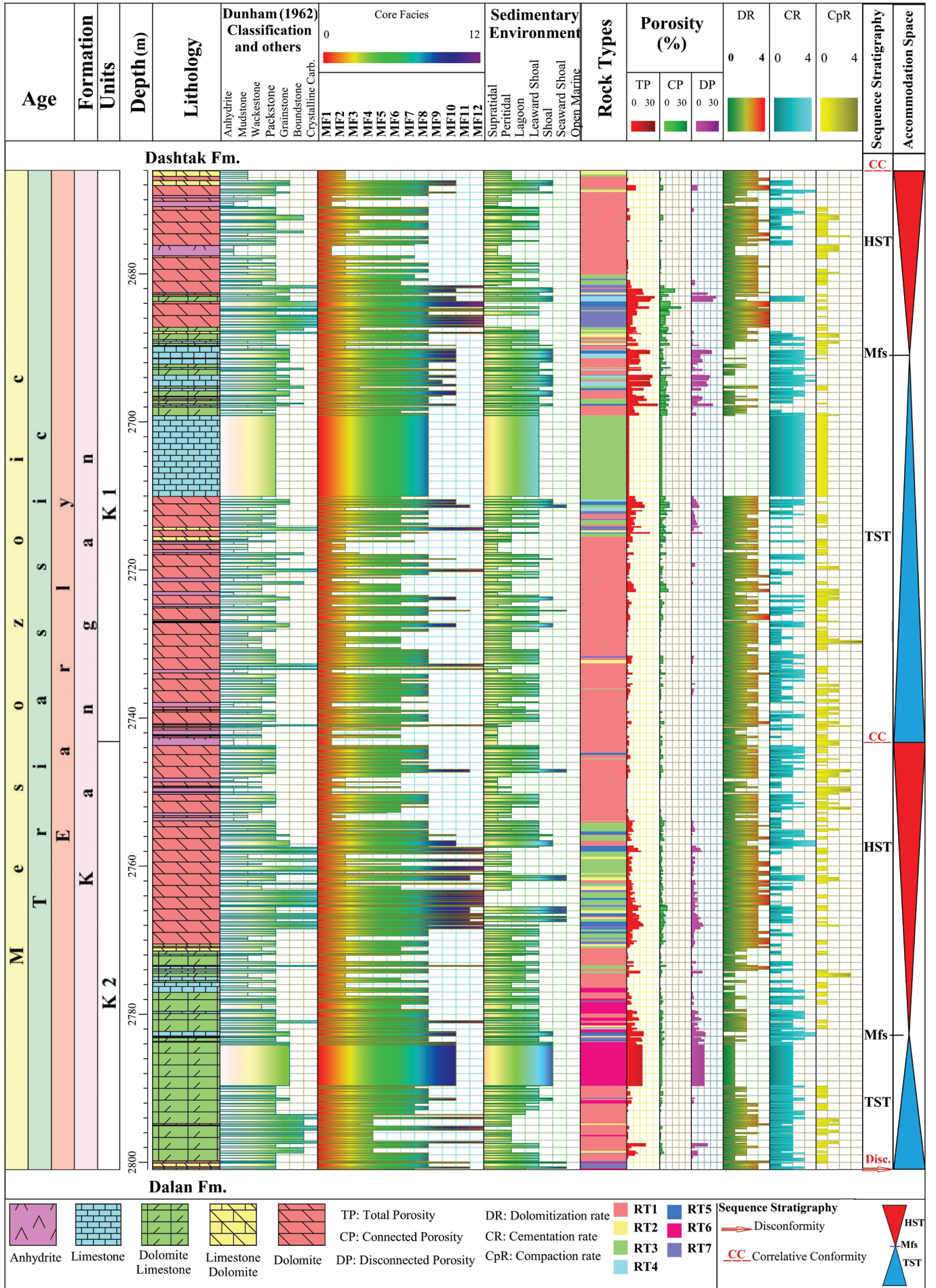
– **رخساره انیدریتی (MF1):** این رخساره در بیشتر نمونه‌ها تقریباً به طور کامل از انیدریت تشکیل شده است و فرم‌های متفاوتی شامل توری مرغی، نودولار، لامینه‌ای و لایه‌ای تا توده‌ای را نشان می‌دهد. ضخامت طبقات در آن از ۱۰ سانتی‌متر تا ۲ متر می‌رسد. در مواردی مواد تخریبی دارد و نیز گاهی بافت آن به دلیل وجود ناخالصی‌هایی نظیر مواد آلی به صورت تیره دیده می‌شود. در تعدادی از نمونه‌ها به صورت مادستون انیدریتی دیده می‌شود. هیچ نوع ساختار رسوبی در این رخساره شناسایی نشده است (شکل ۳-۳a).

• **تفسیر:** رخساره‌های انیدریتی تحت شرایط آب‌وهوایی خشک در محیط‌های سوپراتایدال در پلاتفرم‌های کربناته معمول هستند (Warren, 2006). با توجه به فابریک‌های مختلف انیدریت و وجود رسوبات پهنه جزرومدی این رخساره به صورت نهشته‌های نوع سبختا در پهنه بالای جزرومدی (سوپراتایدال) توسعه یافته است. تبخیری‌ها هم‌اکنون در سواحل خلیج فارس (نظیر ابوظبی) به همراه مت‌های میکروبی و در مواردی مواد سیلیسی کلاستیک در پهنه بالای جزرومدی و به صورت بین لایه‌ای با رسوبات گل غالب بین جزرومدی مشاهده می‌شوند (Lokier et al., 2015).

– **رخساره مادستون دولومیتی شده (MF2):** این رخساره به طور غالب میکرایتی و در مواردی از جنس دولومیت می‌باشد. فاقد هر گونه آثار فسیلی بوده ولی در مواردی حاوی مقادیر جزئی آنکویید، پلویید و اینتراکلست است. ذرات تخریبی کوارتز در اندازه سیلت به صورت پراکنده در آن دیده می‌شود. در مواردی ساخت فنتسترال مشاهده شده است (شکل ۳-۳b).

• **تفسیر:** مادستون‌های آهکی تا دولومیتی همراه با ذرات ریز کوارتز در حد سیلت در مراحل اولیه دیاژنت در قسمت داخلی پهنه‌های گلی جزرومدی تشکیل می‌شوند (Preto et al., 2015). نبود اجزای بایوکلستی و وجود آلوکم‌های غیراسکلتی نظیر آنکویید حاکی از فعالیت‌های میکروبی در پهنه بین جزرومدی تا بالای جزرومدی است (Demicco and Hardie, 1994). در نهایت با توجه به وجود ساخت فنتسترال که شاخص پهنه جزرومدی بوده و در نتیجه فساد مواد آلی و تشکیل حبابهای گاز، به دام افتادن هوا در بین رسوبات و حتی حفاری توسط موجودات خزنده یا کرم‌ها تشکیل می‌شوند (Shinn, 1983) می‌توان نهشت این رخساره را به پهنه بالای بین جزرومدی نسبت داد.

– **رخساره استروماتولیت باندستون (MF3):** این رخساره شامل لامینه‌های ظریف و نواری و گاهاً پیچیده و متراکم میکرایتی و دولومیکرایتی همراه با فیلامنت‌های جلبکی می‌باشد. در بسیاری از موارد قطعات اسکلتی نظیر گاستروپود، استراکد و



شکل ۲- پراکندگی رخساره‌ها، گونه‌های سنگی و سکانس‌های رسوبی و تغییرات تخلخل و فرایندهای دیاژنی اصلی در طول توالی سازند کنگان.

• **تفسیر:** میکرایتی شدن و تشکیل حاشیه میکرایتی تحت شرایط انرژی پایین و آب‌های کم‌عمق و محدود شده با شوری بالا صورت می‌گیرد (Flügel, 2010). شرایط محدود شده و بسته و عدم ارتباط کافی با آب‌های دریای باز توسط کم بودن یا حتی نبودن ارگانسیم‌های نرمال دریایی و فراوانی اجزاء اسکلتی ارگانسیم‌های محیط‌های محدود نظیر فرامینفرهای بنتیک بدون منفذ و جلبک سبز تقویت می‌شود (Hips and Hass 2006). بنابراین بر اساس جورشدگی ضعیف و نیز شواهد زیستی موجود این رخساره در یک محیط لاگون‌ی بسته نهشته شده است.

