

دولومیتی شدن، ریزرخساره‌ها و تأثیر آنها بر کیفیت مخزنی سازند دالان بالایی در میدان گازی پارس جنوبی

امید کاک‌م،^{۱*} محمدحسین آدابی^۲ و بهمن گودرزی^۳

^۱ دانشجوی دکترا، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ استاد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۳ کارشناسی ارشد، شرکت نفت و گاز پارس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی دولومیتی شدن و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی نهشته‌های سازند دالان بالایی به سن پرمین - تریاس صورت گرفته است. در این مقطع سازند دالان بالایی توالی از سنگ‌های کربناته و تبخیری به ضخامت ۲۶۵ متر دارد. بر اساس بافت‌های رسوبی، مطالعات سنگ‌نگاری و زیای موجود، ۱۱ ریزرخساره مختلف کربناته - تبخیری شناسایی شده است. این ریزرخساره‌ها در قالب ۳ کمربند رخساره‌ای شامل پهنه جزرومدی، لاگون و شول کربناته نهشته شده‌اند. نبود نهشته‌های توربیدیتی (کلسی توربیدیت)، ساخت‌های ریزشی، عدم وجود سدهای ریفی بزرگ، وجود رخساره‌های پهنه جزرومدی و لاگون با غلبه ماتریکس گل کربناته با گسترش زیاد و نبود رسوبات توفانی نشان می‌دهد که جایگاه نهشتی توالی مورد مطالعه یک رمپ هم‌شیب بوده است. بر مبنای مطالعات سنگ‌نگاری ۴ نوع دولومیت شامل دولومیکرایت، دولومیکرواسپاریت، دولواسپاریت و سیمان دولومیتی در این نهشته‌ها شناسایی شده است. داده‌های تخلخل و تراوایی در انواع مختلف دولومیت‌ها نشان می‌دهد که در اغلب دولومیت‌ها میزان تراوایی به‌طور مستقیم به تخلخل کل بستگی ندارد؛ و بیشتر به ارتباط حفره‌ها از طریق حفره‌های گلوگاهی وابسته است؛ که خود ناشی از افزایش اندازه بلورهای دولومیت است. به‌طوری که از مراحل اولیه دولومیتی شدن یعنی با افزایش درجه دولومیتی شدن از بلورهای مسطح و نیمه‌سطح شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار تشکیل شده‌اند، و همین سبب ارتقاء خواص مخزنی شده است. با افزایش هر چه بیشتر دولومیتی شدن و رشد بلورهای دولومیت به سمت یکدیگر و از بین رفتن حفره‌های گلوگاهی و تشکیل سیمان‌های دولومیتی، خواص مخزنی کاهش یافته است. دولومیتی شدن باعث بیشترین خواص مخزنی در دولوپکستون‌های دانه‌افزون دارای دولواسپاریت‌های با بلورهای مسطح شده است.

کلیدواژه‌ها: ریزرخساره، دولومیتی شدن، کیفیت مخزنی، تخلخل، تراوایی، سازند دالان بالایی.

* نویسنده مسئول: امید کاک‌م

E-mail: u_kakemem@sbu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

صورت گرفته است. در این مطالعه از طبقه‌بندی بافتی دولومیت ارائه شده توسط Sibley and Gregg (1987) و Adabi (2009) استفاده شده است. جهت تقسیم‌بندی پتروفیزیکی انواع فضا‌های خالی در سنگ‌های کربناته از طبقه‌بندی Lucia (1995) استفاده شده است. گروه‌های پتروفیزیکی و روابط پتروفیزیکی آنها با توجه به داده‌های موجود و با استفاده از روش‌های Lucia (2007) و Ahr (2008) مشخص شده‌اند. داده‌های استفاده شده در این مطالعه از سوی شرکت ملی نفت و گاز پارس ارائه شده و انجام آزمایشات به منظور دست‌یابی به داده‌های کیفیت مخزنی (تخلخل هلیوم، چگالی ذره (Helium Porosity, Grain Density)، تراوایی هوا (Air Permeability) توسط شرکت مپصا و در آزمایشگاه پتروفیزیک و توسط تجهیزات این شرکت صورت گرفته است.

