

تأثیر دیاژنز بر کیفیت مخزنی سازند کنگان در میدان لاوان، خلیج فارس

سجاد پورامینی بزنجانی

کارشناسی ارشد، شرکت ملی نفت، تهران

محمد حسین آدابی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۸

s.pooramini@gmail.com

چکیده

سازند کنگان با سن تریاس بزرگترین ذخایر گازی در خاور میانه و جهان را دارا می باشد. این سازند در میدان لاوان شامل ۲۰۰ متر توالی کربناته (سنگ آهک، آهک دولومیتی و دولومیت) به همراه لایه های انیدریتی می باشد که از ۱۶۴ متر آن مغزه گیری شده است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی تعداد ۱۱ رخساره در قالب ۴ کمربند رخساره ای پهنه جزر و مدی، لاگون، پشته های ماسه ای و دریای باز شناسایی شده است. بر اساس میکروفاسیس های شناسایی شده محیط رسوب گذاری این سازند را می توان رمپ کربناته هم شیب معرفی کرد. فرآیندهای دیاژنزی شناخته شده در سازند کنگان که بر روی کیفیت مخزنی موثر می باشند عبارتند از: تراکم مکانیکی و شیمیایی، انحلال، دولومیتی شدن، سیمان فیبری هم ضخامت، سیمان هم بعد، سیمان دروزی، سیمان بلوکی، سیمان پرکننده رگه ها، سیمان پوئیکیلوتوپیک، سیمان انیدریتی و شکستگی، که از این بین می توان فرآیندهای تراکم و انواع مختلف سیمان ها را به عنوان عوامل کاهش کیفیت مخزنی و فرآیندهای انحلال، دولومیتی شدن و شکستگی را به عنوان عوامل افزایش دهنده کیفیت مخزنی نام برد. تخلخل های مشاهده شده در سازند کنگان عبارتند از تخلخل های بین دانه ای، درون دانه ای، قالبی، فنسترال، بین بلوری، حاصل از شکستگی، حفره ای و کانالی. سازند کنگان در میدان لاوان به دو زون مخزنی K1 و K2 تقسیم بندی شده است. زون مخزنی K2 دارای سه زیر زون مخزنی K2a، K2b و K2c و زون مخزنی K1 به چهار زیر زون مخزنی K1a، K1b، K1c و K1d تقسیم شده است که زیر زون مخزنی K1d به دلیل گسترش رخساره های دانه پشتیبان دولومیتی (به خصوص ائید گرینستون) و داشتن مقادیر قابل توجهی از تخلخل های قالبی، بین ذره ای، بین بلوری و شکستگی بالاترین کیفیت مخزنی در این توالی را دارد.

کلمات کلیدی: دیاژنز، کیفیت مخزنی، سازند کنگان، میدان لاوان، خلیج فارس.

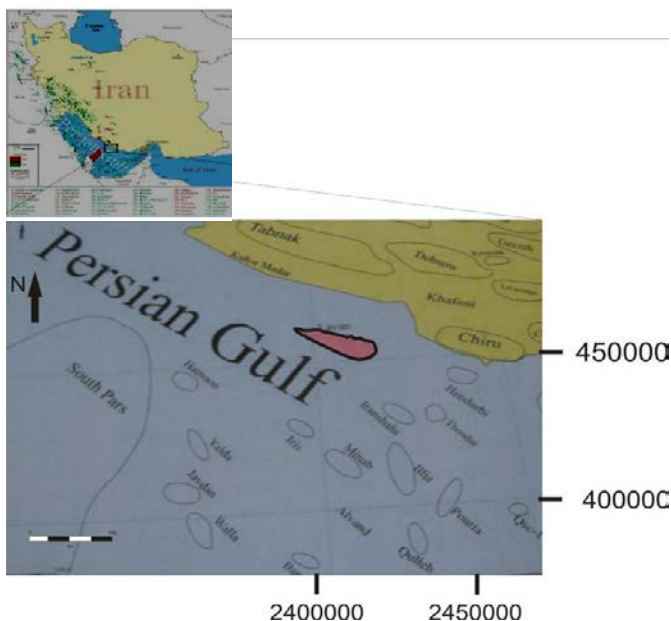
مقدمه

باشد. این جزیره از شمال شرقی به بندر مقام، از شرق به جزیره شیور و از جنوب به حوضه های نفتی رسالت، رشادت و سلمان محدود می شود.

سازند کنگان، به سن تریاس بزرگترین ذخایر گازی در خاور میانه و جهان را دارا می باشد (Aali et al., 2006; Insalaco et al., 2006). از این رو شناخت بهتر ویژگی های مخزنی سازند مذکور و ارائه تصویر مناسبی از محیط رسوبی و فرآیندهای دیاژنتیکی آن دارای اهمیت بسیار می باشد. میدان لاوان که در آبهای خلیج فارس واقع است به عنوان بخشی از بزرگترین میدان گازی جهان می باشد که مخازن کربناته سازند کنگان به عنوان سنگ مخزن این میدان از توالی های کربناته - تبخیری تشکیل شده است که فرآیندهای مختلف دیاژنزی در طول زمان بر کیفیت مخزنی آن تأثیر گذاشته است (Zeigler 2001; Rahimpour – Bonab et al., 2010). هدف از این مطالعه شناخت رخساره ها و محیط رسوبی، فرآیندهای دیاژنزی و تأثیر آنها بر روی کیفیت مخزنی سازند کنگان می باشد. با توجه به اینکه دیاژنز باعث افزایش یا کاهش کیفیت مخزنی در مخازن هیدروکربوری می شود، در این مطالعه سعی شده است که اثر دیاژنز در کیفیت مخزنی واحدهای مخزنی سازند کنگان بررسی شود.

موقعیت جغرافیایی و روش مطالعه

لاوان جزیره ای است مرجانی، مربوط به دوره چهارم زمین شناسی و در فاصله حدود ۱۶ کیلومتری سواحل ایران (مقابل بندر مقام) قرار گرفته است (شکل ۱). این جزیره با مختصات جغرافیایی $3^{\circ} 00' 00''$ طول جغرافیایی $50^{\circ} 50' 00''$ عرض جغرافیایی پس از قشم و کیش بزرگترین جزیره ایران در آبهای خلیج فارس و دورترین جزیره نسبت به مرکز استان هرمزگان می



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی جزیره لاوان در خلیج فارس (بجایی و حناچی، ۱۳۸۶).

در نظر گرفت (Warren, 2006; Flugel, 2010). این رخساره معادل RMF 23 فلوگل است.

مادستون با بلورها و قالب‌های پراکنده تبخیری (F3)

این رخساره فاقد فسیل و ساخت رسوبی بوده و بلورهای بی شکل و گاهی شکل‌دار تبخیری و رومبوئدرهای دولومیت به صورت پراکنده در زمینه دولومیت میکروکریستال شناورند (شکل ۳- C). در این رخساره غالباً شکستگی و استیلولیت، زمینه و بلورها را قطع می‌کند. وجود بلورهای اتوژن و پراکنده تبخیری‌ها در ماتریکس کلسیتی یا دولومیتی میکروکریستالین نشان دهنده رسوب‌گذاری این رخساره در محیطی با درجه شوری بالا در اقلیم گرم و خشک بخش بالایی رخساره بین جزر و مدی تا بالای جزر و مدی (سبخا) می‌باشد (Adabi, 2009; Flugel, 2010). از طرفی وجود ماتریکس مادستونی در این رخساره بیانگر نهشت در محیطی با انرژی پائین است. گرهک‌های پراکنده تبخیری در مادستون‌ها عمدتاً مربوط به محیط‌های بالای جزر و مدی (سبخا) می‌باشد (Warren, 2006). با توجه به تفاسیر فوق محیط رسوبی این رخساره را می‌توان بخش‌های زیرین بالای جزر و مدی تا قسمت فوقانی بین جزر و مدی و استخرهای هایپرسالین دانست. این رخساره معادل RMF 25 فلوگل می‌باشد.

انیدریت متبلور (F4)

در نمونه‌های مغزه، این رخساره یک انیدریت بلورین با رنگ سفید شیری و فاقد هرگونه فسیل و آثار فسیلی، تخلخل، در برخی موارد با شکستگی و حالت برشی همراه بوده و به ندرت دارای استیلولیت است. در این رخساره، آرایش بلورها به صورت منظم و جهت یافته با آرایش موازی و نیمه موازی است و گاهی به صورت انیدریت لایه ای دیده می‌شود (شکل ۳- D). لایه‌های انیدریت معمولاً به عنوان یک سد (پوش سنگ) برای مخازن عمل می‌کنند (Lucia, 1999). این رخساره در واحد مخزنی K1 از ضخامت بیشتری برخوردار است. رخساره انیدریت متبلور در قسمت بالای پهنه جزر و مدی نهشته شده است (Tavakoli et al., 2011). این رخساره مربوط به زیر محیط سبخی بالای جزر و مدی بوده و معادل RMF25 فلوگل می‌باشد.

مادستون آرزلیتی (F5)

این رخساره توده‌ای و سخت و فاقد ساخت مشخص و هرگونه تخلخل است (شکل ۳- E). این رخساره در بخش بالایی سازند کنگان (قسمت بالایی بخش مخزنی K1) قرار دارد و با میکروفاسیس‌های رخساره لاگون همراهی دارد. این رخساره در زیر محیط بین جزر و مدی تا لاگون‌های هایپر سالین نهشته شده است.

رخساره کمر بند لاگون

مادستون / وکستون دولومیتی دارای آشفستگی زیستی (F6)

از نظر لیتولوژی یک سنگ آهک با رنگ عمومی تیره است. این رخساره دارای آلوم‌هایی نظیر استراکود و پلوتید با فراوانی حدود ۱۵ درصد می‌باشد (شکل ۳- F). ذرات ناچیز اسکلتی و همراهی با میکرایت و وجود پلوتید حاکی از این است که این رخساره در یک محیط رمپ کم عمق و زیر سطح اساس امواج رسوب کرده است. آشفستگی زیستی به خوبی در محیط‌های لاگونی گسترش می‌یابد و رخساره‌های غنی از گل در شرایط کم انرژی و زیر سطح FWWB نهشته می‌شوند (Flugel, 2010). وجود رخساره مادستونی به همراه آشفستگی زیستی رسوبگذاری در شرایط با انرژی پایین را نشان می‌دهد

به منظور شناسایی اجزاء سازنده سازند کنگان و فراوانی این اجزاء برای تشخیص میکروفاسیس‌ها و محیط رسوبی و همچنین بررسی فرآیندهای دیاژنزی تعداد ۸۱۰ مقطع نازک انتخاب و مطالعه گردید. به منظور تشخیص کلسیت از دولومیت از روش (Dickson, 1965) استفاده گردید. به منظور نام‌گذاری رخساره‌ها و سنگ‌های آهکی از طبقه بندی سنگ‌های کربناته (Dunham, 1962)، و در توصیف میکروفاسیس‌ها از تقسیم بندی (Flugel, 2010) استفاده گردید. به منظور نام‌گذاری دولومیت‌ها از مقاله (Adabi, 2009) استفاده شده است. از نرم افزار تحلیل گر تصاویر برای محاسبه درصد انواع تخلخل در تمام زیر زون‌ها استفاده شده است.

رخساره‌ها و محیط رسوبی

در میدان لاوان، سازند کنگان شامل ۲۰۰ متر توالی کربناته (سنگ آهک، آهک دولومیتی و دولومیت) به همراه لایه‌های انیدریتی می‌باشد که از ۱۶۴ متر آن مغزه گیری شده است. در بخش‌های ابتدایی (بخش پایینی واحد مخزنی K2) دارای ۴۲/۶ متر لیتولوژی آهکی و آهک دولومیتی است. در ادامه و در بخش‌های بالاتر (بخش بالایی واحد مخزنی K2 و بخش‌های پایینی واحد مخزنی K1) لیتولوژی این سازند عمدتاً دولومیتی است و دارای ضخامت ۴۶/۵ متر می‌باشد. ادامه توالی سازند کنگان که ضخامتی معادل ۷۵ متر را در بر می‌گیرد عمدتاً دارای لیتولوژی آهکی است (شکل ۲).