• **تفسیر:** ذرات اینتراکلت و دانه‌های اگرگات مؤید محیطی با انرژی متغیر هستند (Flügel, 2010). فراوانی بالای ایدها و بافت گریستون به همراه جورشدگی بالا نشان‌دهنده نهشت این رخساره در یک محیط شول کربناته با انرژی بالاست (Esrafil-Dizaji et al., 2013). علاوه بر این عدم حضور گل کربناته و حضور سیمان دریایی (سیمان فیبری هم ضخامت) بیانگر جایگاه نهشتی محیط دریایی کم‌عمق، تحت اثر امواج و در بالای قاعده امواج معمولی در یک آب‌وهوای خشک می‌باشد (Tucker and Wright 1990). از این رو می‌توان این رخساره را نیز به بخش مرکزی شول کربناته با آب‌های فوق اشباع و تلاطم بالا نسبت داد که تشکیل ایدها، جورشدگی بالا و بافت گریستون را ممکن نموده است.

• **تفسیر:** آنکوئید در شرایط محیطی آرام و کم انرژی تشکیل می‌شوند. تنوع و فراوانی ارگانسیم‌های بنتیک نشان‌دهنده نهشت در محیطی با آب‌های با انرژی کم تا متوسط و اکسیژن کافی است؛ جایی که شوری آب دریا می‌تواند نزدیک به شوری نرمال باشد (Flügel, 2010; Boudaughier-Fadel, 2018). در نهایت حضور فرامینفرهای بدون منفذ بیانگر نهشت این رخساره در محیط لاگون باز و مجاور شول کربناته با آب‌های با شوری نرمال‌تر می‌باشد که شرایط زیست موجودات اسکلت ساز را فراهم نموده‌اند.

### ۳-۳. ریزرخساره‌های شول کربناته

• **تفسیر:** حضور خرده‌های اسکلتی و اینتراکلت‌های زاویه‌دار با جورشدگی پایین تا متوسط می‌تواند ناشی از برخورد امواج با برجستگی‌های شول و جدا شدن ذرات و تجمع آنها در بخش جلویی شول کربناته باشد. حضور سیمان‌های اولیه در حاشیه ذرات حاکی از تأثیر انرژی امواج است ولی انرژی آن در حدی نیست که بتواند تمامی میکرایت موجود را جدا کند. این رخساره به بخش جلویی شول کربناته (seaward shoal) نسبت داده می‌شود.

• **تفسیر:** حضور خرده‌های اسکلتی و اینتراکلت‌های زاویه‌دار با جورشدگی پایین تا متوسط می‌تواند ناشی از برخورد امواج با برجستگی‌های شول و جدا شدن ذرات و تجمع آنها در بخش جلویی شول کربناته باشد. حضور سیمان‌های اولیه در حاشیه ذرات حاکی از تأثیر انرژی امواج است ولی انرژی آن در حدی نیست که بتواند تمامی میکرایت موجود را جدا کند. این رخساره به بخش جلویی شول کربناته (seaward shoal) نسبت داده می‌شود.

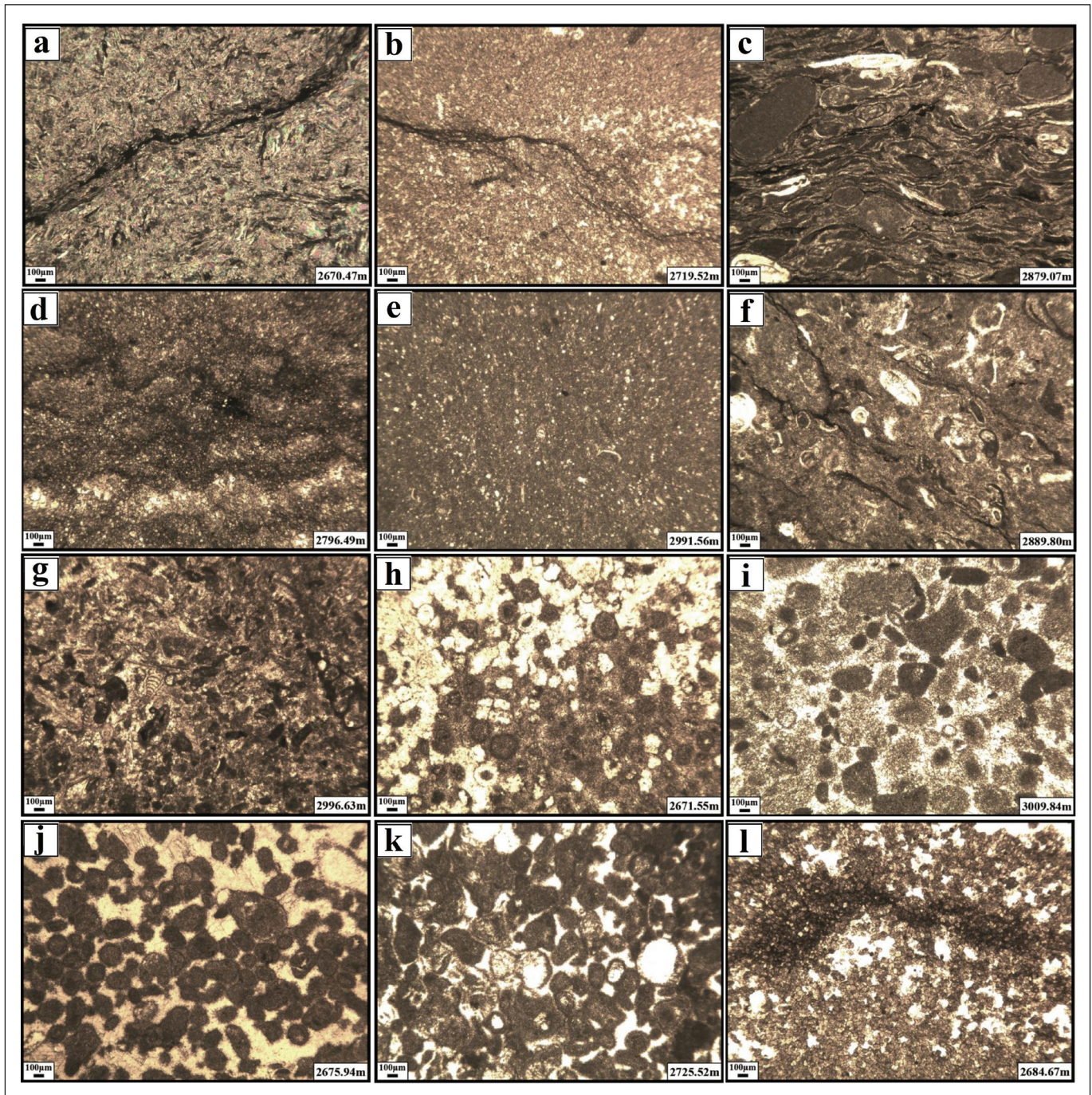
• **تفسیر:** آنکوئید در شرایط محیطی آرام و کم انرژی تشکیل می‌شوند. تنوع و فراوانی ارگانسیم‌های بنتیک نشان‌دهنده نهشت در محیطی با آب‌های با انرژی کم تا متوسط و اکسیژن کافی است؛ جایی که شوری آب دریا می‌تواند نزدیک به شوری نرمال باشد (Flügel, 2010; Boudaughier-Fadel, 2018). در نهایت حضور فرامینفرهای بدون منفذ بیانگر نهشت این رخساره در محیط لاگون باز و مجاور شول کربناته با آب‌های با شوری نرمال‌تر می‌باشد که شرایط زیست موجودات اسکلت ساز را فراهم نموده‌اند.

