پژوهشهای چینه نگاری و رسوب شناسی
سال بیست و هفتم – شماره پیاپی (۴۴) – شماره سوم – پاییز ۱۳۹۰
تاریخ وصول: ۸۹/۷/۴ تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۶
صص ۱۶ -۱

عوامل کنترل کننده خصوصیات مخزنی رخساره‌های اوئیدی و مادستونی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی

غلامرضا حسین‌یار، *کارشناس ارشد، دانشگاه تهران* *

حسین رحیم‌پوربناب، *استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه تهران*

چکیده

سازندکنگان (تریاس پیشین) به همراه سازند دالان بالایی مهمترین سنگ مخزن گای ایران را تشکیل میدهند. بررسی رخساره‌های موجود در سازند کنگان نشان می‌دهد که بطور کلی دو نوع رخساره‌ی اوئیدی-گرینستونی و مادستونی-دولومادستونی بیش از ۷۵ درصد از رخساره‌های این سازند را تشکیل می‌دهند. بنابراین شناسایی فرایندهای کنترل کننده کیفیت مخزنی در این رخساره‌ها می‌تواند کمک زیادی در پیش‌بینی توزیع خصوصیات مخزنی سازند داشته باشد. در این مطالعه، ابتدا رخساره‌های میکروسکوپی و محیط‌رسوبی این دو گروه رخساره‌ای شناسایی شده و سپس تاثیر فرایندهای مختلف رسوبی و دیاژنزی کیفیت مخزنی رخساره‌ها با رسم نمودارهای تخلخل-تراوایی توضیح داده شده است.نتایج حاصله نشان می‌دهد که بهترین زون‌های مخزنی از رخساره‌های دانه‌غالب تشکیل شده‌اند و انحلال آلوکم‌ها در این رخساره‌ها و نیز دولومیتی شدن باعث افزایش خصوصیات مخزنی سازند کنگان شده است. در حالی که سیمانی شدن کلسیتی، انیدریتی شدن و تراکم سبب کاهش کیفیت مخزنی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: محیط‌های رسوبی، دیاژنز، کیفیت مخزنی، کنگان، پارس جنوبی

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۶۴۵۱۷۱۱ Email: G.r.hosseinyar@gmail.com

مقدمه

تنوع زیاد خصوصیات مخزنی در کربناتهای تشکیل شده در محیط کم‌عمق امری متداول است (Lucia 2007; Moore 2001)؛ که این تنوع تاثیر فرایندهای مختلف رسوبی ، شرایط محیطی و فرایندهای دیاژنزی را منعکس می‌نماید (Vincent et al. 2007) توالی پرمین بالایی-تریاس زیرین در خاورمیانه بعنوان مخازن اصلی گاز در این منطقه بشمار می‌آیند. در ایران سازندهای دالان بالایی (پرمین پسین) و کنگان (تریاس پیشین) در جنوب کشور و خلیج فارس در حدود ۱۸ درصد از منابع گازی جهان را دارا هستند (Kashfi 2000). این دو سازند بدلیل شباهت لیتولوژیکی، ارتباط هیدرولیکی و خصوصیات مخزنی نزدیک، معمولا با هم در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۱). با توجه به مطالعات انجام شده، مشخص شده است که این دو سازند در دوره پرمین براثر بازشدگی و گسترش قاره‌ای در طول زون برخورد زاگرس امروزی و خلیج عمان شروع به تشکیل نموده‌اند. به عبارت دیگر در ارتباط با یک واقعه تکتونو-ائوستازی که با فرونشست گرمایی و سریع حاشیه غیرفعال نئوتتیس آغازی در عربستان و ایران همراه بوده تشکیل شده‌اند (Zeigler 2001; Angiolini et al. 2003; Insalaco et al. 2006).

بر اساس مطالعات پیشین (Insalaco et al. 2006; Rahimpour 2007; Rahimpour et al. 2009; Rahimpour-Bonab et al. 2010; Tavakoli et al. 2011) و مطالعه حاضر در میدان پارس جنوبی (شکل ۱)، سازند کنگان در ۵ کمربند رخساره‌ای تشکیل شده است که عبارتند از: کمربندهای رخساره‌ای سبخایی، پهنه جزرومدی، لاگون، پشته‌های ماسه‌ای و دریای باز؛ که به یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ (با شیب یکنواخت) مربوط می‌شوند. در مقطع مورد مطالعه سازند کنگان شامل ۱۷۰ متر (بطور متوسط) تناوب سنگ‌های آهکی - دولومیتی همراه با میان‌لامینه‌هایی از انیدریت می‌باشد. بخش پایینی این سازند دارای سنگ‌شناسی آهکی در بخش میانی سنگ‌شناسی دولومیتی-آهکی همراه با انیدریت و بخش بالایی دولومیت همراه با میان‌لامینه‌های انیدریتی و آهکی است (Alsharhan and Nairn 1997; Insalaco et al. 2006; Ehrenberg et al. 2007; Esrafili-Dizaji and Rahimpour-Bonab 2009; Rahimpour-Bonab et al. 2010) (شکل ۱).

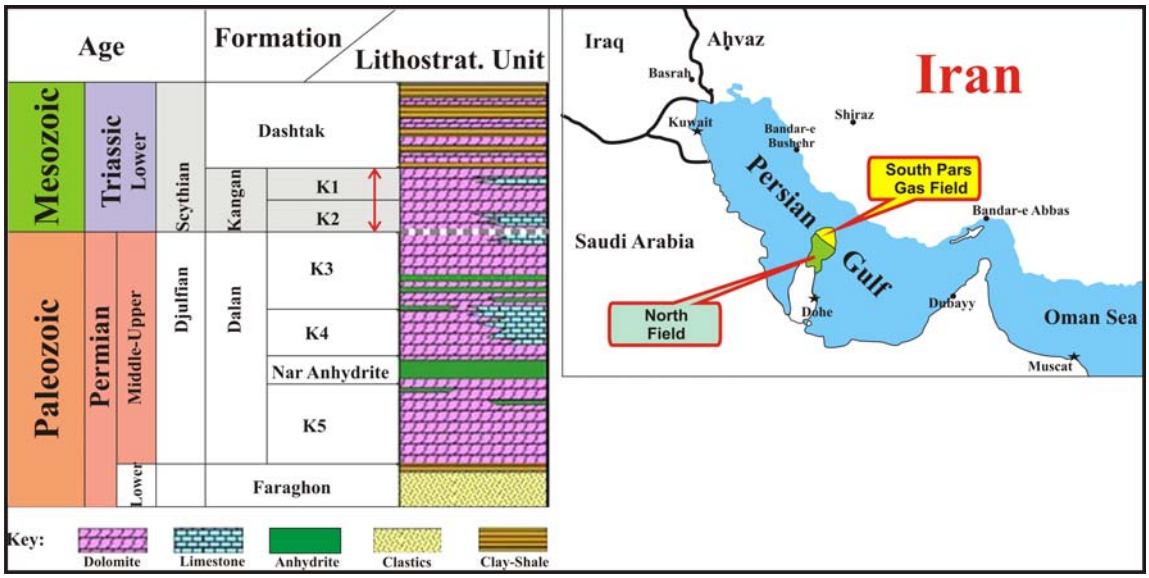
در این مطالعه سعی شده است تا عوامل کنترل کننده خصوصیات مخزنی دو گروه رخساره‌های اوئیدی-گرینستونی و مادستونی، که بیشترین فراوانی را در این سازند دارند، و مقدار تأثیر هر یک مشخص گردد.

روش مطالعه

در این مطالعه به منظور شناسایی انواع رخساره‌ها و تعیین محیط‌رسوبی از مطالعات پتروگرافی استفاده شده است. به این منظور از دو چاه A و B که به ترتیب دارای ۴۱۷و۳۷۱ متر مغزه بودند ۲۰۵۰ عدد مقطع نازک میکروسکوپی با فاصله ۳۵ سانتی‌متری (به طور متوسط) تهیه شد. به منظور تفکیک رخساره‌های آهکی از دولومیتی کلیه مقاطع نازک با محلول آلیزارین رد-اس (Alizarin Red-S) رنگ آمیزی شدند (Dickson 1965). جهت بررسی دقیقتر انواع تخلخل به تعدادی از نمونه‌های با تخلخل و تراوایی بالا اپوکسی آبی (Blue epoxy resin) نیز تزریق شده است.