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی تعداد ۱۱ رخساره رسوبی در سازند کنگان شناسایی گردید:

رخساره کمر بند پهنه جزر و مدی

فنسترال دولومادستون (F1)

این رخساره که در بخش فوقانی پهنه‌های کشندی واقع شده است. وجود مادستون دولومیتی با ساختار فنسترال، فقدان فسیل و ماتریکس گلی نشان می‌دهد این رخساره در شرایط انرژی کم، در نزدیکی سطح و در زیر محیط بالای جزرومدی نهشته شده است (Adabi and Asadi, 2008; Adabi et al., 2010). آلوم‌های این رخساره پلوتید و ندرتاً خرده‌های اسکلتی به ویژه دو کفه‌ای‌هاست (شکل ۳- A). افزایش دولومیتی شدن و رشد بلورهای دولومیت در مرحله دیاژنزی تدفینی (تخلخل بین بلوری) و در مواردی وجود تخلخل فنسترال باعث ایجاد کیفیت مخزنی متوسط در این رخساره شده ولی به طور کل از کیفیت مخزنی پایینی برخوردار است. فرآیند دیاژنتیکی رایج در این رخساره دولومیتی شدن و انیدریتی شدن است. این رخساره نشان دهنده خروج رسوبات از آب می‌باشد. این رخساره در واحد مخزنی K1 گسترش بیشتری دارد.

باندستون استروماتولیتی با فابریک موجی تا لامینه‌ای (F2)

این رخساره میکروبیالی از لحاظ لیتولوژی یک آهک دولومیتی شده در پهنه جزر و مدی محسوب می‌شود. رخساره استروماتولیتی با لامیناسیون‌های نواری و موجی همراه با فیلامنت‌های جلبکی در این رخساره می‌باشد. این رخساره در قسمت‌های میانی پهنه جزر و مدی واقع شده است. فابریک فنسترال با اشکال نامنظم تا لامینه ای، قالب‌های تبخیری و در برخی موارد آلوم‌هایی از قبیل پلوتید و خرده‌های اسکلتی کوچک در این رخساره مشاهده می‌شود (شکل ۳- B). این رخساره در سازند کنگان ابتدای واحد مخزنی K2 قرار دارد. با توجه به همراهی این رخساره با رخساره محیط‌های بالای جزر و مدی، وجود حفرات فنسترال، استراکود، دوکفه‌ای و گاستروپود به طور محدود محیط تشکیل استروماتولیت‌ها و ترومبولیت‌ها را می‌توان زون بین جزر و مدی

رخساره کمربند دریای باز

بکستون همراه با اینتراکست‌های میکرایتی و براکیوپود (F10)

لیتولوژی این رخساره‌ها دولومیت و دولومیت آهکی متوسط لایه با رنگ خاکستری تیره می‌باشد. در این رخساره در صد آلومک‌ها حدود ۳۰ درصد می‌باشد و آلومک‌ها بویژه پوسته براکیوپود کمتر تحت تأثیر دولومیتی شدن قرار گرفته‌اند و همچنین اینتراکست‌های میکرایتی می‌باشند (شکل ۴- E). فراوانی براکیوپودها و دوکفه‌ای‌ها مقدار شوری و اکسیژن نرمال را در منطقه رمپ میانی (بین FWWB و SWB) نشان می‌دهد (Brigaud et al., 2009). تخلخل‌های موجود در این رخساره شامل تخلخل‌های بین دانه‌ای و بین بلوری می‌باشد. به علت وجود میکرایت و درصد کم تخلخل، این رخساره دارای کیفیت مخزنی پایینی می‌باشد. این رخساره معادل RMF9 فلوگل می‌باشد.

وکستون همراه با سوزن اسفنج (F11)

نمونه‌های مغزه سنگ آهک، در این رخساره دارای رنگ عمومی تیره می‌باشند. این رخساره مادستون تا وکستون همراه با سوزن اسفنج است. فراوانی سوزن اسفنج در این رخساره در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد می‌باشد (شکل ۴- F). این رخساره در یک پلاتنفرم کربناته دریای باز نهشته شده است. این رخساره به دلیل فقدان هر گونه تخلخل موثر، فاقد مشخصه مخزنی قابل توجهی می‌باشد. تخلخل بین بلوری تخلخل اصلی است که در طی دولومیتی شدن افزایش یافته است. این رخساره بیانگر رسوب‌گذاری در مناطق عمیق دریا بوده و معادل RMF5 و SMF3 فلوگل می‌باشد.

محیط رسوبی

بر اساس رخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده محیط رسوب-گذاری سازند کنگان را می‌توان رمپ کربناته هم شیب معرفی کرد (شکل ۵). بر اساس مطالعات قبلی، رمپ‌های کربناته اغلب در زون‌های فاقد موجودات ریف ساز گسترش یافته‌اند. دلایل معرفی رمپ کربناته در زیر ارائه می‌شود: تولید بالای ائید از ویژگی‌های اصلی رمپ‌های کربناته تحت تأثیر شرایط پارانرژی است. وجود رخساره‌های ائید/بایوکست گرینستون نزدیک ساحل، موقعیت رمپ داخلی را پیشنهاد می‌کند (Asadi et al., 2013)، زیرا این رخساره‌ها در رمپ میانی و بیرونی نادرانند (Tucker et al., 1993; Flugel, 2010).

تغییرات بسیار تدریجی رخساره‌های کم عمق به انواع عمیق انعکاسی از پیوستگی و ارتباط رخساره‌ای به هم و مورفولوژی حوضه در حین رسوب‌گذاری است که با رمپ‌ها همخوانی بیشتری دارد. بازسازی گسترش جانبی حوضه گذر رسوبات پهنه جزر و مدی از یک محیط کم عمق جزر و مدی و رسیدن به یک سد پر انرژی و سپس رخساره‌های عمیق‌تر را نشان می‌دهد که برای سیستم‌های رمپ توصیف شده است (Ahmad et al., 2006; Martini et al., 2007). تنوع کم رخساره‌ای (انیدریت، دولومادستون دارای گرگک‌های تبخیری)، فراوانی بالای رخساره‌های کم عمق به ویژه گسترش زیاد سبغا، عدم وجود ذرات آواری مشخصه سیستم‌های رمپ هم‌شیب و در یک اقلیم خشک و نیمه خشک است (Flugel, 2010).

(Koehrer et al., 2010). تخلخل بیشتر در قالب تخلخل‌های بین بلوری و شکستگی در این رخساره مشاهده می‌شود. این رخساره در مجموع فاقد کیفیت مخزنی است. این رخساره با RMF 19 فلوگل قابل مقایسه است.

رخساره کمربند پشته‌های ماسه‌ای (Shoal)

پلوئید ائید گرینستون (F7)

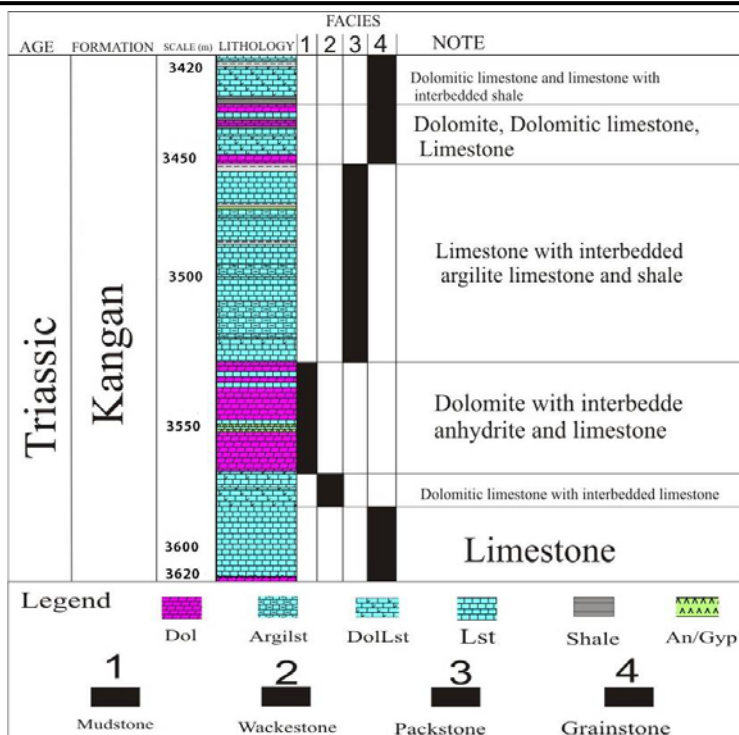
لیتولوژی این رخساره عمدتاً دولومیتی است. آلومک‌های اصلی در این رخساره عبارتند از ائید و پلوئید. اکثر ائیدها حالت متحدالمرکز دارند و بعضی از آنها میکرایتی شده‌اند. مهمترین تخلخل‌های مشاهده شده در این رخساره شامل تخلخل بین بلوری، قالبی و حفره‌ای بوده که نقش مهمی در افزایش کیفیت مخزنی دارند (شکل ۴- A). وجود بافت گرینستونی، ائیدهای متحدالمرکز و جورشدگی در این فاسیس‌ها نشان دهنده بالا بودن انرژی است (Adabi et al., 2010). بیشترین فراوانی این رخساره در واحد مخزنی K2 می‌باشد. این رخساره در سمت رو به لاگون پشته‌های ماسه‌ای (leeward shoal) قرار دارد و معادل RMF30 فلوگل می‌باشد.

ائید گرینستون (F8)

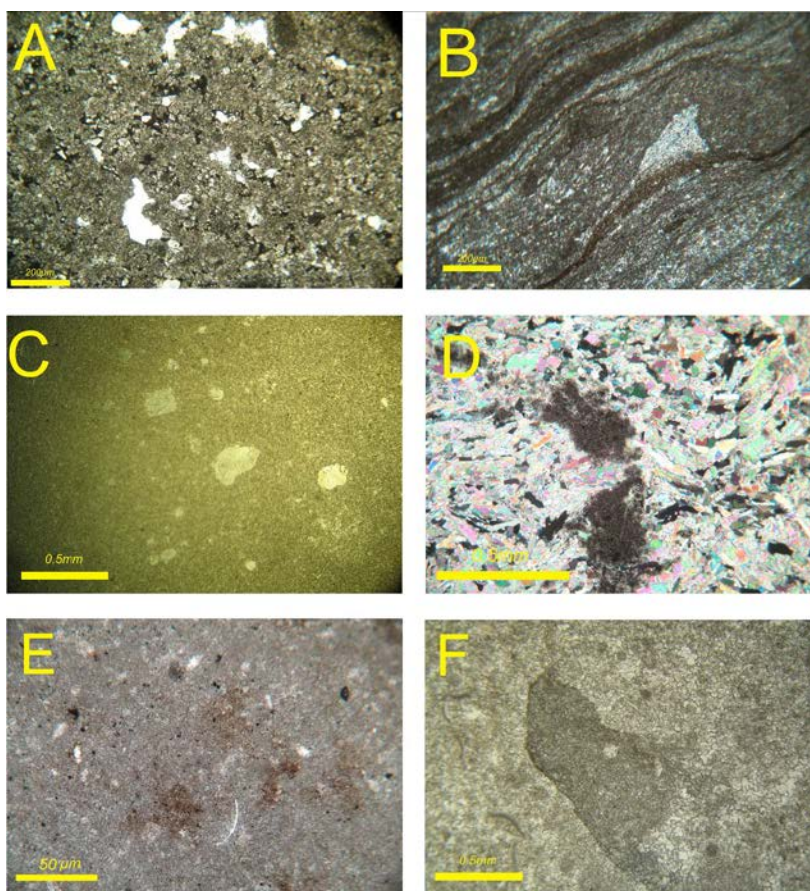
لیتولوژی آهکی، دولومیتی و یا دولومیتی آهکی دارد. آلومک اصلی این رخساره ائیدهای آهکی، دولومیتی شده و یا میکرایتی شده می‌باشند که حدود ۷۰ درصد از مقاطع را تشکیل می‌دهند و اکثراً خوب گرد شده‌اند (شکل ۴- B و C). گردشدگی و جورشدگی در این رخساره بالا بوده و به لحاظ کیفیت مخزنی یکی از رخساره‌های اصلی به ویژه در واحد مخزنی K2 می‌باشند. فراوانی بالای ائیدها و عدم وجود گل و جورشدگی خوب در این رخساره نشان دهنده شرایط بالای انرژی و نهشت در بالاتر از سطح FWWB است (Insalaco et al., 2006; Flugel, 2010). مهمترین ویژگی این رخساره تخلخل بالا (بیشتر از ۲۰ درصد) است که به صورت بین بلوری و قالبی (قالیهای ائید) می‌باشد و در یک محیط با انرژی متوسط تا بالا نهشته شده است (Slowakiewicz and Mikołajewski, 2011). بیشترین فراوانی این رخساره در واحد مخزنی K2 می‌باشد و معادل با RMF 29 فلوگل است. محیط نهشت این رخساره قسمت مرکزی پشته‌های ماسه‌ای (Central Shoal) است. مشابه این رخساره در سازندهای دالان و کنگان در کوه سورمه نیز مشاهده شده است (پورامینی بزنجانی و همکاران، ۱۳۹۱).