### ۴- محیط رسوبی

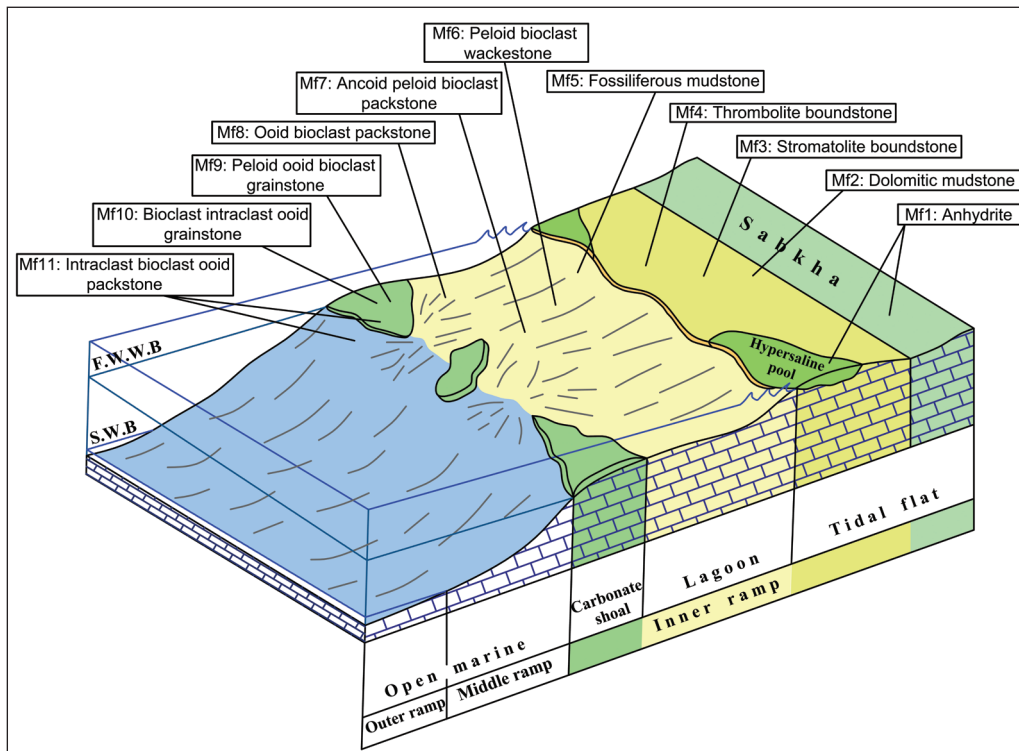
• **تفسیر:** ایدها ذرات معمول در محیط‌های نهشتی شول کربناته هستند (Flügel, 2010). نبود گل کربناته، خرده‌های اسکلتی زاویه‌دار، ایدهای متحدالمرکز و جورشدگی ذرات نشان‌دهنده بالا بودن انرژی محیط و نهشت این رخساره در محیطی تحت تأثیر انرژی امواج است (Insalaco et al., 2006). بر همین اساس می‌توان محیط نهشت این رخساره را بخش مرکزی تپه‌های شول کربناته با انرژی بالا ذکر نمود که اجازه نهشت گل کربناته را نداده است.

ملاحظه‌ای از توالی مورد بررسی است؛ چنان که در طی اوایل تریاس حوضه زاگرس در محدوده عرض‌های ۱۷ تا ۲۰ درجه جنوبی واقع بوده است (Angiolini et al., 2003). این عرض جغرافیایی سازند کنگان را در محدوده شرایط خشک ساب‌تروپیکال، که با توجه به آنالیز رخساره‌های شناسایی شده منجر به توسعه لاگون‌های پیرسالمین شده، قرار داده است. امروزه همین شرایط در مناطق جنوبی ایران، خلیج فارس و پلیت عربی وجود دارد (Purser and Evans, 1973; Alsharhan and Kendall, 2003).

این پلاتفرم پس از انقراض گروهی انتهای پرمن تشکیل شده است. بنابراین رسوبات آن به شدت توسط فعالیت‌های میکروبی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. به طوری که رشد و توسعه ترومبولیت‌ها به ویژه در قاعده سازند کنگان (شکل ۲) و تشکیل دانه‌های کربناته میکرایتی شده نظیر آنکوئید و پلوئید ناشی از فعالیت‌های میکروبی فراگیر بوده است. علاوه بر این گسترش پهنه جزرومدی به همراه رسوبات تبخیری و نیز رخساره استروماتولیتی موید کم عمق بودن محیط نهشتی و وجود آب و هوای گرم و خشک در بخش قابل



شکل ۳- رخساره های شناسایی شده در طول توالی سازند کنگان. (a) MF1: رخساره انیدریتی؛ (b) MF2: رخساره مادستون دولومیتی شده؛ (c) MF3: رخساره استروماتولیت باندستون؛ (d) MF4: رخساره ترومبولیت باندستون؛ (e) MF5: رخساره مادستون فسیل دار؛ (f) MF6: رخساره پلوئید اینتراکست با یوکلست و کستون؛ (g) MF7: رخساره آنکوئید پلوئید با یوکلست پکستون؛ (h) MF8: رخساره ایید با یوکلست پکستون؛ (i) MF9: رخساره پلوئید ایید با یوکلست گریستون؛ (j) MF10: رخساره با یوکلست اینتراکست ایید گریستون؛ (k) MF11: رخساره اینتراکست با یوکلست ایید پکستون؛ (l) MF12: رخساره دولومیتی.



شکل ۴- مدل رسوبی ارائه شده برای نهشت توالی کربناته- تبخیری سازند کنگان که در آن موقعیت هر کدام از رخساره‌ها و زیرمحیط‌های رسوبی نمایش داده شده است.

در نهایت روند آرام عمیق شوندگی حوضه رسوبی در طی پرمو- تریاس (Insalaco et al., 2006)، عدم وجود ساختمان‌های ریفی دارای تداوم جانبی و مقاوم در برابر امواج، وجود رخساره‌های پهنه جزرومدی و لاگون با گسترش زیاد که دلالت بر شیب کم حوضه دارد و نبود رخساره‌های ریزشی و لغزشی که بیانگر شیب نسبتاً بالای حوضه رسوبی است همگی تأییدکننده نهشت توالی مورد بررسی از سازند کنگان در یک محیط رمپ کربناته از نوع هموکلینال هستند. این شواهد توسط دیگر محققان نیز که طبقه بندی ژنتیکی رمپ‌های کربناته را ارائه نموده‌اند برای رمپ هموکلینال ارائه شده است (Burchette and Wright, 1992; Pomar, 2001; Bosence, 2005).

#### - RT2: Marine cemented packstone/grainstone

نمونه‌های معرف این گونه سنگی دارای تخلخل ۵ تا ۱۰ درصد و تراوایی ۰/۱ تا ۱ میلی داری می‌باشند. رخساره‌های اصلی تشکیل‌دهنده آن پکستون‌ها و گریستون‌های با سیمان دریایی هستند که در مواردی از فشردگی ذرات در مراحل تدفین رسوبات جلوگیری نموده است (شکل ۶)؛ چنان که تخلخل بین‌دانه‌ای در آن‌ها تا مرحله تدفین عمیق باقی مانده است. حضور میکرایت و وجود سیمان‌های کربناته و انیدریتی مرحله دیاژنز تأخیری در این گونه سنگی موجب کاهش تخلخل و تراوایی و در نتیجه بالا نبودن خواص مخزنی و ایجاد کیفیت مخزنی متوسط شده است. دولومیتی شدن ثانویه موجب توسعه خواص مخزنی در آن شده است. فرایند انحلال نیز مسئول بخشی از تخلخل و تراوایی در این گونه سنگی است. دولومیت، لیتولوژی غالب را در این گونه سنگی تشکیل می‌دهد؛ بنابراین نمونه‌ها دارای تراوایی خوب با تخلخل پایین تا متوسط می‌باشند. چگالی بالای ذرات در تعدادی از نمونه‌ها به دلیل تأثیر و حضور انیدریت در آن‌هاست (شکل‌های ۵- A و C).