برای تقسیم‌بندی محیط‌های رسوبی از مدل بورچت و رایت (Burchette and Wright 1992) تصحیح شده توسط فلوگل(Flugle 2004) استفاده شده است. در این مطالعه، بافت‌های رسوبی بر اساس طبقه‌بندی دانهام (Dunham 1962) نامگذاری شدند. در تقسیم بندی انواع رخساره‌ها نیز از طبقه‌بندی ویلسون (Wilson 1975) و

باکستون و پدلی (Buxton and Pedley 1989) که فلوگل (Flugel 2004) آن را تصیح نموده، استفاده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ستون چینه‌شناسی سازند کنگان در میدان گازی پارس جنوبی

میکروفاسیس و محیط‌های رسوبی رخساره‌های مورد مطالعه

دو نوع رخساره مورد مطالعه (اوئیدی، مادستونی) درسازند کنگان به ترتیب بیش از ۵۵ درصد و بیش از ۲۰ درصد ضخامت کل این سازند را تشکیل داده‌اند. این دو نوع رخساره بر اساس مطالعات صورت گرفته به ۷ میکروفاسیس تقسیم شدند:

رخساره میکروسکوپی انکوئید-اوئید- اینتراکلست- بایوکلست گرینستون تا دولوگرینستون دانه‌درشت تا متوسط

این رخساره شامل اوئید، اینتراکلست‌هایی از نوع اوئیدی، بایوکلستی و مادستونی همراه با بایوکلست‌هایی از نوع بریوزوئر، دوکفه‌ای و گاستروپودهای متوسط تا درشت می‌باشند. این رخساره‌ها نشانگر حضور انرژی زیاد بوده و معمولا در ارتباط با محیط‌های جلو پشته سدی هستند، که در قسمت رو به دریای شول‌ها تشکیل می‌شوند و مربوط به محیط رمپ درونی هستند (Flugel 2004). این رخسار فراوانی کمی داشته و بیشتر در بخش‌های پایینی سازند کنگان حضور دارد. مهمترین تخلخل ایجاد شده در این رخساره‌ها از نوع بین‌دانه‌ای و قالبی است که همراه با آنها انواع پناهگاهی، بین‌بلوری و درون‌دانه‌ای نیز حضور دارد و سیمان عمده در این رخساره‌ها از نوع حاشیه‌ای هم-ضخامت، تیغه‌ای و هم‌بعد است. شواهد پتروگرافی نشان می‌دهد که در این رخساره‌ها و بویژه در انکوئیدها و اینتراکلست‌های دانه‌درشت، قالب دانه‌ها پس از انحلال توسط سیمان کلسیتی تدفینی نیمه عمیق تا عمیق پر شده است و در مواردی بدون انحلال و بر اثر تبلور مجدد

میکرایت، قالب آنها با بلورهای متوسط تا نسبتا درشت سیمان کلسیتی پر شده است (شکل ۲-الف).

رخساره میکروسکوپی اوئید - بایوکلست گرینستون تا دولو گرینستون متوسط تا دانه درشت

در این رخساره، اوئیدها از نوع ساده و در موارد کمی از نوع مرکب می‌باشند. گاستروپودها، دوکفه‌ای‌ها و فرامینیفرهای بنتیک، بایوکلست‌ها را تشکیل می‌دهند. پشته-های ماسه‌ای موجود در رمپ درونی به عنوان محیط‌رسوبی این نوع رخساره‌ها در نظر گرفته می‌شوند (Flugel 2004). معمولا جورشدگی در این رخساره‌ها بدلیل انرژی زیاد، متوسط تا خوب می‌باشد. پوشش میکرایتی در مواردی در آلوکم‌های اوئیدی دیده می‌شود که حاکی از پایین بودن انرژی در این موارد است (البته بطور کلی انرژی در این رخساره‌ها بیشتر است) والبته در مواردی نیز مربوط به فرایندهای دیاژنزی است. تخلخل اصلی موجود در این رخساره شامل تخلخل بین‌دانه‌ای و قالبی است؛ و تخلخل-های نوع بین‌بلوریو پناهگاهی از دیگر انواع تخلخل بشمار می‌آیند. در این رخساره‌ها نیز دولومیتی شدن انتخابی توسعه زیادی دارد و دانه‌های اوئیدی معمولا بدین طریق دولومیتی شده‌اند. سیمان متداول در این رخساره‌ها از نوع سوزنی، تیغه‌ای و هم‌بعد می‌باشد که فضای بین‌دانه‌ای را از بین برده است. همچنین دولومیت در تدفین عمیق (بویژه در بخش‌های فوقانی توالی) با بلورهای نسبتا درشت (۵۰-۲۰۰ میکرون) بطور بخشی قالب اوئیدها را پر کرده و سبب کاهش تخلخل شده است (شکل ۲-ب). انیدرت در این رخساره عمدتا از طریق سیمان فضای بین دانه‌ای را پر نموده است.

رخساره میکروسکوپی پلوئید- اوئید- بایوکلست پکستون تا گرینستون دانه‌ریز

این رخساره از آلوکم‌های اوئید، پلوئید و بایوکلست‌هایی از نوع فرامینیفرهای بنتیک، گاستروپود و جلبک‌های سبز همراه با اینتراکلست تشکیل شده است. به دلیل تغییرات انرژی از جورشدگی ضعیفی برخوردارند. از نظر محیط-رسوبی این رخساره متعلق به قسمت رو به خشکی پشته‌های زیرآبی و درحقیقت بین محیط لاگون و پشته‌های زیرآبی می‌باشد (Buxton and Pedley 1989; Flugel 2004). بدلیل دولومیتی شدن، انحلال و میکرایتی شدن و تبلور مجدد پلوئیدها، تشخیص پلوئیدهای موجود در برخی موارد بسیار دشوار است. نوع تخلخل در این رخساره‌ها عمدتا از نوع قالبی است. دولومیتی شدن در آنها معمولا گسترش زیادی دارد ولی اندازه بلورهای آن کمتر از ۲۰ میکرون می‌باشد. فضای بین دانه‌ای توسط میکرایت و یا سیمان هم-بعد ریز که در مرحله دیاژنزی متئوریک تشکیل شده‌اند، پر شده است. انیدریت معمولا از طریق جانشینی با بافت پوئی-کلیوتوپیک و گسترش زیاد معمولا در مراحل اولیه تدفین تشکیل شده است (شکل ۲- ج).

رخساره میکروسکوپی دولومادستون -مادستون تا وکستون

این رخساره حاوی خرده‌های فسیلی است که عموما از نوع جلبک‌سبز و فرامینیفر می باشند. ترک‌های گلی موجود در برخی رخساره‌ها ا توسط انیدریت پر شده‌اند. آشفتگی زیستی در این رخساره از دیگر فرایندهای دیاژنزی است. بدلیل ارتباط با شورابه‌های تبخیری اکثر این رخساره‌ها در مرحله اولیه دیاژنز دولومیتی شده‌اند (Rahimpour-Bonab et al. 2010). تخلخل نوع فنسترال موجود در این رخساره توسط سیمان انیدریتی پر شده است (شکل ۲- د). این رخساره در ناحیه بین جزرومدی رسوب کرده که معمولا به سمت حوضه تبدیل به رخساره‌های لاگونی می‌شود ولی در

برخی قسمت‌ها از جمله واحد K1 تبدیل به رخساره پشته-های ماسه‌ای نزدیک به ساحل می‌گردد (Flugel 2004).