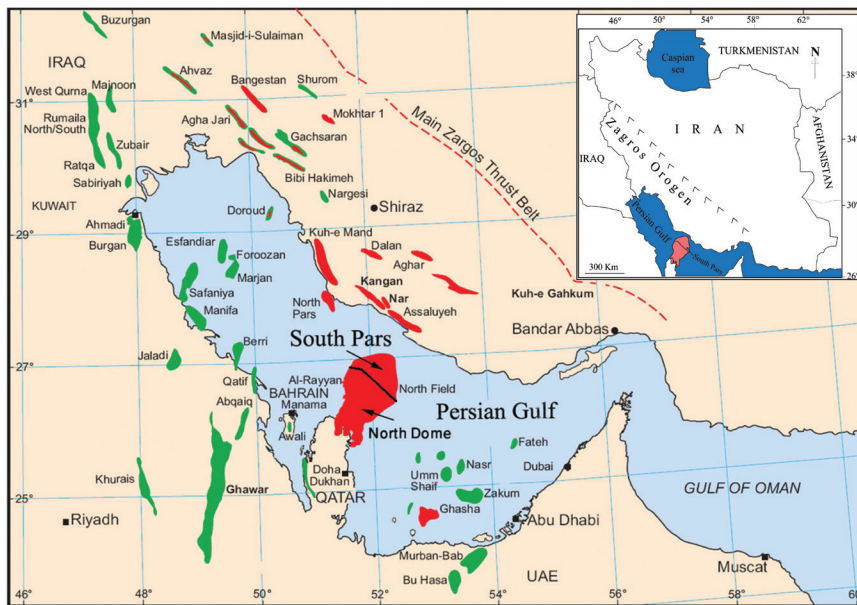
بر اساس Lucia (2007) هر گروه از فضا‌های خالی شامل بین ذره‌ای، حفرات مرتبط و حفرات غیر مرتبط نوع متفاوتی از توزیع اندازه و ارتباط بین فضاها دارند. توزیع اندازه فضا‌های خالی در سنگ‌های کربناته (بدون وجود تخلخل حفره‌ای) بر حسب اندازه ذرات، جورشدگی و تخلخل بین ذره‌ای قابل توصیف است. بلورهای دولومیتی نقشی همچون ذرات رسوبی در کربنات‌ها ایفا می‌کنند و تخلخل‌های ناشی از آنها در ارتباط با فابریک سنگ و از نوع بین ذره‌ای است. سیستم فضا‌های خالی حفره‌ای خیلی بزرگ‌تر از اندازه ذرات هستند و باعث قطع شدن فابریک سنگ شده‌اند و در انواع غیرمرتبط انتخاب نشده توسط فابریک هستند. هدف این مطالعه بررسی تأثیر انواع دولومیت‌ها بر روی خواص مخزنی نهشته‌های کربناته - تبخیری سازند دالان بالایی با استفاده از محدوده‌های تخلخل و تراوایی تعریف شده توسط Lucia (2007) و Ahr (2008) است. با توجه به اینکه سیستم فضا‌های حفره‌ای فابریک سنگ را قطع می‌کنند و همچنین داده‌های پتروفیزیکی در ارتباط با آنها در خارج از محدوده‌های تخلخل و تراوایی گفته شده قرار می‌گیرد و از طرفی وجود آنها باعث ایجاد خطا در