#### - RT3: Dolomitized wackestone/packstone

این گونه سنگی دارای تخلخل ۵ تا ۱۰ درصد و تراوایی ۱ تا ۲۰ میلی داری می‌باشد که دلیل آن تأثیر دولومیتی شدن بر نمونه‌های تشکیل‌دهنده آن است. رخساره‌های دربرگیرنده آن مشابه RT2 هستند و بیشترین نمونه‌ها را بعد از RT1 به خود اختصاص داده است (شکل ۶). تخلخل‌های بین دانه‌ای اولیه مسئول تخلخل و تراوایی بالا در تعدادی از نمونه‌ها هستند. به طور کلی این گونه سنگی دارای کیفیت مخزنی

در نهایت روند آرام عمیق شوندگی حوضه رسوبی در طی پرمو- تریاس (Insalaco et al., 2006)، عدم وجود ساختمان‌های ریفی دارای تداوم جانبی و مقاوم در برابر امواج، وجود رخساره‌های پهنه جزرومدی و لاگون با گسترش زیاد که دلالت بر شیب کم حوضه دارد و نبود رخساره‌های ریزشی و لغزشی که بیانگر شیب نسبتاً بالای حوضه رسوبی است همگی تأییدکننده نهشت توالی مورد بررسی از سازند کنگان در یک محیط رمپ کربناته از نوع هموکلینال هستند. این شواهد توسط دیگر محققان نیز که طبقه بندی ژنتیکی رمپ‌های کربناته را ارائه نموده‌اند برای رمپ هموکلینال ارائه شده است (Burchette and Wright, 1992; Pomar, 2001; Bosence, 2005).

#### ۵- گونه‌های سنگی

هدف از تعیین گونه‌های سنگی شناسایی خواص مخزنی رخساره‌های رسوبی نهشته شده در طول یک توالی با ویژگی‌های مخزنی و رسوب‌شناختی مشابه است که این امر با توجه به طبیعت ناهمگن مخازن کربناته به راحتی میسر نمی‌شود. با توجه به داده‌های تخلخل، تراوایی و رخساره‌های شناسایی شده ۷ گونه سنگی به شرحی که خواهد آمد، شناسایی شده است. در شکل ۵ داده‌های مربوط به تخلخل- تراوایی و تخلخل- دانسیته که منجر به شناسایی و تمایز این گونه‌های سنگی از یکدیگر شده، آمده است. تغییرات گونه‌های سنگی در طول توالی سازند کنگان در شکل ۲ نشان داده شده است.

#### - RT1: Anhydrite and extensive anhydrite cement mudstone/wackestone/packstone/grainstone

این گونه سنگی دارای تخلخل کمتر از ۵ درصد و تراوایی پایین‌تر از ۰/۱ میلی داری می‌باشد و بخش‌های غیر مخزنی سازند کنگان را تشکیل می‌دهند (شکل ۶)؛ اگر چه در مخازن گازی بخش‌های کربناته با تخلخل ۱ درصد و تراوایی ۰/۱ میلی داری در کلاس مخازن با کیفیت پایین قرار می‌گیرند (Ahr, 2008). رخساره‌های اصلی تشکیل‌دهنده این نمونه Mf6، Mf2، Mf1 و نیز تعدادی زیادی از نمونه‌های معرف محیط شول کربناته (پشت سد) هستند که تحت تأثیر فرایند سیمانی شدن گسترده

هستند. انحلال و دولومیتی شدن و حضور تخلخل‌های بین‌دانه‌ای عوامل اصلی کیفیت مخزنی مناسب در این گونه سنگی هستند (شکل‌های ۵-B و D).

#### - RT6: Intraclast ooid/oncoid packstone/grainstone

نمونه‌های با تخلخل ۱۰ تا ۲۵ درصد و تراوایی ۰/۱ تا ۱۰۰ میلی داری در این گونه سنگی قرار می‌گیرند. به طوری که این گونه سنگی محدوده وسیعی از تخلخل و تراوایی را در بر می‌گیرد. نمونه‌های معرف این گونه سنگی از طریق مطالعات پتروگرافی به راحتی قابل شناسایی هستند؛ چنان که رخساره‌های اصلی تشکیل دهنده آن پکستون‌ها و گریستون‌های اییدی-باوکستی با مقادیر بالای سیمان دریایی اولیه مرتبط با محیط شول کربناته هستند (شکل ۶). و کستون‌ها نیز با فراوانی پایین در این گونه سنگی حضور دارند. فرایند دولومیتی شدن، تخلخل و تراوایی را در بخش‌های مخزنی در برگیرنده این گونه سنگی تحت تأثیر قرار داده است (شکل‌های ۵-B و D).

#### - RT7: Ooid grainstone/ dolostone

نمونه‌های با تراوایی بیش از ۱۰ میلی‌داری در این گونه سنگی حضور دارند که در واقع بهترین گونه سنگی مخزنی در سازند کنگان را تشکیل می‌دهند (شکل ۶). با توجه به تراوایی بالای این گونه سنگی بالاترین تولید از آن متصور است. فضاهای خالی در آن به دلیل وجود تخلخل‌های اولیه بین دانه‌های ناشی از حضور سیمان اولیه دریایی که از فشردگی آن‌ها در حین تدفین جلوگیری نموده و نیز نرخ مناسب دولومیتی شدن و تشکیل بلورهای دولومیتی با مرزهای مسطح شکل دار و نیمه شکل دار، ارتباط خوبی با یکدیگر دارند. Mf12 رخساره اصلی تشکیل دهنده این گونه سنگی است (شکل‌های ۵-B و D). توزیع رخساره‌های مختلف در گونه‌های سنگی شناسایی شده در شکل ۷ نشان داده شده است.

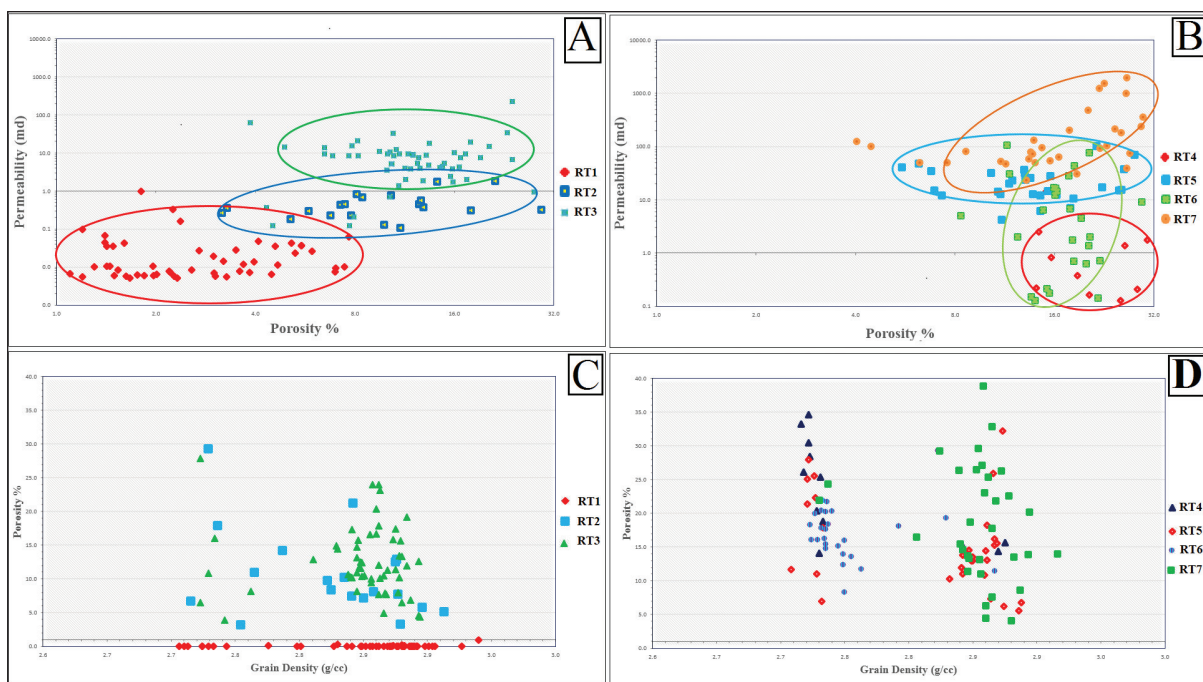
متوسط به دلیل داشتن نمونه‌های با تخلخل متوسط و تراوایی متوسط تا بالا می‌باشد (شکل‌های ۵-A و C).