رخساره میکروسکوپی دولومادستون همراه با انیدریت

در این رخساره انیدریت به اشکال گوناگون از جمله بلورهای ژیپس و انیدریت که به سمت منطقه بالای پهنه جزر و مدی به ندول‌های انیدریت تبدیل می‌شود، حضور دارد و در برخی قسمت‌ها انیدریت به طور کامل جایگزین رخساره اصلی شده است (شکل ۲- و). این رخساره در مراحل اولیه دولومیتی شده است (Moore 2001; Mazzullo 2004). این رخساره بدلیل همراهی با انیدریت و ژیپس به قسمتهای بالایی پهنه جزر و مدی (Pritidal to Supratidal) مربوط می‌شود (Flugel 2004). میزان تخلخل و تراوایی در این رخساره بستگی زیادی به اندازه بلورهای دولومیت و میزان تأثیر انیدریت دارد.

رخساره میکروسکوپی مادستون (عمیق)

این رخساره مربوط به محیط عمیق (رمپ خارجی تا بخش عمیق) کربناته می‌باشد که از مشخصات اصلی آن حضور خرده‌های سوزن اسفنج و خردههای فسیلی از نوع استراکود می‌باشد (شکل ۲- ی). پیریت و کانی‌های رسی و تیره از سایر دانه‌های موجود در این رخساره است که از فراوانی کمی برخوردارند. لیتولوژی آهکی دارند و سیمان انیدریت در اینها گسترش کمی دارد و اغلب به شکل تک‌بلوری (Single) تشکیل شده بر اثر جانشینی است. تخلخل در این رخساره بسیار کم می‌باشد و معمولا از نوع بین‌بلوری در اندازه‌های کوچک می‌باشد. این رخساره متعلق به محیط عمیق رمپ کربناته بوده و از فراوانی کمی برخوردار است.

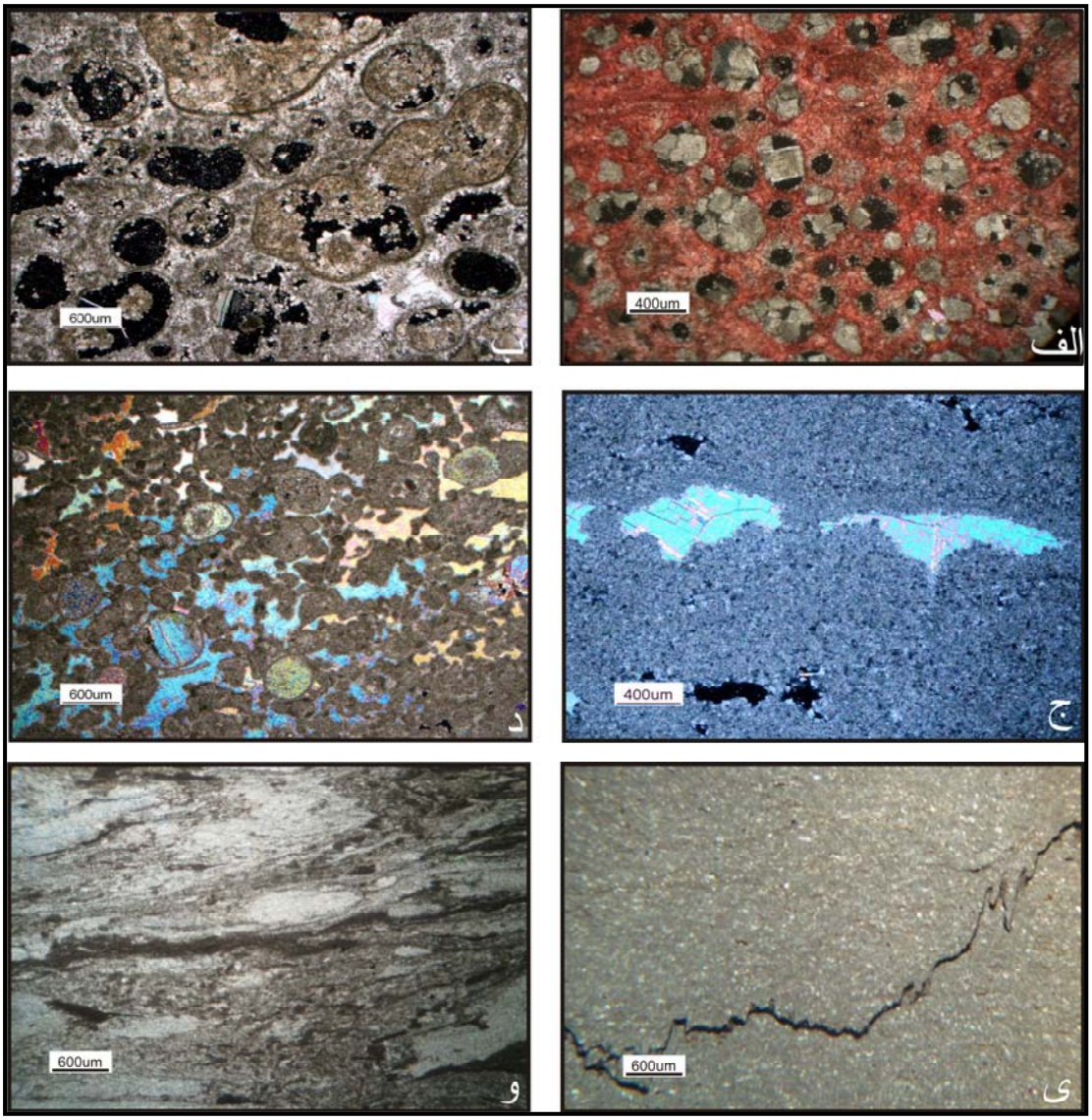
عوامل کنترل کننده خصوصیات مخزنی

تخلخل رایج در سنگهای کربناته، تخلخل بین‌دانه‌ای است که تحت تاثیر فرایندهای رسوبی در زمان تشکیل رسوبگذاری ایجاد می‌شود (Lucia 2007). خصوصیات پتروفیزیکی توسط بافت سنگ کنترل می‌شوند و عملکرد فرایندهای دیاژنزی تابع نوع لیتولوژی، شرایط ژئوشیمیایی و گسترش و نوع رخساره‌ها می‌باشد (Lucia 1999, 2007). بنابراین عوامل تاثیرگذار بر روی کیفیت مخزنی سنگ‌های کربناته را می‌توان به دو عامل اصلی تقسیم نمود: الف) فرایندها یا عوامل رسوبی و ب) فرایندهای دیاژنزی که پس از رسوبگذاری در سنگ عمل می‌کنند.

فرآیندهای رسوبی

نوع رخساره و محیط رسوبگذاری آن

رخساره‌های مختلف، تخلخل متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند. بدین صورت که تخلخل در رخساره‌های دانه‌غالب (بدلیل انرژی زیاد) معمولا از نوع بین‌دانه‌ای و بعضا پناهگاهی است ولی در رخساره‌های گل‌غالب (انرژی کم) این نوع تخلخل کم بوده و عمده تخلخل‌ها از نوع فنسترال، درون‌دانه‌ای و بین‌ذره‌ای ریز است (اندازه حفرات نیز در این رخساره‌ها متفاوت می‌باشد). نتایج حاصل از تحقیقات اینوس و ساواتسکای (Enos and Sawatsky 1981) در رسوبات مادستونی (کربناته) هولوسن نشان می‌دهد که به طور کلی افزایش تخلخل تابعی از افزایش میزان گل در رسوبات کربناته است. نوع رخساره در نوع و شدت تأثیر پدیده‌های دیاژنتیکی بسیار اثرگذار است. نوع محیط و موقعیت آن در حوضه رسوبی نیز در تغییرات ویژگی‌های مخزنی موثر بوده است بطوری که رخساره‌های نزدیک به ساحل بدلیل مجاورت و تاثیرپذیری بیشتر از سیالات هیپرسالین و سایر سیالات، فرایندهای دیاژنزی متفاوتی را متحمل شده‌اند و در نتیجه خصوصیات مخزنی آنها نیز متفاوت است.