گرینستون اینتراکست‌دار دارای آنکوئید و اجزاء اسکلتی (F9)

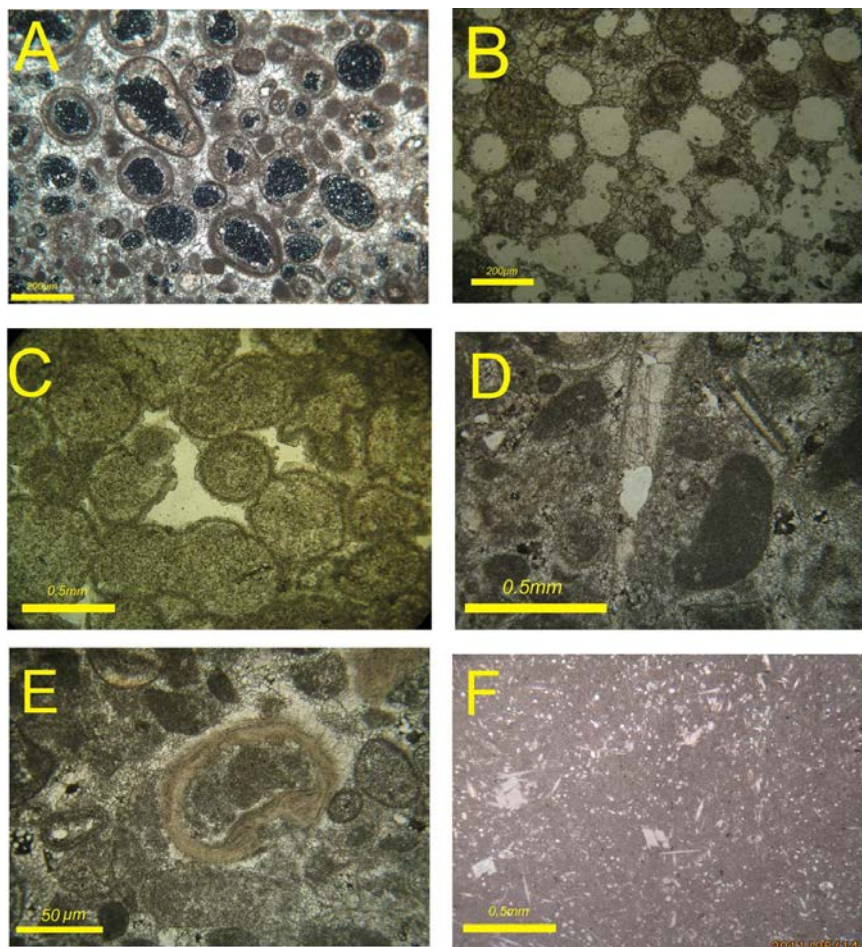
این رخساره یک گرینستون اینتراکستی همراه با قطعات اسکلتی و آنکوئیدی است. سایر آلومک‌ها در این رخساره ائید، پلوئید، بایوکست‌هایی نظیر دوکفه‌ای‌ها می‌باشد. سیمان دریایی هم ضخامت (Isopachous Fibrous) به خوبی در این رخساره توسعه یافته است. این رخساره در سازند کنگان گسترش خوبی دارد و در واحد مخزنی K2 پس از افق ترومبولیتی گسترش می‌یابد (شکل ۴- D). با توجه به ارتباط مستقیم اندازه دانه و انرژی محیط می‌توان نتیجه گرفت این رخساره در یک محیط پارانرژی تشکیل شده است (Reading, 1996). عدم وجود گل و توسعه سیمانی شدن به خوبی نشان می‌دهد که این رخساره در بخش‌های حاشیه پر انرژی سد (Seaward Shoal) نهشت یافته است. به علت وجود بیوکست و نبود میکرایت این رخساره در یک محیط پر انرژی نهشته شده است (Rasser et al., 2005). تخلخل‌های موجود در این رخساره اغلب از نوع تخلخل‌های بین دانه‌ای و قالبی است. این رخساره معادل RMF 27 فلوگل می‌باشد.



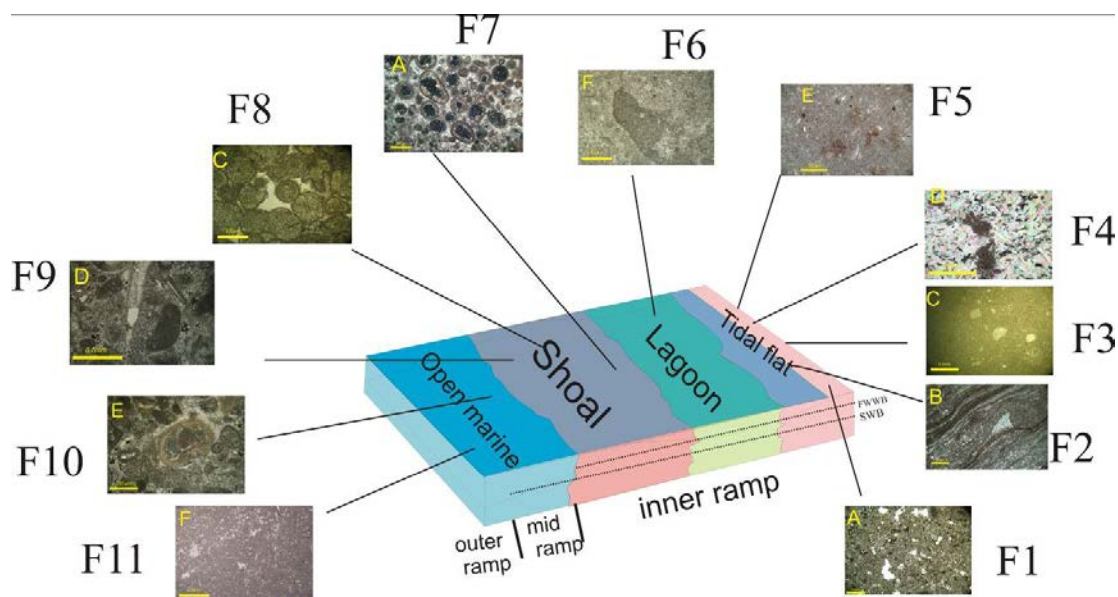
شکل ۲. ستون چینه شناسی سازند کنگان در میدان لاون.



شکل ۳. A: رخساره فنسترال دولومادستون (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط جزر و مدی، PPL). B: رخساره باندستون استرومانولیتی (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط جزر و مدی، XPL). C: رخساره مادستون با بلورها و قالبهای پراکنده تبخیری. این قالبها و رومبوندتهای دولومیتی در مرکز تصویر دیده می شوند (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط جزر و مدی، PPL). D: رخساره انیدریت متبلور که در آن گاهی تیکه هایی از میکرایت دیده می شود (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط جزر و مدی، XPL). E: رخساره مادستون آرژیلیتی (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط جزر و مدی، PPL). F: رخساره مادستون لوکستون دارای آشفستگی زیستی که دولومیتی شده است (محیط لاگون، PPL).



شکل ۴. A: رخساره پلوئید ائید گرینستون. در این رخساره ائیدها در معرض انحلال قرار گرفته اند اما پلوئیدها انحلال پیدا نکرده اند (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط پشته های ماسه ای، XPL). B و C: رخساره ائید گرینستون. ائیدها گاهی به علت مینرالوژی آراگونیتی انحلال یافته اند و تشکیل تخلخل قالبی داده اند و گاهی در معرض دولومیتی شدن و تراکم قرار گرفته اند (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط پشته های ماسه ای، PPL). D: رخساره گرینستون اینتراکست دار دارای آنکوئید و اجزا اسکلتی (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط پشته های ماسه ای، PPL). E: رخساره پکستون همراه با اینترا کست های میکرایتی و براکیپود (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط دریای باز، PPL). F: رخساره وکستون همراه با سوزن اسفنج. این رخساره بیانگر قسمتهای عمیق حوضه رسوبگذاری می باشد (مقطع رنگ آمیزی شده، محیط دریای باز، PPL).



شکل ۵. مدل محیط رسوبی به همراه میکروفاسیس های شناخته شده در منطقه مورد مطالعه (بدون مقیاس).

فرآیندهای دیاژنز

فرآیندهای دیاژنزی غالب که بر کیفیت مخزنی سازند کنگان تأثیر گذار بوده و در طی مطالعه میکروسکوپی مشاهده شده‌اند به شرح زیر می‌باشد:

تراکم

تراکم در سازند کنگان به دو صورت تراکم فیزیکی (مکانیکی) و تراکم شیمیایی (انحلال فشاری) دیده می‌شود که در زیر به بررسی هر یک از آنها پرداخته می‌شود:

تراکم مکانیکی

تراکم مکانیکی در سازند کنگان به صورت فشرده شدن و نزدیک شدن آلوکم‌ها به یکدیگر مشخص می‌گردد. در برخی موارد نیز تراکم مکانیکی باعث شکسته شدن فسیل‌ها (شکل ۶- A) و ایجاد تماس‌های نقطه‌ای، خطی و حتی مقعر - محدب به خصوص در گریستون‌ها شده است. بدیهی است این فرآیند دیاژنزی به علت فشرده کردن آلوکم‌ها به یکدیگر و کاهش تخلخل باعث کاهش کیفیت مخزنی می‌گردد.

تراکم شیمیایی

از بین بافت‌های گوناگون تراکم شیمیایی، رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها در سازند کنگان دیده می‌شوند. رگچه‌های انحلالی به صورت رگه‌های صاف، موجی و به خصوص پیچیده که از مواد باقی مانده غیر قابل حل (مواد رسی، آلی و کانی‌های آهن دار) پر شده‌اند، مشاهده می‌گردند (Tucker and Wright, 1990). رگچه‌های انحلالی در رخساره‌های ریز دانه غنی از گل دیده می‌شوند و معمولاً از اطراف دانه‌ها و گرگه‌های دیاژنتیکی اولیه می‌گذرند.

استیلولیت‌ها بیشتر در گریستون‌ها و دولوگریستون‌های محیط سدی سازند مذکور دیده می‌شوند (شکل ۶- B). محصولات تراکم شیمیایی نتیجه اختلاف انحلال نسبی ذرات سازنده سنگ طی افزایش فشار است که نشان دهنده دیاژنز تدفینی با عمق متوسط تا عمیق است (Tucker and Wright, 1990; James and Choquette, 1990). استیلولیت، تراکم فیزیکی و شکستگی‌های ناشی از آن مربوط به محیط دیاژنز تدفینی می‌باشد (El-Saiy and Jordan, 2007).