#### - RT4: Dissolved bioclast ooid grainstone/packstone

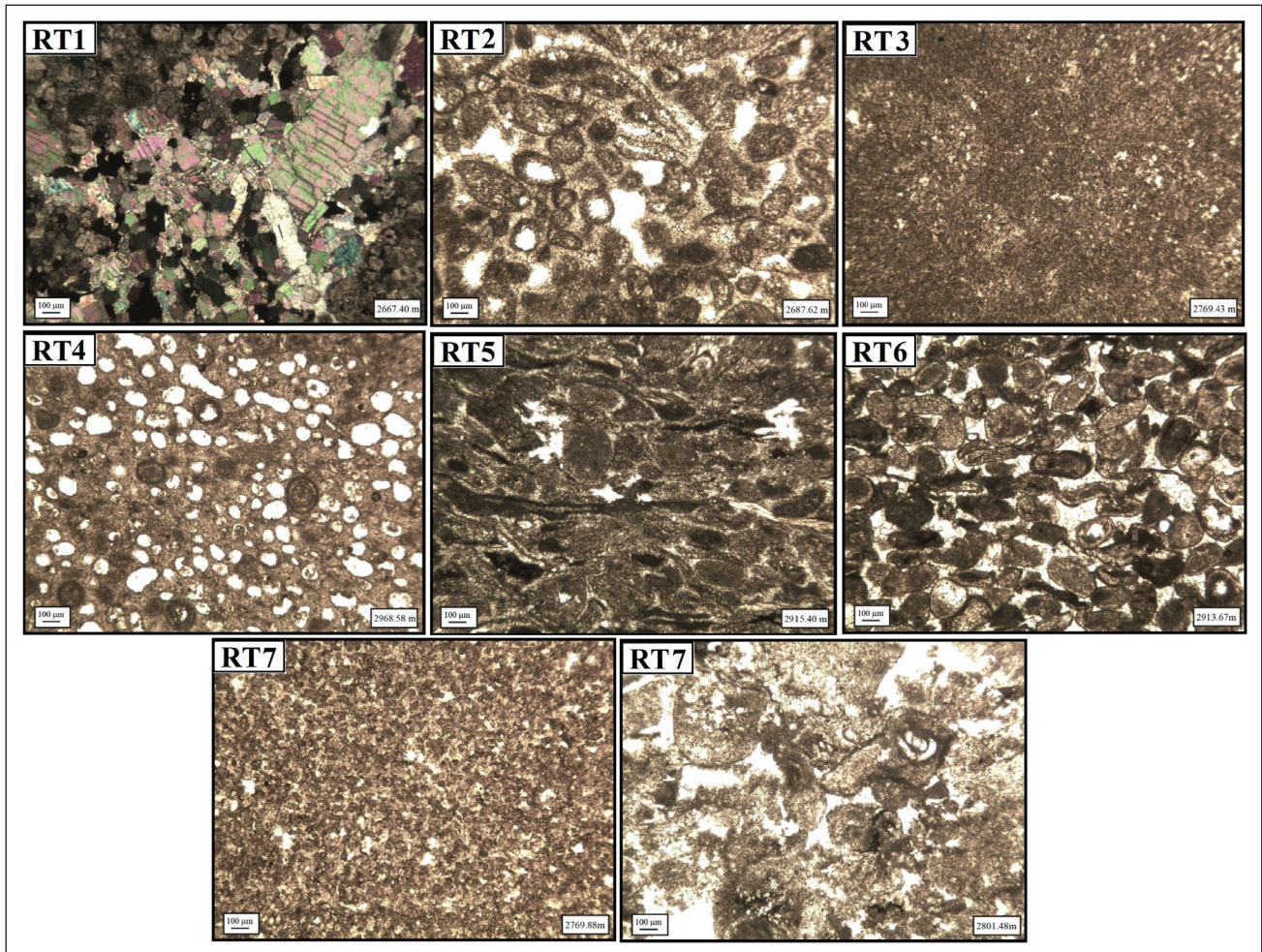
نمونه‌های معرف این گونه سنگی با داشتن تخلخل ۵ تا ۳۰ درصد و تراوایی کمتر از ۱ میلی داری و بنابراین تخلخل بالا و تراوایی متوسط تا پایین مشخص می‌شوند که علت آن وجود تخلخل‌های انحلالی مرتبط با فابریک سنگ در آن است. رخساره‌های اصلی تشکیل دهنده آن پکستون‌ها و گریستون‌های دانه غالب است که اجزای اصلی آن‌ها را خرده‌های اسکلتی و اییدها تشکیل می‌دهند (شکل ۶). اییدهای آراگونیتی در محیط دیاژنز جوی حل و موجب ایجاد تخلخل قالبی غیر مرتبط و در نتیجه تراوایی پایین در نمونه‌ها شده‌اند. دولومیت‌های نهشتی اولیه در تعدادی از نمونه‌ها دیده شده‌اند. لیتولوژی غالب در این گونه سنگی آهک است و بنابراین فضاهای بین بلوری کافی جهت مرتبط کردن تخلخل‌های قالبی وجود ندارد. در مجموع این گونه سنگی نیز دارای کیفیت مخزنی پایین تا متوسط است. چگالی بالای ذرات در تعدادی از نمونه‌ها به دلیل وجود انیدریت است (شکل‌های ۵-B و D).

#### - RT5: Bioclast ooid grainstone

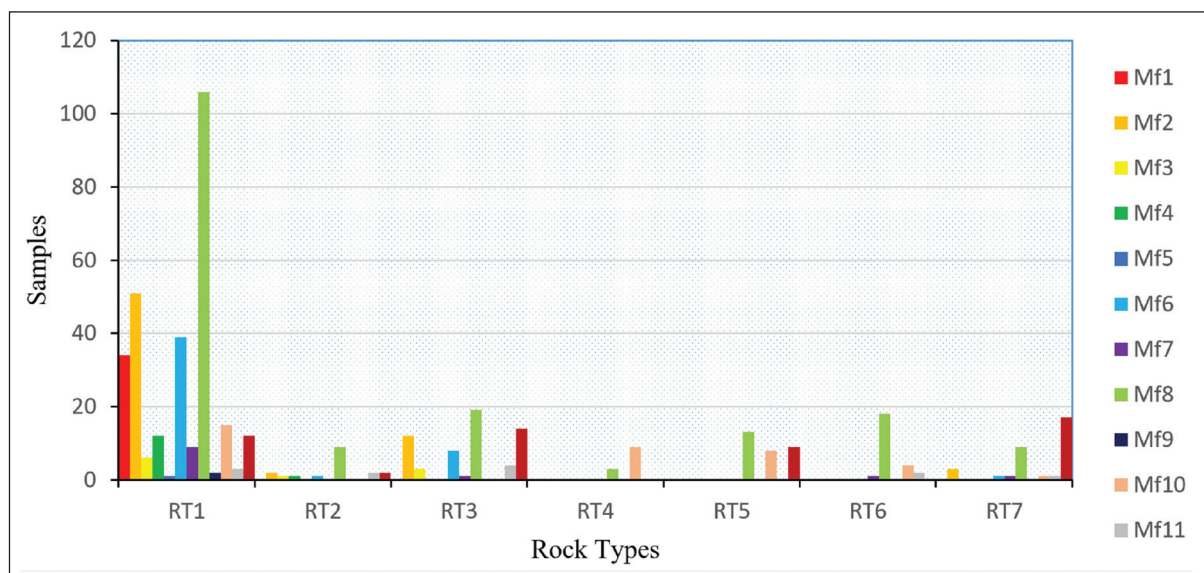
ریزرخساره‌های اصلی تشکیل دهنده این گونه سنگی مشابه RT4 است. با این تفاوت که نمونه‌های آن به دلیل تأثیر دولومیتی شدن، تخلخل و تراوایی بالاتری را نشان می‌دهند (شکل ۶). تخلخل در این گونه سنگی کمتر از ۱۵ درصد و تراوایی بین ۵ تا ۱۰۰ میلی داری است. فرایند دولومیتی شدن در این گونه سنگی علاوه بر ایجاد تخلخل‌های بین بلوری موجب ارتباط حفرات غیر مرتبط از طریق حفرات گلوگاهی بلورهای دولومیت شده است. عامل دیگری که موجب ارتباط حفرات غیر مرتبط به یکدیگر شده، وجود تخلخل‌های بین‌دانه‌ای اولیه است. تخلخل‌های قالبی فضاهای خالی غالب را تشکیل می‌دهند. ولی تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و بین بلوری نیز معمول



شکل ۵- A و B) کراس پلات تخلخل- تراوایی؛ C و D) کراس پلات تخلخل- دانسیته در گونه‌های سنگی مختلف را نشان می‌دهند.