شکل ۲- الف) رخساره میکروسکوپی انکوئید-اوئید- اینتراکلست دولوگرینستون همراه با تخلخل بین‌دانه‌ای و قالبی که بخش زیادی از فضای بین‌دانه‌ای توسط سیمان کلسیتی تیغه‌ای و سیمان انیدریتی پر شده است؛ ب) رخساره میکروسکوپی اوئید گرینستون با سیمان کلسیتی هم‌بعد ریزبلور که فضای بین‌دانه‌ای را پر نموده است. همچنین فضای خالی حاصل از انحلال قالب اوئیدها توسط سیمان دولومیتی پر شده است؛ ج) رخساره میکروسکوپی پلوئید- اوئید- بایوکلست پکستون تا گرینستون با سیمان انیدریتی که جانشین آلوکم‌ها و گل آهکی شده است؛ د) رخساره میکروسکوپی دولومادستون با فابریک فنسترال، با سیمان انیدریت پرکننده تخلخل فنسترال، تخلخل از نوع بین‌بلوری و فنسترال؛ ی) رخساره میکروسکوپی مادستون رس‌دار همراه با کانی‌های رسی و آهندار در امتداد استیلولیت؛ و) رخساره میکروسکوپی دولومادستون انیدریتی که انیدریت جایگزین رخساره اصلی شده است

در توالی مخزنی میدان پارس جنوبی، بخش‌های با کیفیت مخزنی خوب در رخساره‌های دانه‌غالب تشکیل شده‌اند؛ همچنین نرخ دولومیتی شدن و انیدریتی شدن در رخساره میکروسکوپی دولومادستون همراه با انیدریت و رخساره میکروسکوپی دولومادستون -مادستون تا وکستون که در ناحیه زیر بین جزرومدی تا قسمت های فوقانی ناحیه بین جزرومدی تشکیل شده‌اند، بسیار متفاوت‌تر از رخساره‌های گل‌غالب مربوط به قسمت‌های عمیق حوضه است (حسین-یار و همکاران ۱۳۸۸). که نشانگر تأثیر نوع رخساره در خصوصیات کیفیت مخزنی در این میدان می‌باشند.

ترکیب کانی‌شناسی

ترکیب کانی‌شناسی رسوبات در زمان رسوبگذاری، مسیر دیاژنزی را در طول تدفین تا حدودی مشخص میکند. بطوری که بدلیل آراگونیتی بودن رخساره‌های اوئیدی-گرینستونی، انحلال در اکثر این دانه‌ها گسترش زیادی داشته است و سبب ایجاد تخلخل قالبی و حفره‌ای در آنها شده است. همچنین دولومیتی شدن و سیمانی شدن کلسیتی نیز تا حدود زیادی توسط ترکیب کانی‌شناسی کنترل می-گردد.

نوع آلوکم‌ها

دانه‌ها و ذراتی که در رخساره‌های مورد مطالعه حضور دارند، تنوع زیادی نشان می‌دهند. از مهمترین آنها می‌توان به دانه‌های اوئید اشاره نمود که در ایجاد شرایط مخزنی بسیار نقش داشته‌اند. این دانه‌ها بدلیل ترکیب کانی‌شناسی آراگونیتی خود، تحت تاثیر سیالات دیاژنزی خیلی زود انحلال یافته‌اند و با انحلال خود از یک طرف باعث ایجاد تخلخل قالبی اوئیدی و از طرف دیگر انسداد تخلخل بین-دانه‌ای که در زمان رسوبگذاری در آنها تشکیل شده بود، گشته‌اند. این ذرات همچنین در برابر سایر فرایندهای دیاژنزی نیز نقش داشته‌اند، که از آن جمله می‌توان به دولومیتی شدن سریع (انتخابی که عمدتا در این دانه‌ها اتفاق افتاده است)، مقاومت زیاد در مقابل تراکم و غیره اشاره نمود. از ذرات دیگر موثر در خصوصیات دیاژنزی میتوان به دانه‌های اسکلتی گاستروپودها و فرامینیفرها و جلبک‌های سبز اشاره کرد که فراوانی زیادی داشته‌اند و نیز با تغییر ترکیب خود در کاهش تخلخل موثر بوده‌اند.

بافت

اندازه و توزیع فضای بین دانه‌ای همیشه تابعی از اندازه، شکل و جورشدگی ذرات است؛ و تغییرات خصوصیات پتروفیزیکی در رسوبات کربناته به وسیله بافت رسوبی کنترل می‌شود (Lucia 2007). همچنین وجود فضای خالی در اسکلت موجودات و پلوئیدها، میزان تخلخل را افزایش می‌دهد (Dunham 1962). در سنگ‌های کربناته اندازه ذرات به عنوان عاملی مهم در خواص پتروفیزیکی سنگ‌ها، بسیار متغیر است؛ و تراوایی تابعی از توزیع فضای خالی (که به طور مستقیم به تخلخل مربوط می‌شود)، اندازه دانه و جورشدگی است؛ و اندازه فضای خالی و توزیع آن همیشه تابعی از اندازه دانه، شکل دانه (ذرات موجود در کربناتها گستره وسیعی از نظر شکل دارند) و جورشدگی دانه‌های رسوب می‌باشد (Lucia 2007) که این موضوع در رخساره‌های گرینستونی اوئیدی مشهود می‌باشد ولی فرایندهای دیاژنزی تأثیر زیادی بر آن گذاشته است . در سازند کنگان نتایج حاصل از سیمانی شدن، تراکم، انحلال انتخابی و تبلور مجدد با بافت رسوبی مرتبط می‌باشند.

فرآیندهای دیاژنزی

فرایندهای دیاژنزی بسیاری از ویژگی‌های پتروفیزیکی سنگ‌های رسوبی به ویژه کربنات‌ها را تغییر می‌دهند. به طور کلی دیاژنز باعث کاهش تخلخل، تغییر توزیع فضاهای خالی و ماهیت گلوگاه‌ها شده و تراوایی را تغییر می‌دهد (Lucia 2007). فرایندهای دیاژنزی صورت گرفته در

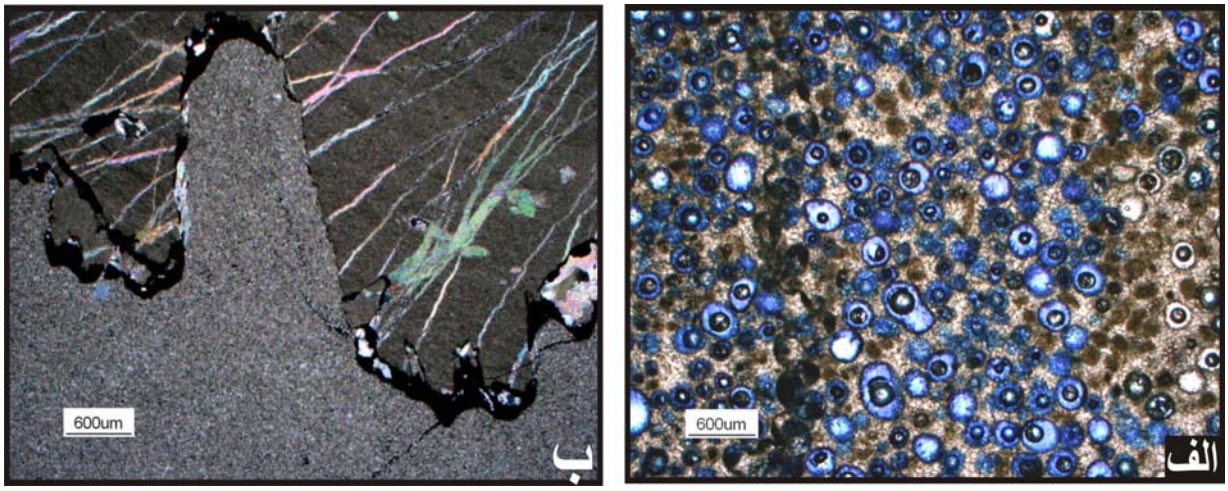
توالی دالان بالایی و کنگان شامل تبلور مجدد، سیمانی شدن کلسیتی، تراکم فیزیکی و شیمیایی، انحلال انتخابی، دولومیتی شدن، تشکیل سیمان‌های سولفاته و شکستگی می‌باشد که در طول توالی یک یا چند نوع از این فرایندها صورت گرفته است. برخی از این فرایندها در ارتباط با بافت‌های رسوبی و محیط‌رسوبی (همانند انحلال انتخابی، تبلور مجدد و تراکم) هستند، در حالی که فرایندهایی همچون سیمانی شدن کلسیتی، دولومیتی شدن و سیمانی شدن سولفاته ارتباط چندانی با محیط رسوبی ندارند (Machel 2005; Lucia 2007).