انحلال

فرآیند انحلال در مخزن مورد مطالعه به ویژه در رخساره‌های گریستونی صورت گرفته است. اشکال حاصل از فرآیند انحلال در سازند کنگان به صورت تخلخل حفره‌ای، قالبی و یا انحلال در امتداد استیلولیت‌ها می‌باشد (شکل ۶- C) که به نظر می‌رسد تشکیل آن‌ها در محیط‌های فراتیک آب شیرین و زون مخلوط صورت گرفته است. تعدادی از این تخلخل‌ها توسط سیمان انیدریتی، کلسیتی و دولومیت زین اسبی پر شده‌اند (پورامینی بزنجانی، ۱۳۹۱). انحلال در زون متئوریک و در چند متر اولیه تدفین بسیار معمول بوده و تأثیر بسیاری بر روی تخلخل و نفوذپذیری دارد. در توالی مخزنی مورد مطالعه انحلال در ذرات ناپایداری چون ائیدها و بیوکست‌ها معمول است. فرآیند انحلال به سبب افزایش تخلخل و مرتبط کردن تخلخل‌های ایزوله (شکل ۶- D) به یکدیگر به افزایش نفوذپذیری سازند کنگان کمک کرده و باعث افزایش کیفیت مخزنی می‌گردد.

دولومیتی شدن

دولومیت‌ها در اشکال و انواع مختلف مهمترین جزء سنگی تشکیل دهنده سازند کنگان به شمار می‌روند. دولومیت به دو صورت اولیه و ثانویه تشکیل می‌-

گردد که نوع ثانویه آن یا بلافاصله بعد از رسوب‌گذاری یا مدت طولانی بعد از ته نشینی تشکیل می‌گردد.

اثر دولومیتی شدن بر روی تخلخل بسیار متغیر است. تراوایی متوسط در دولومیت‌ها بیشتر از آهک‌ها است (Sibley and Gregg, 1987).

دولومیت‌ها به دلیل اختلاف در اندازه، شکل و نظم بلورها دارای تراوایی افقی و قائم بیشتری نسبت به آهک‌ها هستند. جهت نامگذاری دولومیت‌های سازند کنگان از مقاله (Adabi, 2009) استفاده شده است و بر این اساس ۵ نوع دولومیت در این سازندها تشخیص داده شده است که در زیر به شرح آنها می‌پردازیم:

دولومیکرایت یا دولومیت‌های نوع ۱

دولومیت‌های بسیار ریز بلور، بی شکل تا شکل‌دار با مرز بلوری مسطح تا کمی منحنی می‌باشند. اندازه بلورها در دولومیت‌های نوع ۱ بین ۸ تا ۵۷ میکرون (به طور میانگین ۴۰ میکرون) می‌باشد (شکل ۶- E) و در محیط‌های سوپراتایدال تا قسمت بالایی اینترتایدال تشکیل شده‌اند (Adabi, 2009). دولومیکرایت‌ها بیشترین نوع دولومیت در سازند کنگان می‌باشند. این دولومیت‌ها از نظر بافتی معادل دولومیت نوع ۱ آماتور و فریدمن (Amthor and Friedman, 1992) می‌باشد.

دولومیکرواسپارایت یا دولومیت‌های نوع ۲

دولومیت‌های ریز بلور تا متوسط، بی شکل تا نیمه شکل‌دار دارای مرز بلوری مسطح می‌باشند. اندازه بلورها بین ۲۰ تا ۲۱۰ میکرون می‌باشد که این دولومیت‌ها گاهی بر اثر تبلور مجدد دولومیکرایت‌ها حاصل می‌شوند و از نظر بافتی دارای اندازه یکسان هستند (Adabi, 2009; آدابی، ۱۳۹۰). دولومیت‌های نوع ۲ فراوانی بسیار زیادی در سازند کنگان دارند (شکل ۶- F). دولومیتی شدن هم به صورت انتخابی و هم به صورت فراگیر در مقاطع دیده می‌شوند. رومبوند‌های دولومیت پراکنده اغلب در رخساره‌های گل آهکی سازندهای مورد مطالعه به صورت پراکنده در متن یافت می‌شوند.

دولواسپارایت یا دولومیت‌های نوع ۳

این بلورها در اندازه‌های مختلف بوده و اندازه آن‌ها از ۷۰ میکرون تا ۲۶۰ میکرون متغیر است. به صورت بلورهای شکل‌دار با مرزهای مسطح، و تمام زمینه را در برخی موارد پر کرده است (شکل ۶- A). از نظر بافتی این نوع دولومیت مخرب و به طور گسترده‌ای تعدیل کننده و یا محو کننده آثار دیاژنز اولیه است، بنابراین در این نوع دولومیت بافت رسوبی اولیه قابل تشخیص نیست. این بلورها ظاهری تمیز و شفاف دارند و توسط محلول‌های دولومیت ساز در امتداد استیلولیت‌ها تشکیل شده‌اند.

دولومیت‌های نوع ۴ یا زین اسبی

این نوع دولومیت شامل موزائیک‌های به شدت متراکم و یونی مودال است و اغلب دارای مرزهای بین بلوری نامنظم و خاموشی موجی هستند. این دولومیت‌ها در طی مراحل نهایی دیاژنز تشکیل شده‌اند و مربوط به مکانیسم تدفینی هستند و گاهی به صورت پراکنده قالب‌های ائیدها را پر کرده‌اند (شکل ۶- B). دمای مناسب برای تشکیل این نوع دولومیت‌ها ۸۲ - ۱۱۰ درجه سانتی گراد است (Zeeh and Geng, 2001). این نوع دولومیت ویژگی محیط دیاژنزی تدفینی می‌باشد (Warren, 2000).

دولومیت‌های خیلی درشت پر کننده حفرات یا سیمان دولومیتی

(نوع ۵)

این دولومیت‌ها به صورت سیمان دولومیتی معمولاً حفرات را پر کرده، که مربوط به مراحل نهایی دیاژنز است. از ویژگی‌های این دولومیت داشتن خاموشی مستقیم و گوشه‌های رومبوندی است (شکل ۷- C)، (آدابی، ۱۳۹۰). به طور کل دولومیتی شدن با ایجاد تخلخل بین بلوری و گاهی ارتباط حفرات جدا از هم با یکدیگر و دارا بودن نفوذپذیری بهتر نسبت به آهکها باعث افزایش کیفیت مخزنی سازند کنگان شده است.

سیمانی شدن

در سازند کنگان سیمان‌های زیر شناسایی شده‌اند:

سیمان کلسیتی

سیمان‌های کربناته غالباً در رخساره‌های سدی و نیز لاگون دریای باز توسعه یافته‌اند. بر اساس مطالعات پتروگرافی سه نسل سیمان کلسیتی دریایی، متئوریک و تدفینی در سنگ مخزن وجود دارد.

سیمان فیبری هم ضخامت

به صورت سیمان‌های حاشیه‌ای متقارن یک یا چند ردیفی که با ضخامت یکسان در اطراف دانه‌ها رشد می‌کنند مشخص می‌شود (شکل ۷- D). این سیمان ممکن است شامل انواع فیبری، تیغه‌ای یا میکروکریستالین باشد (Flugel, 2010). این سیمان شاخص زون‌های فرآتیک آب دریا است (Tucker and Wright, 1990; Moore, 2001; Flugel, 2010).

سیمان کلسیت هم بعد

این نوع سیمان حفرات و فضاهای بین دانه‌ای را به صورت بلورهای موزائیکی در سازند کنگان پر کرده است (شکل ۷- E). به طور عمده در رخساره های گریستونی دارای تخلخل قالبی یافت می‌شود، لذا می‌تواند در ارتباط با انحلال قطعات ناپایدار باشد. در سازند مذکور این سیمان با پر کردن تخلخل های اولیه بین دانه‌ای نقش مهمی در کاهش کیفیت مخزنی داشته است.

سیمان کلسیت دروزی

این سیمان به صورت پر کننده تخلخل‌های بین دانه‌ای و درون دانه‌ای می‌باشد به طوری که اندازه حفرات آن به طرف مرکز حفرات درشت‌تر می‌شود (شکل ۷- F). این نوع سیمان نیز بیشتر در ارتباط با دیاژنز جوی می‌باشد اگر چه این نوع سیمان در محیط تدفین عمیق‌تر نیز وجود دارد (Flugel, 2010).

سیمان کلسیت بلوکی

این سیمان شامل بلورهای کلسیتی متوسط تا درشت دانه بوده، گاهی دارای رخ کاملاً مشخص می‌باشد (شکل ۸- A) و غالباً مرزهای بلوری مشخصی را نشان می‌دهد. برخی از سیمان‌های کلسیت دروزی و بلوکی با عوارض دیاژنز عمیق مرتبط بوده و پر کننده حفرات ایجاد شده در حین شکستگی و استیلولیتی شدن می‌باشند که کاهش کیفیت مخزنی را در بر دارد.

سیمان پر کننده رگه‌ها

این سیمان در مراحل آخر دیاژنز تشکیل می‌شود. در سازند کنگان این سیمان اغلب شکستگی‌ها و یا تخلخل‌های کانالی را پر کرده است (شکل ۸- B).

سیمان پوئیکیلوتوپیک

این سیمان تمام فضاهای خالی را پر کرده است. به دلیل سرعت کم هسته سازی و رشد آرام بلورها سیمان‌های مذکور درشت هستند (Tucker and Wright, 1990). این سیمان شاخص محیط تدفینی می‌باشد و به صورت سیمان تبخیری و کلسیتی (شکل ۸- C و D) و انیدریتی در سازند کنگان دیده می‌شود. سیمان انیدریتی پوئیکیلوتوپیک اگر انحلال پیدا کند باعث ایجاد فضای تخلخلی بهم مرتبط می‌شود که از دیدگاه مخزنی حائز اهمیت است (Lonoy, 2006).

سیمان انیدریتی

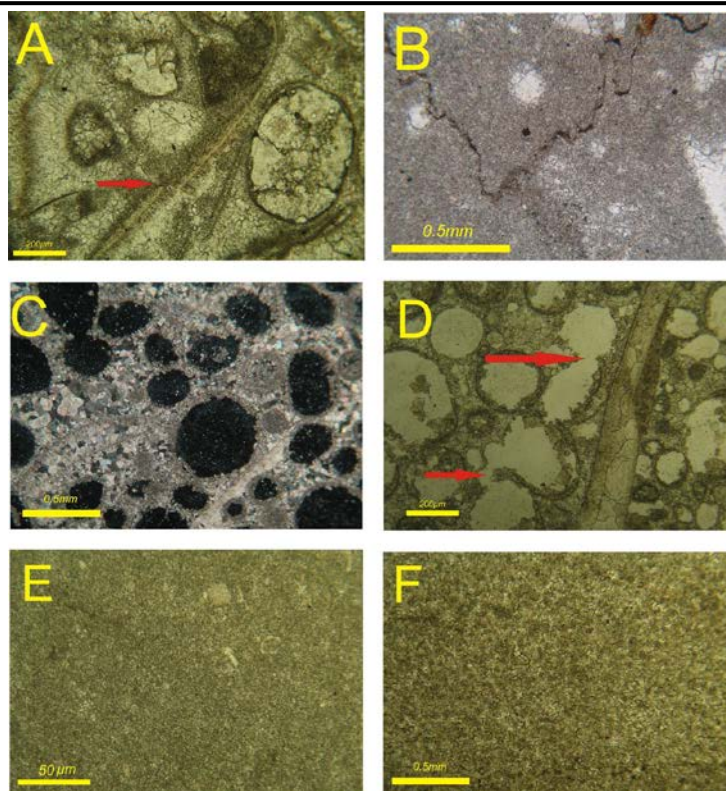
این سیمان که بیشترین نوع سیمان را در سازند کنگان تشکیل می‌دهد عموماً از انحلال انیدریتی‌های توده ای منشأ می‌گیرد. از لحاظ پدیده‌های دیاژنزی، سیمان انیدریتی بعد از پدیده دولومیتی شدن غالب ترین پدیده دیاژنزی در این سازندها می‌باشد. رحیم پور بناب و همکاران (Rahimpur Bonab et al., 2010) عقیده دارند دولومیتی شدن و سیمان‌های انیدریتی مهمترین فاکتورهای کنترل کننده کیفیت مخزنی در این واحدها می‌باشند. این نوع سیمان در سازند کنگان فضای بین آلوکم‌ها، شکستگی‌ها و فضای ناشی از انحلال آلوکم‌ها را پر کرده است (شکل ۸- E).