شکل ۶- گونه های سنگی شناسایی شده در سازند کنگان. RT1 به دلیل توسعه بالای سیمان انیدریتی بخش های غیر مخزنی را تشکیل می دهد؛ RT2 دولومیتی شدن و انحلال موجب توسعه تخلخل و تراوایی شده اما به دلیل وجود میکرایت در زمینه و توسعه سیمان کربناته و انیدریتی دارای خواص مخزنی متوسط است؛ RT3 دارای زمینه میکرایتی است ولی دولومیتی شدن مسئول تخلخل و تراوایی متوسط در بیشتر نمونه های آن است؛ RT4 انحلال مرتبط با فابریک سنگ موجب تخلخل بالا و تراوایی متوسط تا پایین در آن شده است؛ RT5 بافت دانه افزون و تخلخل های بین بلوری موجب تخلخل و تراوایی بالا در آن شده است؛ RT6 نمونه های آن عمدتاً شامل رخساره های شول کربناته هستند که به دلیل تأثیر دیاژنز محدوده تخلخل و تراوایی در آن متغیر است؛ RT7 به طور عمده از رخساره های دولومیتی و سپس شول کربناته با بافت گرینستون تشکیل شده که موجب بالاترین تراوایی در این گونه سنگی شده است.



شکل ۷- توزیع رخساره های سازند کنگان در هفت گونه سنگی تعیین شده.



## ۶- چینه‌نگاری سکانسی

(Mf5 و Mf6) با بافت گل‌افزون و خواص پایین مخزنی مشخص می‌شود. حضور رخساره استروماتولیتی (Mf3) در این سیستم تراکت حاکی از تداوم فعالیت‌های میکروبی در پلاتفرم سازند کنگان در طی تریاس است. در بخش بالایی این سیستم تراکت رخساره‌های دانه‌افزون شول کربناته (Mf8) و به مقدار کمتر (Mf9) با بافت پکستون و گرینستون غالب هستند؛ در این بخش تخلخل و تراوایی به دلیل میزان بالای سیمانی شدن پایین است. سطح بیشینه پیشروی آب دریا در این سکانس نیز توسط رخساره‌های دانه‌افزون شول با بافت گرینستون (Mf10) و تخلخل و تراوایی بالا مشخص می‌شود. بر روی این سطح، سیستم تراکت تراز بالا با خواص مخزنی پایین قرار دارد که با پیشروی رخساره‌ها ابتدا به رخساره‌های دانه‌افزون رو به خشکی شول و سپس رخساره‌های گل‌افزون لاگون می‌رسد و در نهایت به رخساره‌های پرتایدال و سوپراتایدال ختم می‌شود. مرز بالایی این سکانس با مرز سازند کنگان و دشتک منطبق بوده و به صورت یک پیوستگی معادل است.

## ۷- کیفیت مخزنی

با توجه به رخساره‌های شناسایی شده که تغییرات آنها در طول توالی سازند کنگان در نتیجه تغییرات سطح آب دریا منجر به شناسایی دو سکانس رسوبی شده و نیز گونه‌های سنگی تعیین شده، می‌توان توالی کربناته سازند کنگان را به دو زون مخزنی اصلی شامل زون‌های K1 و K2 تقسیم کرد که به ترتیب منطبق بر سکانس‌های رسوبی دوم و اول هستند. شکل ۷ توزیع رخساره‌های سازند کنگان در گونه‌های سنگی شناسایی شده را نشان می‌دهد که از گونه سنگی ۱ به سمت گونه سنگی ۷ خواص مخزنی در آنها بهبود می‌یابد. با توجه به گونه‌های سنگی تعیین شده، خواص مخزنی تابع هر دو عامل رخساره و دیاژنز است چنانچه رخساره‌های مربوط به محیط محدود لاگونی با زمینه گل کربناته در اثر فرایند دولومیتی شدن و انحلال در گونه‌های سنگی دارای خواص مطلوب مخزنی قرار می‌گیرند و رخساره‌های گرینستونی شول کربناته در اثر شدت سیمانی شدن و انیدریتی شدن در گونه‌های سنگی با خواص مخزنی پایین و یا حتی غیرمخزنی واقع شده‌اند. شکل ۸ فراوانی گونه‌های سنگی مختلف را در زون‌های مخزنی تعیین شده نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود زون K1 به دلیل اینکه بیش از ۷۰ درصد از توالی آن از گونه سنگی غیرمخزنی (RT1) است و درصد قابل توجه دیگری از توالی آن را گونه‌های سنگی با تخلخل و تراوایی پایین تشکیل می‌دهند، کیفیت مخزنی و توانایی تولید هیدروکربن پایینی دارد. در حالی که زون K2 با ضخامت بسیار کمتر که بخش قابل توجهی از توالی آن را گونه‌های سنگی با تخلخل و تراوایی بالا تشکیل می‌دهند دارای کیفیت مخزنی بهتر و توان تولید هیدروکربن بالاتری است. لذا زون K2 می‌تواند به عنوان یک زون مخزنی خوب به ویژه در بخش پایینی خود عمل کند. سکانس‌های رسوبی شناسایی شده نقش رخساره‌ها و محیط رسوبی مربوط به آنها را در کنترل کیفیت مخزنی تأیید می‌کنند. به طوری که بیشترین کیفیت مخزنی مربوط به سطح بیشینه پیشروی و بخش‌های ابتدایی سیستم تراکت تراز بالای آب دریا در هر دو سکانس رسوبی است که به طور غالب با رخساره‌های گرینستونی ائیدی و بایوکلستی مربوط به شول کربناته مشخص می‌شوند. این رخساره‌ها در گونه‌های سنگی با تخلخل و تراوایی بالا قرار می‌گیرند که دارای خواص مطلوب مخزنی جهت تولید و برداشت هیدروکربن هستند.

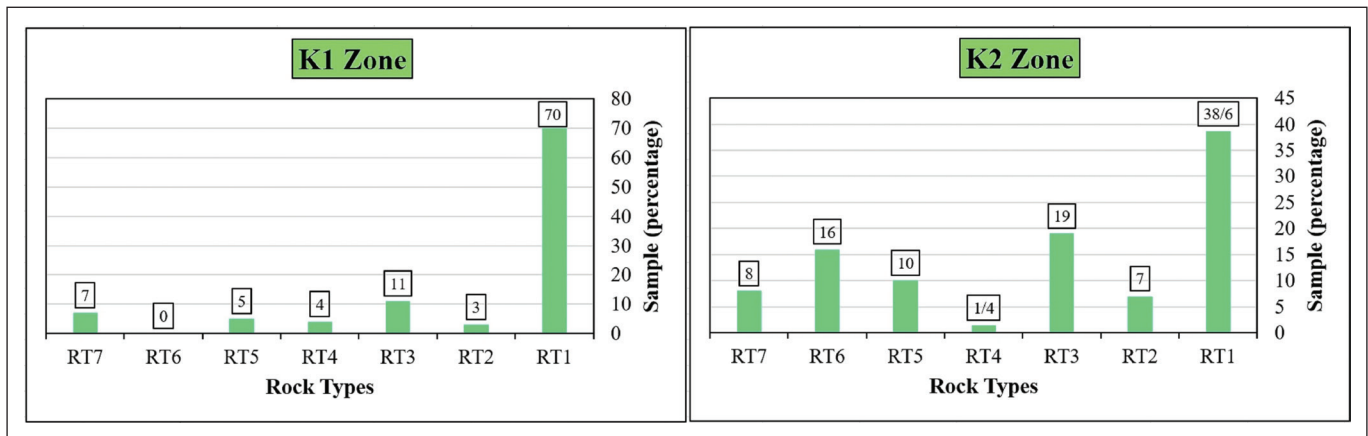
واحدهای چینه‌نگاری سکانسی بدنه‌هایی از سنگ‌های رسوبی هستند که بر اساس الگوهای انباشت چینه‌ای و ارتباطات چینه‌ای آنها تعریف می‌شوند. سطوح چینه‌نگاری سکانسی سطوحی هستند که واحدهای چینه‌نگاری سکانسی را محدود می‌کنند؛ ضمن اینکه مرزهای چینه‌نگاری هستند که تغییرات در الگوهای انباشت چینه‌ای بین واحدهای زیرین و بالایی را مشخص می‌کنند (Catuneanu and Zecchin, 2013; Catuneanu, 2017). در پلاتفرم کربناته سازند کنگان به سن تریاس با آب‌وهوای خشک مرزهای سکانسی توسط رخساره‌های تبخیری و پرتایدال مشخص می‌شوند. به طوری که مرزهای سکانسی منطبق بر بیشترین جابجایی رخساره‌ها به سمت خشکی تعریف شده‌اند. هر سکانس شامل مجموعه‌ای از رخساره‌های دانه‌افزون ساب‌تایدال (لاگون و شول) با مشخصات مخزنی مناسب است که در نهایت توسط رخساره‌های تبخیری و پرتایدال با مشخصات پایین مخزنی پوشیده شده‌اند. سطح بیشینه پیشروی آب دریا (Mfs) توسط حداکثر پیشروی آب دریا و عمیق شدن حوضه تعریف شده است که در اینجا توسط رخساره‌های شول کربناته مشخص می‌شود. در این مقاله تغییرات جانبی و عمودی رخساره‌ها و شناسایی زیرمحیط‌های رسوبی در ارتباط با تغییرات سطح نسبی آب دریا منجر به شناسایی دو سکانس رسوبی رده سوم در سازند کنگان گردیده است که الگوی انباشت چینه‌ای در آنها توسط رخساره‌های ساب‌تایدال (لاگون و شول) مشخص می‌شود که توسط رخساره‌های تبخیری و پرتایدال در بر گرفته شده‌اند (شکل ۲).