انحلال

این فرایند باعث ایجاد تخلخل قالبی و حفره‌ای می‌گردد (Saller and Henderson 1998; Lucia 2007) از مهمترین فرایندهای ایجاد کیفیت مخزنی در رخساره‌های اوئیدی وبه طور کلی مهمترین عامل در ازدیاد کیفیت مخزنی این رخساره‌ها در میدان پارس جنوبی است. این فرایند عمدتا در محیط دیاژنزی متئوریک عمل کرده است که بر اثر آن قالب دانه‌های اوئید و بعضا خرده‌های اسکلتی موجود (همانند گاستروپود و فرامینیفرها و نیز دوکفه‌ایها) انحلال یافته و تخلخل قالبی در این رخساره گسترش یافته است (شکل ۲-الف، ب؛ ۳- الف و ۴- الف). در توالی مورد مطالعه انحلال در تدفین عمیق نیز صورت گرفته است که انحلال در امتداد شکستگی‌ها و استیلولیت‌ها، انحلال سیمان انیدریتی و سیمان کلسیتی تشکیل شده در مراحل قبلی دیاژنز در بخشی از توالی در برخی از رخساره‌ها و نیز پر شدن شکستگی‌ها توسط سیمان کلسیتی نشانگر تاثیر انحلال در مرحله تدفین و انحلال مزوژنتیکی است. انحلال گسترده رخساره‌های گرینستونی سبب از بین رفتن فابریک اولیه سنگ شده و ازدیاد کیفیت مخزنی را به همراه داشته است (شکل ۵ و ۶). در رخساره‌های گل‌غالب و بخصوص انواع دولومیتی آنها نیز این فرایند صورت گرفته و باعث ایجاد تخلخل حفره‌ای و بعضا قالبی‌در دانه‌های اسکلتی موجود در این رخساره‌ها شده است (Buyukutku 2009).

فشردگی و تراکم

در سازند کنگان تراکم فیزیکی و شیمیایی تأثیرنسبتا زیادی داشته است که می‌توان نتایج حاصل از این دو فرایند را در رخساره‌های مختلف مشاهده نمود. تراکم فیزیکوشیمیایی باعث ایجاد شرایط انحلال فشاری در هر دو نوع رخساره-های مورد مطالعه شده است بطوری که تشکیل استیلولیت‌ها و رگه‌های انحلالی در رخساره‌های گرینستونی و بویژه رخساره‌های مادستونی (و دولومادستونی) حاصل عملکرد این فرایندها بوده است (شکل ۳- ب). همچنین کاهش ضخامت و از دست دادن تخلخل اولیه رخساره‌های مادستونی از نتایج آن می‌باشد. در رخساره‌های گرینستونی تراکم فیزیکی نسبتا کم بوده است ولی در مواردی که فضای بین دانه‌ای فاقد سیمان بوده، تماس دانه به دانه ایجاد شده و نیز شکل دانه‌های اوئید تغییر یافته و بعضا خرد شده است (اوئیدهای اسپاستولایتی (Spastolith)). از تاثیرات دیگر تراکم در رخساره‌های گرینستونی، کاهش اندازه فضاهای خالی هست که در کاهش تخلخل و تراوایی موثر بوده است.



شکل ۳- الف) انحلال دانه‌های اوئید و تشکیل حفرات قالبی در رخساره‌ی گرینستون اوئیدی، که ازدیاد تخلخل را به همراه داشته است (نمونه توسط اپوکسی آبی رنگ‌آمیزی شده است)؛ ب) تشکیل استیلولیت در سنگ دولومادستونی در اثر فشردگی فیزیکوشیمیایی؛ تشکیل رگچه‌های انیدریتی در جهت عمود بر امتداد استیلولیت و در یک سمت آن ونیز شروع رگچه‌ها از محل استیلولیت نشانگر عبور شورابه انیدریتی از امتداد استیلولیت می‌باشد.

سیمانی شدن کلسیتی

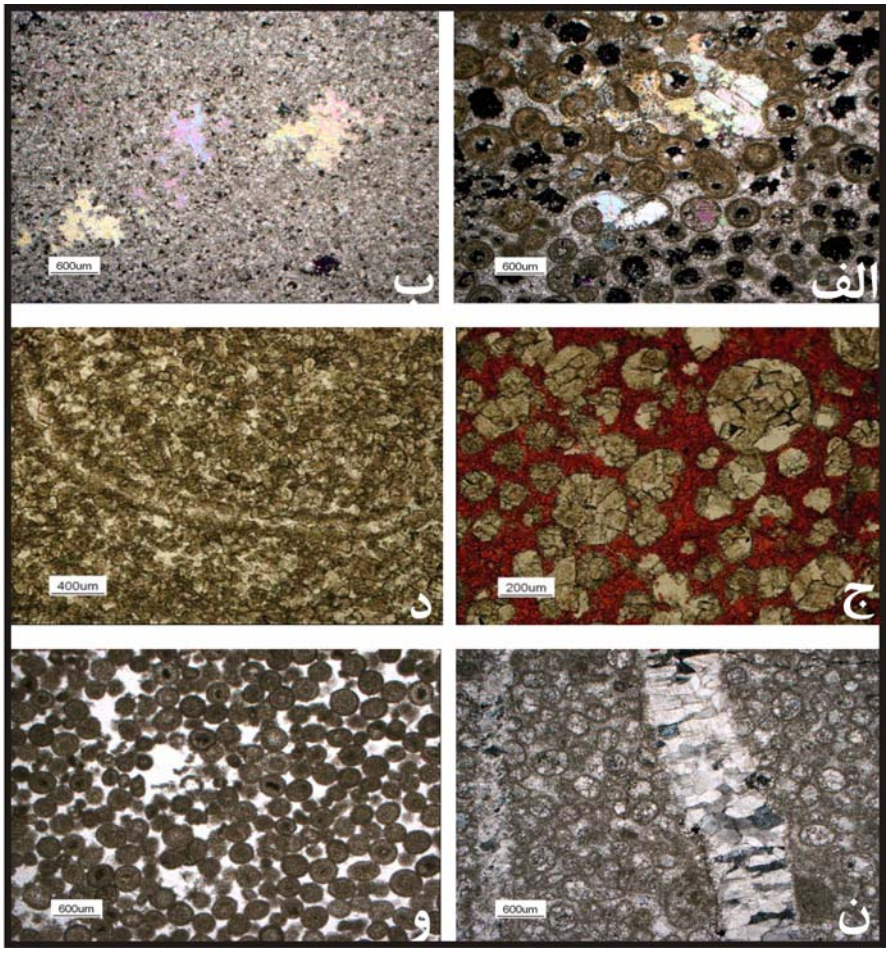
سیمان‌های کلسیتی تشکیل شده در سازند کنگان شامل انواع ایزوپکوس، تیغه‌ای، هم‌بعد، دروزی و درشت بلور می‌باشد. در میدان پارس جنوبی، سیمان کلسیتی هم‌بعد بین‌دانه‌ای یکی از تاثیرگذارترین فرایندهای دیاژنزی در رخساره‌های اوئیدی بوده است. بطوری که با تشکیل این سیمان در فضای بین دانه‌ای، تخلخل بین دانه‌ای این رخساره‌ها از بین رفته و یا در مواردی که شدت آن کم بوده است باعث کوچک شدن حفرات خالی شده است. تشکیل سیمان کلسیتی در محیط‌های مختلفی اتفاق افتاده که سیمان کلسیتی مربوط به محیط متئوریک فراوانی و تاثیر بیشتری نسبت به سایر سیمان‌های کلسیتی داشته است. در نتیجه، بر اثر این فرایند میزان تخلخل کم شده (عمدتا) و تراوایی به شدت کاهش یافته است (شکل ۳- الف و ۴- الف، ن).