شکستگی‌ها

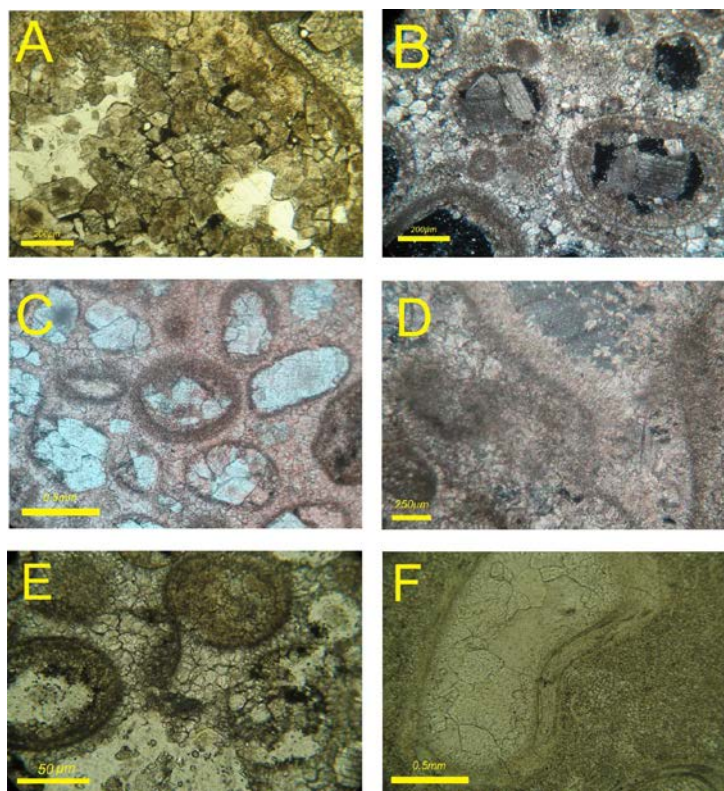
نفوذپذیری مخزن به طور ویژه به تناسب شکستگی‌هایی که منافذ را به یکدیگر وصل می‌کنند وابسته است (Larsen et al., 2010). شکستگی یکی دیگر از فرآیندهای دیاژنزی است که در سازند کنگان مشاهده می‌شود و یکی از مهمترین عوامل ایجاد کننده تراوایی می‌باشد (شکل ۸- F). هر چند گروهی از شکستگی‌ها با سیمان پر شده و از تراوایی کاسته شده است. مقدار شکستگی در دولومادستون‌ها و دولوگریستون‌ها بیشتر از همه است و باعث ارتباط بین تخلخل های قالبی که جدا از هم می‌باشند گردیده و تراوایی را افزایش داده است.

انواع تخلخل

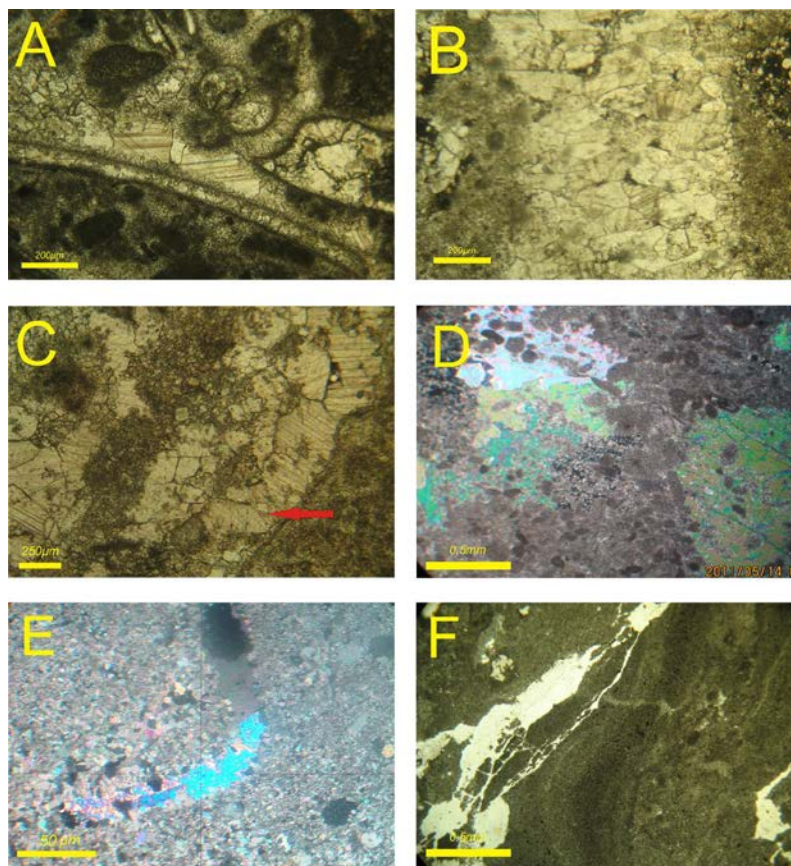
تخلخل موجود در سنگ‌های کربناته به دو گروه تخلخل اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود. تخلخل اولیه از ابتدا در میان ذرات تشکیل دهنده رسوبات وجود دارد و تخلخل ثانویه در هر زمانی پس از رسوب گذاری نهایی ایجاد می‌شود (Choquette and Pray, 1970). در این سازند و به منظور شناسایی انواع تخلخل‌ها از تقسیم بندی (Choquette and Pray, 1970) استفاده شده است.



شکل ۶. A: تراکم مکانیکی که باعث شکسته شدن پوسته فسیل شده است (فلش قرمز، مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). B: استیلولیت که در امتداد آن اکسید آهن نهشته شده است (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). C: انحلال الئیدها باعث تشکیل تخلخل قالبی گردیده است (مقطع رنگ آمیزی شده، XPL). D: انحلال با مرتبط کردن تخلخل های جدا از هم (فلش قرمز) باعث افزایش تراوایی و بهبود کیفیت مخزنی شده است (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). E: دولومیکرایت که در آن آثاری از آلومک ها پیداست (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). F: دولومیکرواسپارایت. این دولومیت ها فراوانی بسیار زیادی در سازند کنگان دارند (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL).



شکل ۷. A: دولواسپارایت، رومبوتدرهای دولومیت به خوبی قابل مشاهده می باشند (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). B: دولومیت های نوع ۴ که قالب الئیدها را پر کرده اند. (مقطع رنگ آمیزی شده، XPL). C: دولومیت نوع ۵ که به صورت حفره پرکن می باشد (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). D: سیمان فیبری هم ضخامت. این سیمان شاخص دیاژنز دریایی می باشد (مقطع رنگ آمیزی شده، XPL). E: سیمان کلسیت هم بعد، این سیمان به صورت بلورهای موزائیکی فضای خالی بین دانه ها را پر کرده است (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). F: سیمان دروزی، اندازه بلورها به طرف مرکز درشت شده است (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL).



شکل ۸. A: سیمان کلسیت بلوکی دارای رخ (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). B: سیمان پر کننده رگه، این سیمان مربوط به مراحل پایانی دیاژنز می باشد (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). C: سیمان کلسیت پوئیکیلوتوپیک که دانه های کوچکتر (فلش قرمز) را در خود جای داده است (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). D: سیمان انیدریتی پوئیکیلوتوپیک که پلتها را در خود جای داده است (مقطع رنگ آمیزی شده، XPL). E: سیمان انیدریتی که قالب فسیل و همچنین فضای خالی بین آلوکم ها را پر کرده است. این سیمان از مهمترین عوامل کاهش کیفیت مخزنی می باشد (مقطع رنگ آمیزی شده، XPL). F: شکستگی در یک رخساره مادستونی. این فرآیند دیاژنتیکی باعث افزایش کیفیت مخزنی سازند کنگان شده است (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL).

مخزن مورد مطالعه متفاوت است. از طرفی ارتباط حفرات به علت وجود کلسیت حاشیه‌ای ضخیم و اولیه که قالب های مجزا را به وجود آورده ضعیف و محدود می‌باشد و از طرف دیگر علت ایجاد واحدهای مخزنی خوب توسط این نوع تخلخل در سازند کنگان ارتباط یافتن حفرات قالبی به وسیله فرآیند دولومیتی شدن و شکستگی‌ها است. به این ترتیب که فضای بین بلوری ایجاد شده توسط بلورهای نیمه خود شکل تا خود شکل دولومیت در دانه ها و ماتریکس سنگ ارتباط بین قالب‌های مجزا را میسر می‌کند. عواملی مانند شکستگی که می‌تواند باعث ایجاد اتصال در حفرات قالبی و بهبود کیفیت مخزنی شود در سازند کنگان به خوبی گسترش یافته‌اند.

تخلخل فنسترال

تخلخل و فابریک فنسترال از شاخصه‌های مهم شناسایی محیط‌های پهنه جزر و مدی می‌باشد. این تخلخل‌ها به اشکال کروی، عدسی، چشم پرنده‌ای (Bird's Eye) و نامنظم معمولاً به موازات سطوح چینه‌ای و لایه‌های سنگ تشکیل می‌شوند. این نوع تخلخل در بیشتر رخساره‌های مادستونی و دولومادستونی محیط‌های بین جزر و مدی و بعضاً بالای جزر و مدی توالی مخزنی سازند کنگان وجود داشته و در اکثر موارد با سیمان انیدریت و ژپیس پر شده‌اند (شکل ۹ - D). مشابه این نوع تخلخل در سازندهای دالان و کنگان در کوه سورمه نیز مشاهده شده است (پورامینی بزنجانی و همکاران، ۱۳۹۱).

تخلخل بین دانه‌ای

این نوع تخلخل در بین دانه‌های ائید و پلوئید ریز دانه دولومیتی و دانه‌های اسکلتی در بخش پایینی سازند کنگان که غنی از دانه هستند به خوبی گسترش یافته است (شکل ۹ - A). از لحاظ ارتباط بین حفرات این رخساره‌ها دارای تخلخل مفیدی هستند. بر خلاف تخلخل‌های قالبی که حاصل انحلال‌اند، این نوع تخلخل اغلب دارای منشأ اولیه بوده و حاصل فابریک رسوبی می‌باشد.

تخلخل درون دانه‌ای

اکثراً تخلخل درون دانه‌ای در کربنات‌ها قبل از رسوب‌گذاری قطعات یا دانه‌های رسوبی تشکیل شده‌اند و اغلب با رسوبات داخلی پر شده‌اند و مقدار بسیار کمی از آن‌ها حفظ شده است. در سازند مورد مطالعه به ویژه در رخساره‌های لاگونی این نوع تخلخل در بعضی از بایوکلست‌ها و حجره‌های فرامینیفر وجود دارد که اکثراً توسط سیمان‌های انیدریتی و کلسیتی پر شده‌اند (شکل ۹ - B).

تخلخل قالبی

این نوع تخلخل گسترده ترین نوع تخلخل در رخساره‌های غنی از دانه در سنگ مخزن می‌باشد. این تخلخل بیشتر در رخساره‌های الیتی دولومیتی شده (Oomoldic) و همچنین در ارتباط با انحلال بایوکلست‌ها در رخساره‌های وکستونی و پکستونی می‌باشد. این نوع تخلخل نشان دهنده مینرالوژی اولیه آراگونیتی سازند کنگان می باشد (شکل ۹ - C). این نوع تخلخل بیشتر به صورت قالب‌های ائیدی مجزا بوده و جزء تخلخل‌های غیر مفید می‌باشد و در مغزه به خوبی قابل مشاهده است. از لحاظ مخزنی ارتباط بین حفرات قالبی در

تخلخل بین بلوری

این نوع تخلخل معمولاً در رخساره‌های دولومیت میکروکریستالین با بلورهای دولومیت خود شکل و کریستال‌های رومیوئدری هم بعد توسعه دارد (شکل ۱۰- A). به دلیل ارتباط بین بلورهای دولومیت نفوذپذیری حاصل از این نوع تخلخل بالا بوده است. این پدیده در رخساره‌های دولوگرنیستونی موجب افزایش ارتباط در مجاری بین حفره‌ای و به تبع آن افزایش تراوایی می‌شود.

تخلخل حاصل از شکستگی

حرکات و کشش‌های تکتونیکی در نمونه‌های آهکی موجب به وجود آمدن این نوع تخلخل می‌شود. در توالی مخزنی مورد مطالعه شکستگی‌ها گسترش چندانی ندارند اما به دلیل اینکه باعث افزایش تراوایی می‌گردد بسیار حائز اهمیت می‌باشند (شکل ۱۰- B).