## ۶-۱. سکانس رسوبی اول

این سکانس با ۵۸ متر ضخامت بخش قاعده‌ای سازند کنگان را تشکیل می‌دهد و شامل دو سیستم تراکت پیشرونده (TST) و تراز بالا (HST) است. حد پایینی آن توسط مرز فرسایشی پرموتریاس مشخص می‌شود که آن را از سازند دالان جدا می‌سازد. سیستم تراکت پیشرونده در بخش پایینی خود توسط غلبه رخساره ترومبولیتی (Mf4) مشخص می‌شود. رخساره ترومبولیتی با مشخصه مخزنی پایین حاکی از بالا آمدن سطح آب دریا و غلبه فعالیت‌های میکروبی پس از انقراض گروهی انتهای پرمین است. این سیستم تراکت در بخش بالایی خود به تدریج به رخساره‌های لاگون و شول کربناته با فراوانی ذرات اسکلتی، آنکوئید و ائید (Mf7، Mf8 و Mf10) با بافت پکستون و گرینستون و تخلخل بالا تبدیل می‌شود (شکل ۲). سطح بیشینه آب دریا (Mfs) در این سکانس بر رخساره ائید گرینستون (Mf10) با مشخصه بالای مخزنی منطبق است. در ادامه در سیستم تراکت تراز بالا پیشروی رخساره‌ها و حضور و غلبه رخساره‌های لاگون (Mf5 و Mf6) و پرتایدال و قسمت رو به خشکی شول کربناته (Mf7 و Mf8) با بافت مادستون و وکستون و تخلخل پایین مشاهده می‌شود. مرز بالایی این سکانس توسط پسروری آب دریا و نهشت توالی ضحیمی (۳ متر) از رسوبات سوپراتایدال (رخساره انیدریتی) با تخلخل و تراوایی بسیار پایین مشخص می‌شود.

## ۶-۲. سکانس رسوبی دوم

این سکانس نیز با ۷۷ متر ضخامت بخش بالایی توالی کربناته-تبخیری سازند کنگان را تشکیل می‌دهد. مرز زیرین این سکانس با سکانس رسوبی اول به صورت یک پیوستگی معادل است. بر روی این مرز سیستم تراکت پیشرونده قرار می‌گیرد که در قاعده توسط غلبه رخساره‌های سوپراتایدال (Mf1)، پرتایدال (Mf2 و Mf3) و لاگون



شکل ۸- درصد پراکندگی گونه‌های سنگی در زون‌های مخزنی سازند کنگان.

### ۸- نتیجه‌گیری

مادستونی (Mf2) چنین نقشی نداشته و در بخش‌های دولومیتی شده بسته به میزان دولومیتی شدن و اندازه بلورهای دولومیت دارای تخلخل و تراوایی متوسط است. این شرایط در مورد رخساره‌های استروماتولیتی (Mf3)، تروبولیتی (Mf4)، مادستون فسیل‌دار (Mf5) و وکستون و پکستون بایوکلیست‌دار پلوییدی/آنکوییدی (Mf6) و (Mf7) نیز برقرار می‌باشد. در این رخساره‌ها دولومیتی شدن و انحلال و گاهی شکستگی موجب افزایش قابل توجه تخلخل و تراوایی شده است. اما نمونه‌های آهکی گل غالب و متراکم شده حداقل تخلخل و تراوایی را نشان می‌دهند. در مورد رخساره‌های پکستونی دانه افزون و گریستونی محیط شول کربناته (Mf8، Mf9 و Mf10) و مجاور آن نیز این شرایط برقرار است با این تفاوت که در این رخساره‌ها افزایش چشمگیر خواص مخزنی در اثر انحلال دیده می‌شود. در طول توالی سازند کنگان رخساره‌های گریستونی متعلق به محیط شول کربناته که مشخص کننده سطح بیشینه پیشروی آب دریا هستند، دارای بهترین کیفیت مخزنی می‌باشند. در بخش بالایی سیستم تراکت پیشرونده و ابتدای سیستم تراکت تراز بالای آب دریا مربوط به دو سکانس رسوبی شناسایی شده نیز که رخساره‌های آئیدی و بایوکلیستی با بافت گریستونی (Mf8، Mf9 و Mf10) غالب هستند، بخش‌های با کیفیت مطلوب مخزنی وجود دارد.

رخساره و دیاژنز نقش کلیدی در مشخصات مخزنی سازند کنگان ایفا نموده‌اند. چنان که تغییرات رخساره و تأثیر فرایندهای مختلف دیاژنتیکی بر روی آنها منجر به تعیین و تقسیم‌بندی زون‌های مخزنی و نیز گونه‌های سنگی مختلف شده است. علاوه بر دیاژنز از نظر محیط نهشتی انطباق محیطی نسبتاً خوبی بین گونه‌های سنگی و کیفیت مخزنی برقرار است؛ چنان که خواص مخزنی بهتر با رخساره‌های گریستونی شول کربناته با آبهای کم عمق و انرژی بالا و کیفیت پایین تر با رخساره‌های مربوط به محیط‌های با انرژی پایین نظیر لاگون محدود و پهنه جزرومدی مشخص می‌شود. شایان ذکر است که رخساره‌های محیطی الزاماً تعیین کننده خواص مخزنی در گونه‌های سنگی نیستند و توجه به داده‌های تخلخل و تراوایی مؤید تأثیر دیاژنز به عنوان یک عامل تعیین کننده در کنترل کیفیت مخزنی است؛ به طوری که فرایندهای دیاژنتی تأثیرگذار بر مخزن سازند کنگان باعث شده‌اند که رخساره‌های شناسایی شده جدا از ماهیت خود هر نوع تخلخل و تراوایی را نشان دهند؛ به طوری که توجه به نمودار تخلخل-تراوایی و تخلخل-دانشیه ارتباط بین رخساره، دیاژنز و داده‌های مخزنی را به خوبی مشخص می‌کند. در سازند کنگان با دوازده رخساره شناسایی شده که در پهنه جزرومدی لاگون و شول کربناته نهشته شده‌اند، رخساره انیدریتی (Mf1) به صورت یک سد عمل کرده و مانع جریان سیالات شده است. رخساره