دولومیتی شدن

دولومیتی شدن فرایند تغییر شیمیایی و کانی‌شناسی از کربنات کلسیم (کلسیت کم منیزیم و پرمنیزیم و آراگونیت) به کربنات منیزیم-کلسیم (دولومیت) می‌باشد (Sun 1995; Saller and Henderson 1998; Moore 2001; Flugel 2004). با این حال تاثیر آن بر روی خصوصیات مخزنی رخساره‌ها متفاوت است. عقیده بر این بوده است که دولومیتی شدن میزان تخلخل را افزایش می‌دهد ولی کارهای لوسیا و ماژور (Lucia and Major 1994) نشان داد که دولومیتی شدن در محیط‌های نزدیک سطح زمین سبب کاهش تخلخل می‌گردد.

تخلخل موجود در دولوستون‌ها تابعی است از : الف) تخلخل اولیه کربنات‌های آهکی دانه‌درشت، ب) میزان دولومیتی‌شدن بیش از حد (Overdolomitization)، ج) تراکم، د) سیمانی شدن بعدی توسط سیالات دولومیتی تاخیری و ی) منشاء یون کربنات (Sun 1995; Jones and Xiao 2004; Lucia 2007). باید توجه داشت که

دولومیتی‌شدن باعث افزایش اندازه دانه‌ها، افزایش مقاومت در برابر تراکم، توسعه تخلخل قالبی و کاهش حجم تخلخل (در صورت دولومیتی شدن بیش از حد) می‌گردد؛ و بطور کلی، دولومیتی‌شدن، تخلخل‌های موجود را به یکدیگر ارتباط داده و لذا تراوایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Lucia 2004).



شکل ٤ - الف) رخساره اوئیدی متوسط تا دانه درشت،که بخشی از تخلخل بین دانه‌ای و قالبی توسط سیمان کلسیتی و انیدریت پر شده است؛ ب) رخساره دولومادستونی با تخلخل بین‌بلوری و حفره‌ای که بخشی از آن توسط انیدریت از بین رفته است؛ ج) رخساره اوئیدی متوسط تا دانه درشت که فضای بین دانه‌ای با کلسیت هم‌بعد متئوریکی و قالب اوئیدها توسط سیمان دولومیتی پرشده است؛ د) رخساره دولومادستون تا وکستون که دولومیتی شدن بیش از حد در آن اتفاق افتاده است ن) رخساره اوئیدی متوسط تا دانه ریز که سیمان انیدریتی فضای بین دانه‌ای را بطور کامل پر نموده است؛ و) رخساره اوئیدی متوسط تا دانه ریز که فضای بین دانه‌ای، قالب اوئیدها و کانال موجود توسط کلسیت تدفینی پر شده‌اند.

در سازند کنگان (در میدان پارس جنوبی) بدلیل حضور انیدریت، دولومیتی‌شدن رخساره‌های دانه‌افزون تاثیر چندانی در افزایش تخلخل نداشته است، با دولومیتی‌شدن رخساره‌های دانه‌افزون مقاومت آنها در برابر تراکم بیشتر شده و تخلخل خود را تا حدودی حفظ کرده‌اند؛ ولی از طرفی دولومیتی شدن همراه با ورود سیالات سولفاته به سیستم بوده و در اثر آن در بخشی از توالی رخساره‌های دانه‌افزون، تخلخل باقی مانده توسط سیمان انیدریتی از بین رفته است. همچنین در پاره‌ای از رخساره‌های دانه‌افزون که به طور بخشی و در اثر ورود سیالات دولومیتی سیمانی شده‌اند، سیمان دولومیتی با بلورهای متوسط تا نسبتا درشت تخلخل‌های قالبی و حفرات خالی دیگر را پر نموده است (شکل۴- ج). در رخساره‌های گل‌افزون دولومیتی‌شدن عمدتا در جهت افزایش کیفیت مخزنی عمل نموده است؛ بدین صورت که با گسترش دولومیتی شدن تخلخل‌ها و حفرات خالی موجود، ارتباط بیشتری پیدا نموده‌اند و تراوایی افزایش یافته است. با افزایش اندازه بلورهای دولومیت در رخساره‌های گل‌افزون خواص مخزنی افزایش پیدا کرده است. دولومیتی‌شدن بیش از حد در سازند کنگان در هر دو رخساره اتفاق افتاده است ولی فراوانی و گسترش آن کم می‌باشد (شکل‌های ۴- د، ۶ و ۷).

انیدریتی شدن

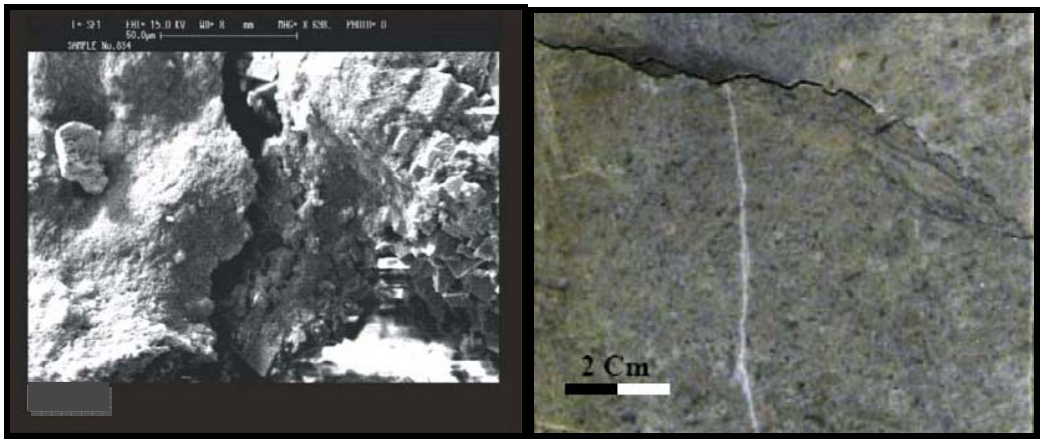
انیدریت معمولا همراه با دولومیتی شدن بوده و مستلزم ورود سولفات به سیستم از آب‌های هیپرسالین می‌باشد (Warren 2000; El-Tabakh et al. 2004; Lucia 2007). انیدریت دیاژنزی همانند اغلب تبخیری‌ها تغییرات بافتی زیادی را نشان می‌دهد که بطور خلاصه عبارتند از: انیدریت پوئی‌کیلیوتوپیک، نودولار، پرکننده حفرات خالی، لایه‌ای و تک بلوری (Warren 2006; Lucia 2007). انیدریت پوئی‌کیلیوتوپیک و نودولار تخلخل را کاهش می‌دهند ولی در اندازه گلوگاه‌ها اثر چندانی ندارد؛ در حالی که انیدریت های پرکننده حفرات با از بین بردن تخلخل بین دانه‌ای، بین‌بلوری و قالبی سبب کاهش شدید تخلخل و تراوایی می‌شوند.