تخلخل حفره‌ای

این تخلخل در سازند کنگان به طور پراکنده در رخساره‌های دولومادستونی دیده می‌شود (شکل ۱۰- C). اغلب این حفرات به صورت ساختارهای فنسترال (Open-space) بوده و در رسوبات دولومیتی شده بین جرز و مدی معمول‌اند. این نوع تخلخل به ندرت حفظ شده و اغلب فضاها به وسیله سیمان انیدریت ثانویه پر شده است.

تخلخل کانالی

این تخلخل در طبقه بندی لوسیا ۱۹۹۵ به نام Solution-Enlarged Fracture معرفی گردیده است و در طول نقاط ضعف نظیر شکستگی‌ها و استیلولیت‌ها تشکیل می‌شود. این نوع تخلخل به طور محدود در سازند کنگان توسعه یافته است (شکل ۱۰- D) و اغلب حاصل انحلال و بزرگ شدن شکستگی‌های قبلی است و به میزان بسیار کم در طول استیلولیت‌ها مشاهده می‌شود. در (جدول ۱) فرآیندهای دیاژنتیکی سازند کنگان واقع در میدان لاوان از نظر زمانی مشخص شده است.

کیفیت مخزنی

پتانسیل مخزنی یک سنگ توسط پارامترهای تخلخل و تراوایی اندازه گیری می‌شود. از داده‌های تخلخل مفید، نفوذپذیری شورآب و نفوذپذیری هوا و ترسیم میزان نفوذپذیری در برابر تخلخل مفید (شکل ۱۱) جهت زون بندی مخزنی سازند کنگان استفاده شده است. در این مطالعه پس از زون بندی مخزنی، نقش عواملی دیاژنتی به عنوان عامل اصلی مؤثر بر کیفیت مخزنی بررسی می‌گردد. جهت به دست آوردن درصد انواع تخلخل، پس از شناسایی انواع تخلخل از آنها عکس برداری صورت گرفت و به تفکیک هر نوع از تخلخل، داده‌ها را وارد نرم افزار (Image analysis) کرده و درصد هر نوع از تخلخل را به صورت جداگانه محاسبه شده است.

سنگ‌های مخزنی بر اساس دامنه تغییرات تخلخل و تقسیم بندی کیفی مخزنی به ۴ دسته اصلی قابل تقسیم است (Ahr, 2008):

بسیار ضعیف: با ۵ درصد تخلخل و کمتر (فاقد کیفیت مخزنی)

ضعیف: ۵ تا ۱۰ درصد تخلخل

متوسط: ۱۰ تا ۲۰ درصد تخلخل

خوب: ۲۰ تا ۳۰ درصد تخلخل

بر مبنای تغییرات تراوایی بیشتر سنگ‌های مخزنی به ۵ دسته قابل تقسیم می‌باشند (Ahr, 2008):

بسیار ضعیف: با کمتر از ۰/۱ میلی داری تراوایی (فاقد کیفیت مخزنی)

ضعیف: ۰/۱ تا ۱۰ میلی داری تراوایی

متوسط: ۱۰ تا ۵۰ میلی داری تراوایی

خوب: ۵۰ تا ۲۵۰ میلی داری تراوایی

عالی: ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی داری تراوایی و بیشتر از آن

بر طبق داده‌های تخلخل کل، تخلخل مفید، نفوذپذیری هوا و نفوذپذیری شورآب سازند کنگان به دو زون مخزنی به شرح زیر تقسیم شدند:

واحد مخزنی K2 (از ۳۵۶۰/۲ متر تا ۳۶۱۷/۱ متر)

این زون مخزنی دارای کیفیت مخزنی قابل توجه است که بیشتر از رخساره‌های دانه پشتیبان تشکیل شده است، هر چند بین لایه‌هایی از رخساره‌های گلی و میکروبیالی به خصوص در قسمت پایینی این زون مخزنی وجود دارد. پایین‌ترین قسمت این زون، کیفیت مخزنی پایینی نشان می‌دهد که مهمترین دلیل آن وجود رخساره‌های رسوبی کم عمق میکروبیالی (ترومولیت) در قسمت قاعده‌ای می‌باشد.

کیفیت مخزنی بعد از رخساره‌های ترومولیتی و میکروبیالی افزایش می‌یابد که شامل تخلخل‌های بین بلوری و قالبی می‌باشد. میانگین ویژگی‌های مخزنی این زون مخزنی به شرح زیر می‌باشد (تخلخل متوسط، تراوایی متوسط):

Average He porosity: 10.1%

Average air permeability: 20.2 mD

زون مخزنی K2 به سه زیرزون مخزنی به شرح زیر تقسیم می‌گردد:

زیرزون مخزنی K2a (از ۳۵۶۰/۲ متر تا ۳۵۷۹/۲ متر)

این زیرزون با ضخامت ۱۹ متر از رخساره‌های دانه پشتیبان دولومیتی با مقدار قابل توجهی تخلخل و مقادیری نودول‌های انیدریت تشکیل شده است. این زیرزون به علت وجود گسترده انواع تخلخل‌ها مثل قالبی، بین ذره‌ای، درون ذره‌ای و بین بلوری دارای کیفیت مخزنی بالایی است (شکل ۱۲).

میانگین ویژگی‌های مخزنی این زیرزون به شرح زیر می‌باشد (تخلخل متوسط و تراوایی خوب):

Average He porosity: 11.43 %

Average air permeability: 57.17 mD

زیرزون مخزنی K2b (از ۳۵۷۹/۲ متر تا ۳۵۹۰ متر)

این زیرزون با ضخامت ۱۰/۸ متر دارای رخساره‌های دانه پشتیبان آهکی با مقدار قابل توجهی تخلخل و مقدار کمی نودول‌های انیدریتی می‌باشد. قسمت‌های پایینی این زیرزون شامل گرنیستون‌های اینتراکستی آهکی و وکستون/پکستون‌های بایوکستی و پلوئیدی با تخلخل‌های قالبی می‌باشد.

بالترین قسمت این زیرزون مخزنی با رخساره‌های انیدی آهکی با درصد قابل ملاحظه‌ای تخلخل قالبی، بین بلوری و درون ذره‌ای (شکل ۱۲) مشخص می‌شود. در این زیرزون مخزنی به علت اینکه تخلخل قالبی و درون ذره‌ای جدا از هم می‌باشند تخلخل بالا ولی تراوایی پایینی می‌باشد. نودول‌های انیدریتی باعث کاهش نسبی کیفیت مخزنی در این زون می‌گردند.

میانگین ویژگی‌های مخزنی این زیرزون به شرح زیر می‌باشد (تخلخل متوسط و تراوایی پایین):

Average He porosity: 15.2 %

Average air permeability: 1.83 mD

زیرزون مخزنی K2c (از ۳۵۹۰ متر تا ۳۶۱۷ متر)

این زیرزون مخزنی با ضخامت ۲۷ متر در قاعده سازند کنگان قرار گرفته است و از رخساره‌های دانه پشتیبان آهکی با میزان تخلخل متوسط و در قسمت قاعده‌ای از رخساره‌های میکروبیالی دولومیتی تشکیل شده است. در این زیرزون مخزنی تخلخل‌های قالبی، درون ذره‌ای، بین بلوری و شکستگی (شکل ۱۲) دیده می‌شود. به علت وجود رخساره‌های میکروبیالی در قاعده و به سبب اینکه تخلخل قالبی و درون ذره‌ای جدا از هم می‌باشند و با یکدیگر و سایر تخلخل‌ها ارتباط ندارند، میانگین نفوذپذیری در این زیرزون

زیرزون مخزنی K1d (از ۳۵۳۲/۳ متر تا ۳۵۶۰/۲ متر)

این زیرزون مخزنی با ضخامت ۲۷/۹ متر در قاعده زون مخزنی K1 قرار گرفته است و از رخساره‌های گل پشתיبان تا دانه پشתיبان دولومیتی شده همراه با نودول و لایه‌های انیدریتی تشکیل شده است. قسمت‌های پایینی این زیرزون شامل رخساره‌های مادستون دولومیتی و پلوئید بایوکست و کستون/پکستون با مقدار قابل توجهی تخلخل‌های فنسترال، حفره‌ای و بین بلوری می‌باشد. قسمت‌های میانی این زیرزون از رخساره‌های دانه پشתיبان دولومیتی شده شامل لایه‌های متخلخل ائید گرینستون و بایوکست پکستون‌های دولومیتی شده تشکیل شده است. ائید گرینستون‌ها در این قسمت دارای کیفیت مخزنی بالایی هستند. این زیرزون مخزنی به دلیل داشتن مقدار قابل توجهی تخلخل-های قالبی، بین ذره‌ای و بین بلوری (شکل ۱۳) و وجود رخساره‌های دانه پشתיبان دارای کیفیت مخزنی بالایی (بالاترین کیفیت مخزنی در توالی مخزنی) می‌باشد. میانگین ویژگی‌های مخزنی این زیرزون به شرح زیر می‌باشد (تخلخل متوسط و تراوایی خوب):

Average He porosity: 13 %
Average air permeability: 160.65 mD

نتیجه گیری

سازند کنگان با سن تریاس، در میدان لوان، شامل ۲۰۰ متر توالی کربناته (سنگ آهک، آهک دولومیتی و دولومیت) به همراه لایه‌های انیدریتی می‌باشد. این سازند در یک محیط رمپ کربناته نهشت یافته است. مهمترین فرآیندهای دیاژنی شناخته شده در سازند کنگان عبارتند از: تراکم، سیمانی شدن، انحلال، دولومیتی شدن، شکستگی.

سازند کنگان به دو واحد مخزنی K1 و K2 تقسیم می‌شوند. واحد مخزنی K2 از زیرزون‌های K2a، K2b و K2c تشکیل شده است. پایین‌ترین قسمت این زون به دلیل وجود میان لایه‌هایی از رخساره‌های گلی و میکروبیالی دارای کیفیت مخزنی پایینی است اما در مجموع این زون دارای کیفیت مخزنی قابل توجهی است. عبور از واحد مخزنی K2 به واحد مخزنی K1 بوسیله رخساره‌های گلی دولومیتی و لایه انیدریتی مجزا مشخص می‌شود. واحد مخزنی K1 از زیرزون‌های K1a، K1b، K1c و K1d تشکیل شده است و بهترین کیفیت مخزنی را در توالی مخزنی دارد. قسمت‌های مخزنی این زون بهترین کیفیت مخزنی را دارند که به فرآیند دولومیتی شدن گسترده و ارتباط حفرات با یکدیگر به وسیله تخلخل بین بلوری گل پشתיبان و وجود تخلخل قالبی و بین ذره‌ای در رخساره‌های دانه پشתיبان نسبت داده می‌شود. با استفاده از نرم افزار تحلیل‌گر تصاویر درصد انواع تخلخل‌ها در تمام زیرزون‌ها محاسبه گردید. بر این اساس تخلخل‌های قالبی، بین ذره‌ای، درون ذره‌ای و بین بلوری بیشترین درصد را دارند.

سیمانی شدن (به خصوص سیمان انیدریتی) و تراکم از عوامل کاهش دهنده و دولومیتی شدن، وجود تخلخل‌های فراوان (به خصوص تخلخل بین بلوری که باعث ارتباط حفرات به یکدیگر می‌شود)، ترکیب کانی شناسی اولیه آراگونیتی و شکستگی از جمله عوامل افزایش دهنده خصوصیات مخزنی در سازند کنگان می‌باشند.