### References

- Ahr, W. M., 2008- Geology of carbonate reservoirs: the identification, description and characterization of hydrocarbon reservoirs in carbonate rocks. John Wiley & Sons, p, 296. (<https://doi.org/10.1002/9780470370650>)
- Alsharhan, A. S. and Kendall, C. S. C., 2003- Holocene coastal carbonates and evaporites of the southern Arabian Gulf and their ancient analogues. Earth-Science Reviews, 61(3-4), pp.191-243. ([https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(02\)00110-1](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(02)00110-1))
- Alsharhan, A. S. and Nairn, A. E. M., 1997- Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East. Elsevier, Amsterdam, 843 p.
- Amao, A. O., Kaminski, M. A. and Setoyama, E., 2016- Diversity of Foraminifera in a shallow restricted lagoon in Bahrain. Micropalaeontology, 62, pp.197-211. (<http://www.micropress.org/microaccess/check/1989>)
- Amel, H., Jafarian, A., Husinec, A., Koeshidayatullah, A. and Swennen, R., 2015- Microfacies, depositional environment and diagenetic evolution controls on the reservoir quality of the Permian Upper Dalan Formation, Kish Gas Field, Zagros Basin. Marine and Petroleum Geology, 67, pp.57-71. (<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2015.04.012>)

- Angiolini, L., Balini, M., Garzanti, E., Nicora, A., Tintori, A., Crasquin S. and Muttoni, G., 2003- Permian climatic and paleogeographic changes in Northern Gondwana: the Khuff Formation of Interior Oman. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 191 (3-4), 269-300.
- Bosence, D., 2005- A genetic classification of carbonate platforms based on their basinal and tectonic settings in the Cenozoic. *Sedimentary Geology*, 175(1-4), pp.49-72. (<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.12.030>)
- Boudaughier-Fadel, M. K., 2018- Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera. UCL Press, Second Edition. (<https://doi.org/10.14324/111.9781911576938>)
- Burchette, T. P. and Wright, V. P., 1992- Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79(1-4), pp.3-57. ([https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90003-A](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90003-A))
- Catuneanu, O. and Zecchin, M., 2013- High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves II: controls on sequence development. *Marine and Petroleum Geology*, 39(1), pp.26-38. (<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.08.010>)
- Catuneanu, O., 2017- Sequence stratigraphy: Guidelines for a standard methodology. In *Stratigraphy and Timescales* (Vol. 2, pp. 1-57). Academic Press. (<https://doi.org/10.1016/bs.sats.2017.07.003>)
- Demico, R. V. and Hardie, L. A., 1994- Sedimentary Structures and Early Diagenetic Features of Shallow Marine Carbonate Deposits. SEPM Atlas Series, SEPM, Tulsa.
- Dickson, J. A. D., 1966- Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimentary Research* 36, no. 2: 491-505. (<https://doi.org/10.1306/74D714F6-2B21-11D7-8648000102C1865D>)
- Dunham, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1, 108-121.
- Esfarili-Dizaji, B., Harchegani, F. K., Rahimpour-Bonab, H. and Kamali, M. R., 2013- 10 Controls on Reservoir Quality in the Early Triassic Kangan Formation, Iran.
- Flügel, E., 2010- *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Springer Science & Business Media. (<https://doi.org/10.1007/978-3-642-03796-2>)
- Hips, K. and Haas, J., 2006- Calcimicrobial stromatolites at the Permian–Triassic boundary in a western Tethyan section, Bükk Mountains, Hungary. *Sedimentary Geology*, 185(3-4), pp.239- 253. (<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.12.016>)
- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M. and Monibi, S., 2006- Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture. *GEOARABIA-MANAMA-*, 11(2), p.75.
- Koehrer, B. S., Heymann, C., Prousa, F. and Aigner, T., 2010- Multiple-scale facies and reservoir quality variations within a dolomite body–outcrop analog study from the Middle Triassic, SW German Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 27(2), pp.386-411. (<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.09.009>)
- Lokier, S. W., Bateman, M. D., Larkin, N. R., Rye, P. and Stewart, J. R., 2015- Late Quaternary sea-level changes of the Persian Gulf. *Quaternary Research*, 84(1), pp.69-81.
- Lucia, F. J., 2007- Carbonate reservoir characterization: An integrated approach. Springer Science & Business Media, p. 366. (<https://doi.org/10.1007/978-3-540-72742-2>)
- Mehrabi, H., Mansouri, M., Rahimpour-Bonab, H., Tavakoli, V. and Hassanzadeh, M., 2016- Chemical compaction features as potential barriers in the Permian-Triassic reservoirs of Southern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 145, pp.95-113. (<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2016.03.020>)
- Peyravi, M., Kamali, M. R. and Kalani, M., 2010- Depositional environments and sequence stratigraphy of the Early Triassic Kangan Formation in the northern part of the Persian Gulf: implications for reservoir characteristics. *Journal of Petroleum Geology*, 33(4), pp.371-386. ([doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00485.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00485.x))
- Pomar, L., 2001- Types of carbonate platforms: a genetic approach. *Basin Research*, 13(3), p.313-334. (<https://doi.org/10.1046/j.0950-091x.2001.00152.x>)
- Preto, N., Breda, A., Dal Corso, J., Spötl, C., Zorzi, F. and Frisia, S., 2015- Primary dolomite in the Late Triassic Travenanzes Formation, Dolomites, Northern Italy: facies control and possible bacterial influence. *Sedimentology*, 62(3), pp.697-716. (<https://doi.org/10.1111/sed.12157>)
- Purser, B. H. and Evans, G., 1973- Regional sedimentation along the Trucial coast, SE Persian Gulf. In *The Persian Gulf* (pp. 211-231). Springer, Berlin, Heidelberg. ([https://doi.org/10.1007/978-3-642-65545-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-65545-6_13))

- Rahimpour-Bonab, H., Asadi-Eskandar, A. and Sonei, R., 2009- Effects of the Permian–Triassic boundary on reservoir characteristics of the South Pars gas field, Persian Gulf. Geological journal, 44(3), pp.341-364. (<https://doi.org/10.1002/gj.1148>)
- Shinn, E. A., 1983- Tidal flat environment. In Carbonate depositional environments, (eds P.A. Scholle, D.G. Bebout and C.H. Moore). AAPG Memoir, 33, 171-210.
- Tucker, M. E. and Wright, V. P., 1990- Carbonat Sedimentology, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 496. (<https://doi.org/10.1002/9781444314175>)
- Warren, J. K., 2006- Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons. Springer, Brunei.

# Sedimentary environment, sequence stratigraphy and reservoir characterization of the Kangan Formation in South of Pars Gas Field, Iran

U. Kakemem<sup>1\*</sup>, M. H. Adabi<sup>2</sup> and E. Dehyadegari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Professor, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2018 October 17

Accepted: 2019 March 02

## Abstract

Depositional texture, sedimentary structure and present fauna led to identify twelve carbonate- evaporate facies in the Early Triassic Kangan Formation, South Pars gas field. These facies were classified in three facies belts including tidal flat, lagoon and carbonate shoal. Development of tidal zones together with evaporate deposits, stromatolite, and thrombolite facies (signs to identify a shallow depositional environment), the absence of continuous reef-frame building organisms, high production of carbonate mud, absents of calciturbidite. Deposits and slump structures are evidences for a homoclinal carbonate ramp setting. The facies based on petrophysical characteristics which is the results of depositional texture and diagenesis are classified in seven reservoir rock types. In which, the first rock type (RT1) has weak reservoir property and toward RT7 reservoir quality will increase. Facies variation related to sea level fluctuations led to subdivide the whole strata into two 3rd order sequences. Facies stacking patterns in the sequences characterized by subtidal facies (lagoon and shoal) tend to have the most reservoir quality that covered by evaporative (Mf1) and peritidal facies (Mf2 to Mf4) with low-reservoir quality. The most reservoir quality in both K1 and K2 reservoir zones is coincident with late TST, maximum flooding surface (mfs) and late HST in identified depositional sequences which is settled in high-energy shoal facies intervals.

**Keywords:** Sedimentary environment, Reservoir rock types, Sequence Stratigraphy, Reservoir Quality, Kangan Formation, South Pars Gas  
For Persian Version see pages 75 to 86

\*Corresponding author: U. Kakemem; E-mail: u.kakemem@gmail.com