در سازند کنگان انیدریت به دو شکل اولیه و دیاژنزی تشکیل شده است. انیدریت در رخساره‌های دانه‌افزون و گل‌افزون با بافت‌های پوئی‌کیلیوتوپیک، نودولار، پرکننده حفرات خالی، لایه‌ای و تک بلوری تشکیل شده است. که انواع تک‌بلوری فقط در رخساره‌های گل‌افزون و بیشتر در منطقه پهنه جزرومدی و دولومادستون‌های محیط عمیق تشکیل شده است، وسایر بافت‌های موجود در هر دو نوع رخساره مشاهده می‌شود. در رخساره‌های دانه‌افزون انیدریت (سیمان) با پرکردن فضای بین‌دانه‌ای در مراحل اولیه تدفین رسوبات، تخلخل و تراوایی را کاملا از بین برده وسبب از دست دادن کیفیت مخزنی آنها شده است (شکل ۲- د، ۴- و). البته در مواردی نیز انحلال انیدریت باعث ایجاد فضای خالی شده که تاثیر زیادی در خصوصیات مخزنی این رخساره‌ها نداشته است. در رخساره‌های گل-افزون، انیدریت‌هایی که از طریق سیمان و با پر کردن فضای بین‌بلوری تشکیل شده‌اند، تاثیر زیادی در کاهش تخلخل و تراوایی این واحدها گذاشته‌اند (شکل ۴- ب، ۷). انیدریت برخی از شکستگی‌ها را نیز (بویژه در دولومادستون‌ها) پر کرده و تراوایی را کاهش داده است. همچنین در امتداد استیلولیت‌ها و رگچه‌های انیدریتی که

عمدتا عمود بر استیلولیت‌ها هستند، نیز تشکیل شده است (شکل ۳- ب).

شکستگی

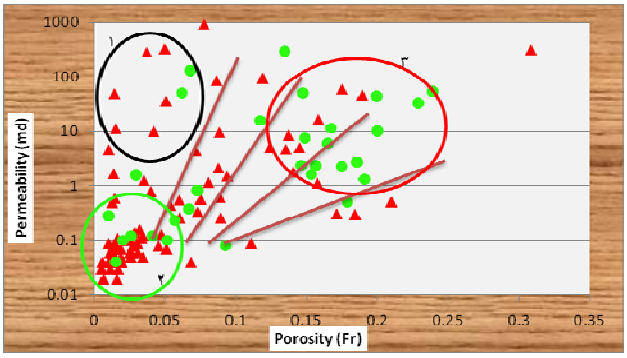
شکستگی‌ها از جمله فرایندهایی هستند که می‌توانند تغیرات زیادی در کیفیت مخزنی رخساره بویژه تراوایی آنها داشته باشند. در سازند کنگان شکستگی‌ها در رخساره-های دولومیتی شده نسبت به رخساره‌های آهکی بیشتر است که بدلیل مقاومت بالای دولومیت در برابر فشار می‌باشد (Moore 2001). ولی معمولا توسط انیدریت و کلسیت پرشده‌اند. در مواردی نیز شکستگی‌ها باعث ارتباط فضاهای خالی مجزا شده و تراوایی را افزایش داده‌اند که در نمودارهای تخلخل-تراوایی تهیه شده برای رخساره‌های موجود، توزیع غیرعادی برخی رخساره‌ها را می‌توان به حضور شکستگی‌های بدون‌پرشدگی مربوط دانست(شکل ۴- ن، ۵ و ۷).



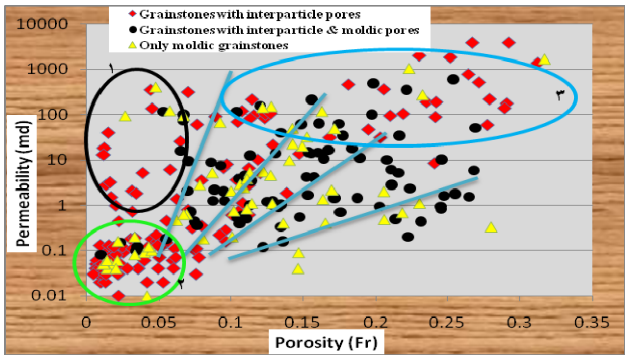
شکل ۵- سمت راست) شکستگی پر شده توسط انیدریت در نمونه مغزه؛ سمت چپ) شکستگی ریز در تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM).

توضیحات فوق نشان می‌دهد که فرایندهای دیاژنزی در سازند کنگان تأثیر بسیار زیادی در کیفیت مخزنی این توالی در میدان پارس جنوبی داشته است. همانطور که در بالا اشاره شد، فرایندهای دیاژنتیکی باعث تغییر و یا از بین رفتن خصوصیات پتروفیزیکی و مخزنی رخساره‌های تشکیل دهنده سازند کنگان شده‌اند. به طوری که رخساره‌های با خصوصیات رسوبی مشابه تحت تأثیر فرایندهای تخلخل و تراوایی متفاوتی را نشان می‌دهند.کراس پلات‌های تخلخل و تراوایی (شکل‌های ۶ و ۷) رخساره‌های دانه‌غالب و گل‌غالب به وضوح تاثیر فرایندهای دیاژنزی را نشان می‌دهند. به عنوان مثال در شکل ۷، رخساره‌های گرینستونی پراکندگی زیادی را از نظر کیفیت مخزنی دارند به نحوی که رخساره‌های با خصوصیات غالب محیطی (تخلخل اولیه) دارای تخلخل و

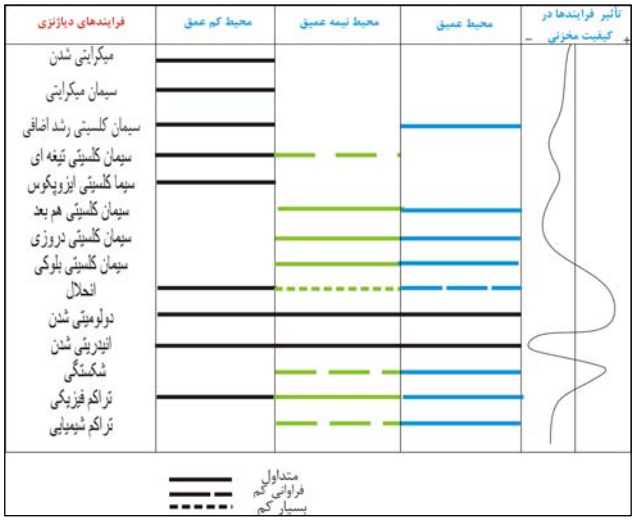
تراوایی بالایی هستند در حالی که رخساره‌های مشابه آنها که فضای بین‌دانه‌ای آنها توسط سیمان (کلسیتی یا انیدریتی) پر شده باشد، چنانچه تحت تاثیر انحلال قرار گرفته باشند تخلخل بالا و تراوایی نسبتا پایینی دارند (بسته به میزان ارتباط حفرات) و در غیر این صورت خصوصیات مخزنی بسیار ضعیفی را نشان می‌دهند. به دلیل اهمیت فرایندهای دیاژنزی در سازند کنگان، تمامی فرایندهای دیاژنزی، روند آنها و تأثیر آنها بر روی کیفیت مخزنی در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ٦- نمودار تخلخل-تراوایی مربوط به رخساره‌های گل‌افزون؛ رخسارههای گل‌افزون با تخلخل بین‌بلوری (نمونه‌های Δ شکل)؛ رخساره‌های گل‌افزون با تخلخل حفره‌ای و قالبی که بعضا همراه با تخلخل بین بلوری نیز هستند (منطقه ۳)؛ در نمونه‌های موجود در منطقه ۲، تخلخل‌های موجود بر اثر انیدریتی شدن از بین رفته است و یا اینکه فاقد تخلخل می‌باشند.



شکل ۷ - کراس پلات تخلخل-تراوایی رخساره‌های اوئیدی-گرینستونی با تخلخل بین‌ذره‌ای؛ نمونه‌هایی که با دایره تو پر نشان داده شده‌اند نشانگر رخساره‌های با تخلخل قالبی و حفره‌ای؛ و نمونه‌های با علامت Δ موید رخساره-های با تخلخل قالبی است. رخساره‌هایی که در منطقه ۲ قرار گرفته‌اند بر اثر انیدریتی شدن و بعضا دولومیتی شدن بیش ازحد فاقد کیفیت مخزنی هستند؛ رخساره‌هایی که دارای شکستگی بوده و تخلخل کم با تراوایی بالا دارند در منطقه ۱ قرار دارند.