کاهش یافته و سبب می‌گردد این زیرزون دارای کیفیت مخزنی ضعیفی باشد. میانگین ویژگی‌های مخزنی این زیرزون به شرح زیر می‌باشد (تخلخل و تراوایی ضعیف):

Average He porosity: 4.04 %
Average air permeability: 0.46 mD

زون مخزنی K1 (از ۳۴۵۶/۸ متر تا ۳۵۶۰/۳ متر)

پایین‌ترین قسمت این زون مخزنی از رخساره‌های گل پشתיبان تا دانه پشתיبان همراه با مقادیر قابل توجهی تخلخل و کیفیت مخزنی خوب تشکیل شده است. قسمت‌های میانی زون مخزنی K1 (از ۳۵۴۴ متر تا ۳۵۵۶ متر) بهترین کیفیت مخزنی را در این زون دارد که به فرآیند دولومیتی شدن گسترده و ارتباط حفرات با یکدیگر به وسیله تخلخل بین بلوری در رخساره‌های گل پشתיبان نسبت داده می‌شود. قسمت‌های بالایی این زون مخزنی از آهک به همراه لایه‌های نازک دولومیت تشکیل شده است. ویژگی‌های مخزنی این زون به شرح زیر می‌باشد (تخلخل ضعیف و تراوایی متوسط):

Average He porosity: 6.87%
Average air permeability: 34.37 mD

زون مخزنی K1 به ۴ زیرزون مخزنی به شرح زیر تقسیم می‌گردد:

زیرزون مخزنی K1a (از ۳۴۵۷/۳ متر تا ۳۴۷۱/۳ متر)

این زیرزون مخزنی با ضخامت ۱۴/۳ متر در بالاترین قسمت سازند کنگان قرار گرفته است و از رخساره‌های گل پشתיبان تا دانه پشתיبان دولومیتی/آهکی با مقادیر متوسط تا بالایی از تخلخل‌های قالبی، بین بلوری و درون دانه‌ای تشکیل شده است (شکل ۱۳). میانگین ویژگی‌های مخزنی این زیرزون به شرح زیر می‌باشد (تخلخل متوسط و تراوایی ضعیف):

Average He porosity: 11.1 %
Average air permeability: 2.77 mD

زیرزون مخزنی K1b (از ۳۴۷۱/۳ متر تا ۳۴۸۹/۴ متر)

یک زیرزون مخزنی با ضخامت ۱۸/۱ متر می‌باشد که در قسمت‌های بالاتر زون مخزنی K1 قرار گرفته است و از رخساره‌های گل پشתיبان تا دانه پشתיبان دولومیتی/آهکی با درصد تخلخل پایین تشکیل شده است (شکل ۱۳).

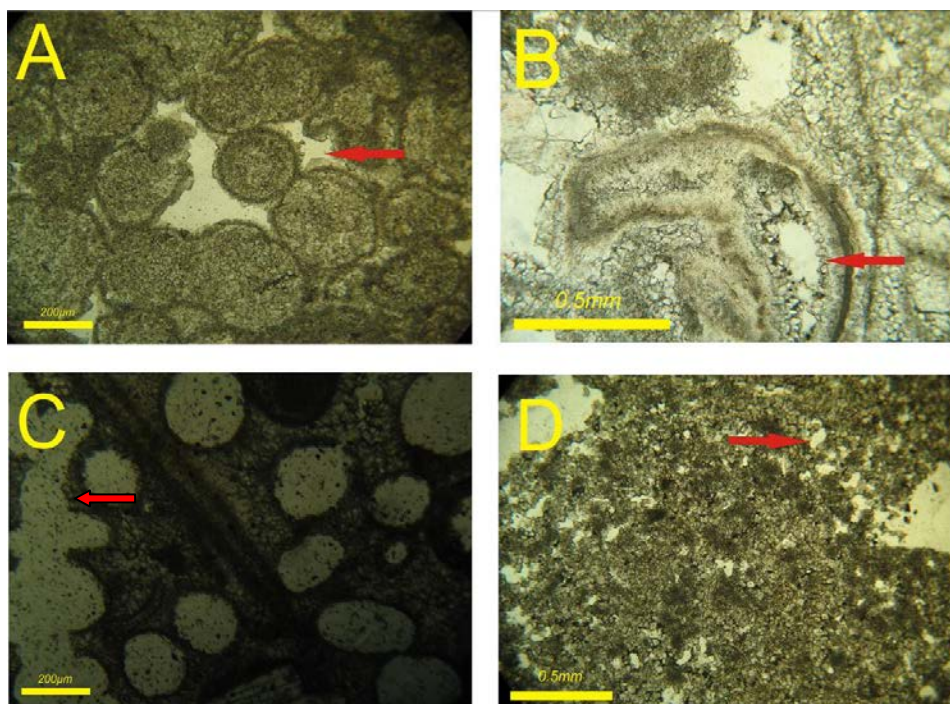
این زیرزون مخزنی به دلیل گسترش زیاد سیمان به خصوص سیمان‌های انیدریتی و تراکم که به فراوانی دیده می‌شود دارای کیفیت مخزنی متوسط تا پایینی است. میانگین ویژگی‌های مخزنی این زیرزون به شرح زیر می‌باشد (تخلخل و تراوایی ضعیف):

Average He porosity: 5.3 %
Average air permeability: 0.52 mD

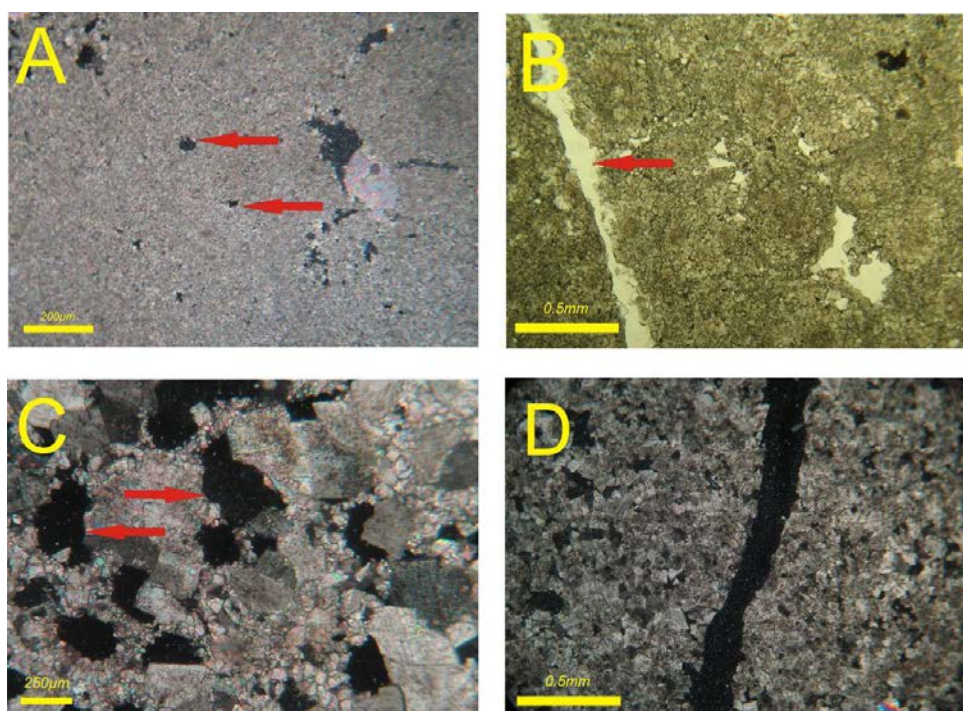
زیرزون مخزنی K1c (از ۳۴۸۹/۴ متر تا ۳۵۳۲/۳ متر)

یک زیرزون مخزنی با ضخامت ۴۲/۹ متر است که در قسمت‌های میانی زون مخزنی K1 قرار گرفته است و از رخساره‌های گل پشתיبان آهکی همراه با درصد پایین تخلخل تشکیل شده است (شکل ۱۳). به طور کل، این زیرزون مخزنی به دلیل داشتن رخساره‌های مادستونی آهکی، سیمانی شدن و تراکم دارای کیفیت مخزنی پایینی می‌باشد. میانگین ویژگی‌های مخزنی این زیرزون به شرح زیر می‌باشد (تخلخل و تراوایی ضعیف):

Average He porosity: 3.4 %
Average air permeability: 0.27 mD



شکل ۹. A: تخلخل بین دانه ای در رخساره انید گرینستون (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). B: تخلخل درون دانه ای در داخل حجره یک فسیل (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). C: تخلخل قالبی حاصل از انحلال انیدها. وجود شکستگی باعث اتصال تخلخل های قالبی به یکدیگر شده (فلش قرمز) و کیفیت مخزنی را افزایش داده است (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). D: تخلخل فنسترال در یک رخساره مادستون دولومیتی. این تخلخل شاخص محیط بین جزر و مدی و بالای جزر و مدی می باشد (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL).

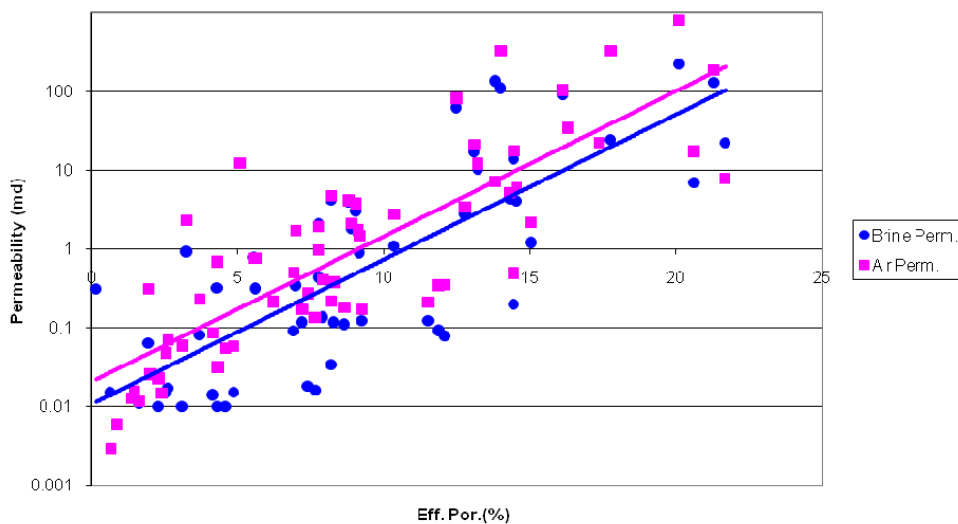


شکل ۱۰. A: تخلخل بین بلوری در دولومیکرایت. این تخلخل از اصلی ترین عوامل افزایش کیفیت مخزنی می باشد (مقطع رنگ آمیزی شده، XPL). B: تخلخل حاصل از شکستگی (مقطع رنگ آمیزی شده، PPL). C: تخلخل حفره ای (مقطع رنگ آمیزی شده، XPL). D: تخلخل کانالی که حاصل انحلال و بزرگ شدن شکستگی های قبلی می باشد (مقطع رنگ آمیزی شده، XPL).

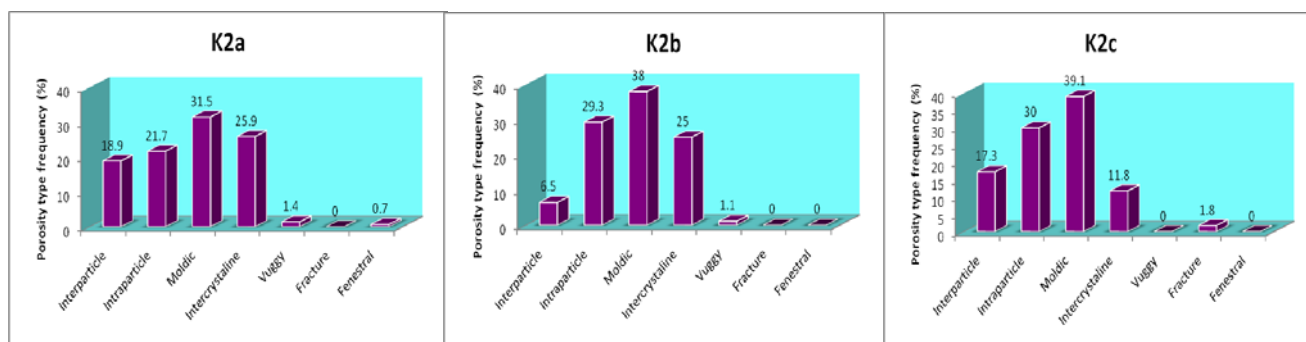
جدول ۱. فرآیندهای دیاژنتیکی سازند کنگان در میدان لاوان.