پارس جنوبی میدان گازی دریایی بسیار عظیمی است که سنگ مخزن اصلی آن را سازند کربناتی دالان با سن پرمین تشکیل می‌دهد (Aali et al., 2006). میدان پارس جنوبی در موقعیت ۵۲ تا ۵۲/۵ درجه خاوری و ۲۶/۵ تا ۲۷ درجه شمالی واقع شده است (شکل ۱). ساختمان زمین‌شناسی میدان پارس جنوبی که بخش شمالی گنبد پارس جنوبی - شمال قطر را تشکیل می‌دهد، دارای یال‌های ملایم بوده که این خود تشکیل دهنده یکی از چند قله ساختمانی برآمدگی قطر - پارس جنوبی بر روی پلاتفرم کربناته منطقه است (Insalaco et al., 2006). مرز بالایی سازند دالان در چاه مورد مطالعه توسط مرز فرسایشی پرموتریاس از کربنات‌های سازند کنگکان جدا می‌شود و مرز زیرین آن را انیدریت‌های بخش نار تشکیل می‌دهند. در چاه مورد بررسی سازند دالان از نظر سنگ‌شناسی با ۲۶۵ متر ضخامت از ترکیب سنگ‌آهک، دولومیت و انیدریت تشکیل شده است. نوشتار حاضر بر اساس مطالعه انواع دولومیت‌ها و تأثیر آنها بر کیفیت مخزنی بخش‌های مختلف سازند دالان بالایی انجام شده است. بدین منظور دسته‌بندی دولومیت‌ها و بررسی تأثیر هر یک از آنها بر روی خواص مخزنی در این سازند از اهداف این مطالعه شمرده می‌شود.

۲- روش تحقیق

جهت دستیابی به اهداف یادشده ۱۰۹۲ عدد مقطع نازک مربوط به سازند دالان بالایی از ۱ حلقه چاه میدان گازی پارس جنوبی انتخاب شده است. این مقاطع توسط محلول آلزیرین قرمز جهت تشخیص کانی‌های کلسیت از دولومیت و نیز آهن‌دار بودن و میزان آهن در آنها به روش Dickson (1965) رنگ‌آمیزی شده‌اند. رده‌بندی و نام‌گذاری سنگ‌ها بر اساس روش Dunham (1962) و تحلیل ریزرخساره‌ها و محیط‌رسوبی با استفاده از مدل‌های استاندارد Wilson (1975) و Flügel (2010)

داده‌های مربوط به خواص مخزنی مرتبط با دولومیت‌ها می‌شود در اینجا تا حد امکان از نمونه‌های دارای حفرات مرتبط و غیر مرتبط صرف نظر شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی خلیج فارس و میدان گازی پارس جنوبی به همراه موقعیت روراندگی اصلی زاگرس و نیز میادین هیدروکربنی اصلی (برگرفته با تغییرات از Insalaco et al., 2006).

۳- ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی

دالان بالایی (پرمین بالایی) فرایندهای دیاژنزی فرصت کافی برای اعمال تأثیر بر خواص مخزنی نهشته‌های کربناته-تبخیری این سازند را داشته‌اند. بر اساس جدول ۱ دولومیتی شدن فرایند غالب در تقریباً تمامی رخساره‌های شناسایی شده است.

تجزیه و تحلیل رسوب‌شناختی مقاطع نازک سازند دالان بالایی منجر به شناسایی ۱۱ ریزرخساره کربناته-تبخیری شد که در ۳ زیرمحیط رسوبی شامل پهنه جزرومدی، لاگون و شول کربناته نهشته شده‌اند؛ که به ترتیب از بخش کم عمق به سمت بخش عمیق حوضه در جدول ۱ معرفی شده‌اند. با توجه به سن سازند

جدول ۱- ریزرخساره‌های شناسایی شده در طول توالی سازند دالان بالایی در چاه مورد مطالعه از میدان گازی پارس جنوبی.