شکل ۸- فرایندهای دیاژنزی موجود، روند و تأثیر آنها بر روی کیفیت مخزنی در سازند کنگان

نتیجه‌گیری

در توالی سازند کنگان فرایندهای رسوبی نقش اولیه را در ایجاد تخلخل داشته‌اند ولی فرایندهای دیاژنزی کنترل کننده اصلی کیفیت مخزنی در این توالی به شمار می‌آیند. اگرچه رخساره‌های اوئیدی- گرینستونی بخش اعظم واحد مخزنی آن راتشکیل می‌دهند؛ در این توالی فرایندهایی همچون انحلال و شکستگی به عنوان دو عامل در بهبود کیفیت مخزنی رخساره‌های دانه‌افزون و گل‌افزون بسیار اثرگذار بوده‌اند. دولومیتی شدن رخساره‌ها در مرحله اول از تراکم زیاد جلوگیری کرده و در مرحله دوم با دولومیتی شدن رخساره‌های مادستونی این واحدها از کیفیت مخزنی مناسبی برخوردار شده‌اند. سیمان دولومیتی در رخساره‌های اوئیدی-گرینستونی و نیز دولومیتی شدن بیش از حد، تاثیر منفی در خصوصیات مخزنی رخساره‌های موجود داشته‌اند. سیمان‌های کلسیتی متئوریکی با پر کردن فضای بین‌دانه‌ای و سیمان کلسیتی تدفینی با پر کردن بخشی از تخلخل‌های قالبی و شکستگی‌ها و بعضا تخلخل‌های اولیه بشدت از میزان کیفیت مخزنی واحدها کاسته است. انیدریتی شدن در هر دو نوع رخساره مورد مطالعه سبب از بین رفتن تخلخل و تراوایی رخساره‌ها شده است که نوع سیمانی آن بسیار تاثیرگذارتر بوده است.

منابع

۱- حسین‌یار، غ.، رحیم‌پوربناب، ح.، ۱۳۸۸، ارزیابی کیفیت مخزنی رخساره‌های رسوبی سازندهای دالان وکنگان در میدان پارس جنوبی: بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، تهران، ایران.

2- Alsharhan, A.S., and A.E.M. Narin, 1997, Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East: Elsevier, Netherlands, 843 p.

3- Angiolini, L., M. Balini, E. Garzanti, A. Nicora, A. Tintori, S. Crasquin and G. Muttoni, 2003, Permian climatic and paleogeographic changes in Northern Gondwana: the Khuff Formation of Interior Oman: Palaeogeography,

Palaeoclimatology, Palaeoecology, **v.** 191, nos. 3-4, p. 269-300.

4- Burchette, T.P. and V.P. Wright, 1992, Carbonate ramp depositional systems: Sedimentary Geology, **v.** 79, p. 3–57.

5- Buxton, M.W.N. and H.M. Pedley, 1989, A standardized model for Tethyan Tertiary carbonate ramps: Journal of the Geological Society of London, **v.** 146, p.746-748.

6- Buyukutku, A. G., 2009, Reservoir properties of Karaisalı formation in the Adana Basin, Southern Turkey: Journal of Petroleum Science and Engineering, **v.** 65, Issues 1-2, p. 33-44

7- Dickson, J. A. D., 1965, a modified staining technique in thin section: Nature, **v.** 205.

8- Dunham, R. J. 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture: AAPG Memoirl 1, p. 108-121.

9- Ehrenberg, S.N., P.H. Nadeau and A.A. M. Aqrawi, 2007, A comparison of Khuff and Arab reservoir potential throughout the Middle East: AAPG Bulletin,**v.** 86; p. 1709–1732.

10- El-Tabakh, M., A. Mory, B.C. Schreiber and R. Yasin, 2004, Anhydrite cements after dolomitization of shallow marine Silurian carbonates of the Gascoyne Platform, Southern Carnarvon Basin: Western Australia Sedimentary Geology, **v.** 164 , p. 75–87.

11- Enos, P. and L. J. Sawatsky, 1981, Pore networks in Holocene carbonate sediments: J.Sediment. Petrol, **v.** 51, N. 3.

12- Flugle, E., 2004, Microfacies of carbonate rocks, Analysis, interpretation and application: Springer, 976p.

13- Insalaco, E., A. Virgone, B. Courme, J. Gaillot, M. Kamali, A. Moallemi, M. Lotfpour and S. Monibi, 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.

14- Jones, G. D. and Y. Xiao, 2005, Dolomitization, anhydrite cementation, and porosity evolution in a reflux system: Insights from reactive transport models: AAPG Bulletin, **v.** 89, no. 5, p. 577–601.

15- Kashfi, M.S. 2000, Greater Persian Gulf Permian–Triassic stratigraphic nomenclature requires study: Oil and Gas Journal, Tulsa, **v.** 6, p. 36- 44.

16- Lucia, F. J. 1999, Carbonate reservoir characterization: Springer, Berlin, p.226

17- Lucia, F. J. and R. P. Major, 1994, Porosity evolution through hypersaline reflux dolomitization, in B. Purser, M. Tucker, and D. Zenger, eds., Dolomites: International Association of Sedimentologists Special Publication, **v.** 21, p. 325–341.

18- Lucia, F.J. 2004, Origin and petrophysics of dolostone pore space: Gical Society of London, Special Publications, **v.** 235, p.141-155.

19- Lucia, F.J. 2007, carbonate reservoir characterization: Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

20- Machel, H.G. 2005, Investigations of burial diagenesis in carbonate hydrocarbon reservoir rocks: Geoscience Canada.

21- Mazzullo S. J., 2004, Overview of Porosity Evolution in Carbonate Reservoirs: Kansas Geological Society Bulletin, **v.** 79, nos. 1 and 2.

22- Moore, C. H. 2001, Carbonate reservoirs porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework: Amsterdam, Elsevier, 444 p.

23- Rahimpour-Bonab, H., A. Asadi-Eskandar and R. Sonei, 2009, Effect of the Permian-Triassic boundary on reservoir characterics of the

South Pars gas field, Persian Gulf: Geol. J., **v.** 44, p. 341-364.

24- Rahimpour-Bonab, H., 2007, A procedure for appraisal of a hydrocarbon reservoir continuity and quantification of its heterogeneity: Journal of Petroleum Science and Engineering, **v.** 58, p. 1–12.

25- Rahimpour -Bonab, H., B. Esrafili-Dizaji and V. Tavakoli, 2010, Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars gas field, offshore Iran: controls on reservoir quality: Journal of Petroleum Geology, **v.** 33 Issue 1, p. 43 – 66.

26- Saller, A.H. and N. Henderson, 1998, Distribution of Porosity and Permeability in Platform Dolomites: Insight from the Permian of West Texas: AAPG Bulletin. **v.** 82, p.1528–1550.

27- Sun, S. Q., 1995, Dolomite reservoirs: porosity evolution and reservoir characteristics: AAPG Bulletin, **v.** 79, p. 186–204.

28- Tavakoli, V., H., Rahimpour-Bonab and B. Esrafili-Dizaji, 2011 Diagenetic controlled reservoir quality of South Pars gas field, an integrated approach: Comptes Rendus Geoscience. **v.** 343, p. 55-71.

29- Vincent, B., L. Emmanuel, P. Houel, J.P. Loreau, 2007, Geodynamic control on carbonate diagenesis: Petrographic and isotopic investigation of the Upper Jurassic formations of the Paris Basin (France): Sedimentary Geology, **v.** 197, p. 267–289.

30- Warren, J., 2000, Dolomite, occurrence, evolution and economically important associations: Earth Science Reviews, **v.** 52, p. 1-81.

31- Warren, J.K., 2006, Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons: Springer Verlag, Brunei, p.1035.

32- Wilson, J.L., 1975, Carbonate facies in geologic history: Springer, 471p.

33- Ziegler, M., 2001, Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and Its Hydrocarbon Occurrences: GeoArabia, **v.** 6, no. 3, p. 445–50.