Diagenetic Events	Early	Middle	Late
Physical Compaction	-----		
Chemical Compaction			-----
Dissolution		-----	-----
Equant Calcite Cement	-----		
Isopachus Fibrous Cement	-----		
Drusy Cement		-----	-----
Blocky Calcite Cement		-----	-----
Vein Calcite Cement			-----
Poikilotopic Cement		-----	-----
Evaporite Cement	-----	-----	
Dolomicrite	-----		
Dolomicrosparite and Dolosparite		-----	
Saddle Dolomite and Dolomite Cement			-----
Porosity	-----	-----	-----

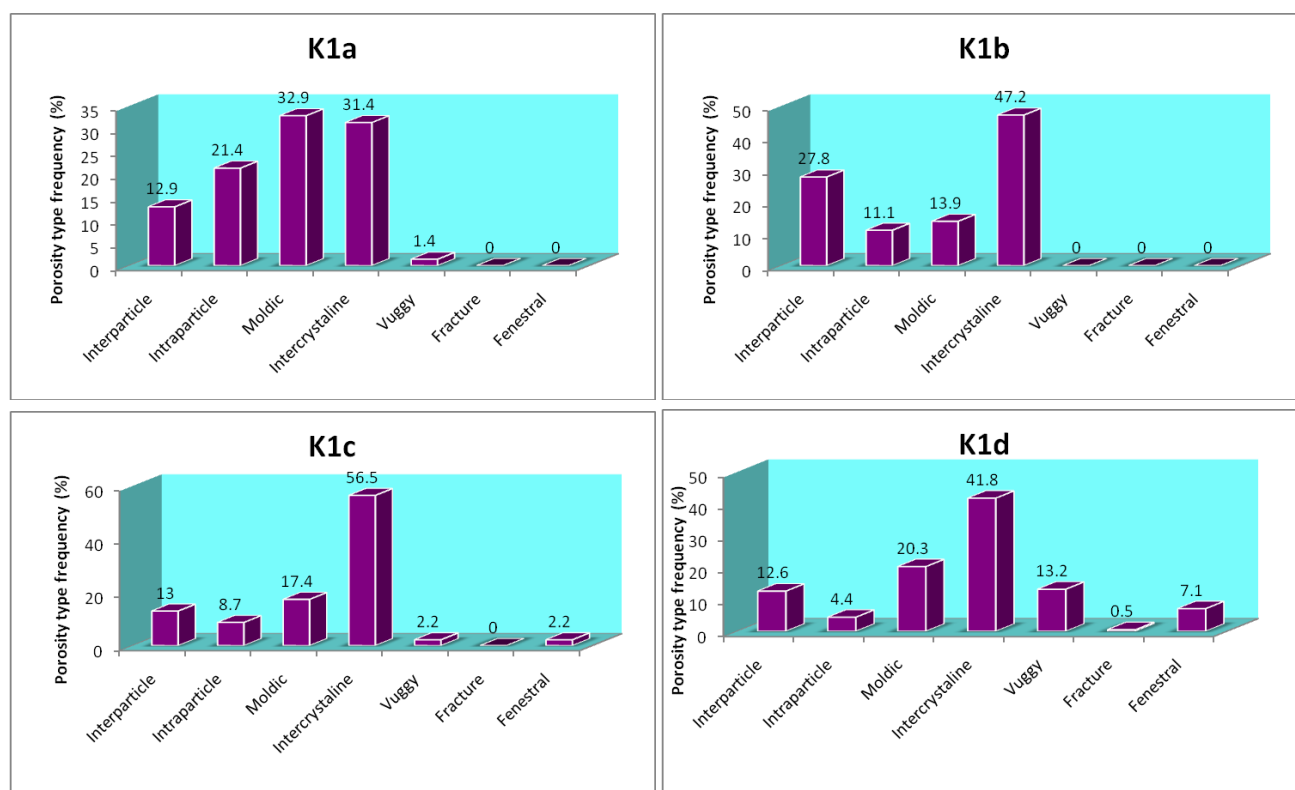
Permeability vs. Eff. Por.



شکل ۱۱. توزیع لگاریتمی نفوذپذیری (شور آب و هوا) در مقابل داده های تخلخل مفید (یحیایی و حناچی، ۱۳۸۶).



شکل ۱۲. میزان انواع مختلف تخلخل در زیر زونهای مخزنی K2a، K2b، و K2c. تخلخل قالبی بیشترین درصد تخلخل را در این زیر زونهای مخزنی دارا می باشد.



شکل ۱۳. میزان تخلخل در زیر زون های مخزنی K1a، K1b، K1c، و K1d. بیشترین درصد تخلخل مربوط به تخلخل بین بلوری و بعد از آن تخلخل قالبی و بین دانه ای می باشد.

منابع

- آدابی، م.ح.، ۱۳۹۰. ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آراین زمین، چاپ دوم، ۵۰۴ ص.
- پورامینی بزنجانی، س.، ۱۳۹۱. محیط رسوبی، ژئوشیمی و تعیین خصوصیات مخزنی قسمت فوقانی سازند دالان و کنگان در میدان لاوان و ناحیه کوه سورمه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی. ۲۱۹ ص.
- پورامینی بزنجانی، س. آدابی، م.ح.، حسینی برزی، م.، حناچی، ج.، ۱۳۹۱. میکروفاسیس، محیط رسوبی و دیاژنز بخش فوقانی سازندهای دالان و کنگان در ناحیه کوه سورمه، زاگرس چین خورده. مجله پژوهشهای چینه نگاری و رسوب شناسی. شماره ۴۶. ص ۵۵-۷۴.
- یحیایی، ا.، حناچی، ج.، ۱۳۸۶. گزارش نهایی زمین شناسی چاه شماره ۳ لاوان در حوضه خلیج فارس.
- Aali, J., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M.R., 2006, Geochemistry and origin of the world's largest gas field from Persian Gulf, Iran, *Petroleum Science and Engineering*, v: 50, p: 161-175.
- Adabi, M.H., Asadi Mehmandosti, E., 2008. Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-e- Rashid area, Izeh, S.W. Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v: 33, p: 267-277.
- Adabi, M.H., Salehi, M., Ghobeishavi, A., 2010, Depositional environment, sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), south-west Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, v: 39, p: 148-160.
- Adabi, M.H., 2009, Multistage dolomitization of Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet- Dagh Basin, N. E. Iran, *Carbonates and Evaporites*. v: 24, no: 1, p:16 - 32.

- Ahmad, A. H. M., Bhat, G. M., Azim Khan, M.H., 2006, Depositional environments and diagenesis of the Kuldhar and Keera Dome carbonates (Late Bathonian- Early Callovian) of Western India. *Journal of Asian Earth Sciences*, v: 27, p: 765-778.
- Ahr, W.M., 2008, *Geology of Carbonate Reservoir*, John Wiley and Sons. Inc, 277p.
- Amthor, J.E., Freidman, G.M., 1992, Early- to late - diagenetic dolomitization of platform carbonates: Lower Ordovician Ellenburger Group, Permian Basin, West Texas: *Journal of Sedimentary Petrology*, v: 62, p: 131-144.
- Asadi Mehmandosti, E., Adabi, M.H., Woods, A.D., 2013, Microfacies and geochemistry of the Middle Cretaceous Sarvak Formation in Zagros Basin, Izeh Zone, SW Iran. *Sedimentary Geology*, v: 293, p: 9-20.
- Brigaud, B., Durllet, C., Deconinck, J., Vincent, B., Puceat, E., Thierry, J., Trouiller, A., 2009, Facies and climate/environmental changes on a carbonate ramp: A sedimentological and geochemical approach on Middle Jurassic carbonates (Paris Basin, France). *Sedimentary Geology*. v: 222, p:181-206.
- Choquette, P.W., Pray, L.C., 1970, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. v:54, p:207-250.
- Dickson, J.A.D., 1965, A modified staining technique for carbonate in thin section, *Nature*, 205:587.
- Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in: classification of carbonate rocks, Ham, W. E (ed.), *American Association of Petroleum Geologists Memoir*1, p:108-121.
- El- Saiy, A.K., Jordan, B.R., 2007, Diagenetic aspects of Tertiary carbonates west of Northern Oman Mountains, United Arab Emirates. *Journal of Asian Earth Sciences*, v: 31, p: 35-43.
- Flügel, E., 2010, *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer verlag, New York, 996 p.
- Insalaco, E., Virgone, A., Courme, B., Gaillot, J., Kamali, M., Moallemi, A., Lotfpour, M., Monibi, S., 2006, Upper Dalan Member and Kangan Formation between the Zagros Mountains and offshore Fars, Iran: Depositional system, biostratigraphy and stratigraphic architecture: *GeoArabia*, v: 11, p:75-176.
- James, N.P., Choquette, P.W., 1990, Limestones-the sea floor diagenetic environment: In 1. McIlreath, A., Morrow, D.W. (eds.), *Diagenesis*, Geological Association of Canada.
- Koehler, S.B., Heymann, C., Prousa, F., Argner, 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*. v: 27. P: 386-411.
- Larsen, B., Gudmundsson, A., Grunnalleite, I., Saalen, G., Talbot, M.R., Buckley, S.J., 2010, Effects of sedimentary interfaces on fracture pattern, linkage, and cluster formation in peritidal carbonate rocks. *Marine and Petroleum Geology*. v: 27, p: 1531-1550.
- Lonoy, A., 2006, Making sense of carbonate pore system. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v: 90, p: 1381-1405.
- Martini, R., Cirilli, S., Saurer, C., Abate, B., Ferruzza, G., Lo Cicero, G., 2007, Depositional environment and biofacies characterization of the Triassic (Carnian to Rhaetian) carbonate succession of Punta Bassano (Marettimo Island, Sicily). *Facies*, v: 53(3), p:390-400.
- Moore, C.H., 2001, *Carbonate Reservoirs: Porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework*. *Developments in Sedimentology*, Amsterdam (Elsevier), v: 55, 460 p.
- Rahimpour-bonab, H., Esrafil-Dizaji, B., Tavakoli, V., 2010, Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gasfield, offshore Iran: controls on reservoir quality, *Petroleum Geology*, v:33, p:1-24.
- Rasser, M., Scheibner, C., Mutti, M., 2005, A paleoenvironmental standard section for Early Ilerdian tropical carbonate factories (Corbieres, France; Pyrenees, Spain). *Facies*, v:51, p:217-232.
- Reading, H.G., 1996, *Sedimentary Environments: processes, facies and stratigraphy*. Blackwell Science, Inc. 688 p.
- Slowakiewicz, M., Mikołajewski, Z., 2011, Upper Permian dolomite microbial carbonates as potential source rocks for hydrocarbons (W Poland). *Marine and Petroleum Geology*. xxx. p:1-20.
- Sibley, D.F., Gregg, J.M., 1987, Classification of dolomite rock texture. *Journal of Sedimentary Petrology*, v: 57, p: 967-975.
- Tavakoli, V., Rahimpour-bonab, H., Esrafil-Dizaji, B., 2011, Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach, *Geoscience*, v: 343, p:55-71.
- Tucker, M.E., Wright, V.R., 1990, *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Science, Oxford, 482 p.
- Tucker, M.E., Calvet, F., Hunt, D., 1993, Sequence stratigraphy of carbonate ramps, system tracts, models and application to the Muschelkalk carbonate platforms of Eastern Spain. In *Sequence Stratigraphy and Facies Associations* (H, W, Posamentier, C. P. Summerhayes, B. U. Haq and G. P. Allen, Eds.), 397-415 p.
- Warren, J., 2000, Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations. *Earth Science Reviews*, v: 52, p: 1-81.
- Warren, J.K., 2006, *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Springer Verlag, 1035 p.
- Zeeh, S., Geng, A., 2001, Entstehung und diagenese von dolomite in der Muschel kalk- Gruppe (Mitteltrias) SW- Deutschlands. *Neues Jahrbuch for Geology and Paleontology Abhandlungen*. v: 221, p:359-395.
- Zeigler, M. A., 2001, Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrence. *Geo Arabia*, v: 6, no: 3, p: 445-504.
- Lucia, F. J., 1995, Rock-fabric/ Petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization: *American Association of petroleum Geologists Bulletin*, v:79, p: 1275-1300.
- Lucia, F. J., 1999, *Carbonate reservoir characterization: Berlin Heidelberg*, Springer Verlag, 226 p.