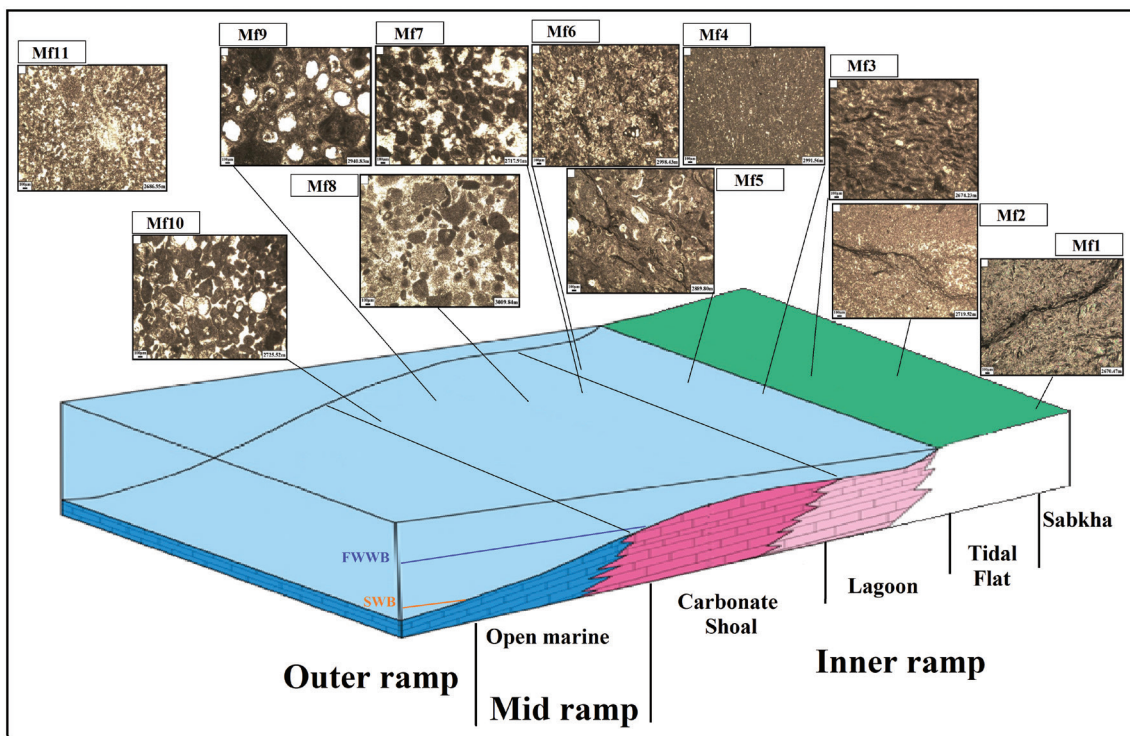
فرایندهای دیاژنزی غالب	محیط نهشت	تفسیر	مشخصات	ریزرخساره	
جانیشینی	پهنه جزرومدی	لایه‌های ضخیم انیدریتی در مراحل اولیه دیاژنز از رسوب‌گذاری مستقیم بلورهای ژپس از شورابه‌های سیخایی و لاگون‌های خیلی شور تشکیل شده است؛ لایه‌های ژپس در طی مراحل مختلف دیاژنز تبدیل به انیدریت ثانویه شده‌اند (Luccia, 2007).	این رخساره به‌طور کامل از انیدریت تشکیل شده است. بر اساس (Luccia (2007) از این نظر بافت لایه‌ای نشان می‌دهد.	Anhydrite	MF1
دولومیتی شدن، درزه‌های انحلالی ناشی از تراکم، شکستگی	پهنه جزرومدی	مادستون‌های آهکی تا دولومیتی در قسمت داخلی پهنه‌های گلی جزرومدی تشکیل میشوند. نبود اجزای بایوکلستی و وجود آلوکمه‌های غیراسکلتی تأییدکننده نهشت این رخساره در پهنه جزرومدی است (Flügel, 2010; Adabi, 2009; Waren, 2000).	میکرایت آن به‌طور غالب کلسیتی و در مواردی از جنس دولومیت است. فاقد هر گونه آثار فسیلی بوده ولی در مواردی حاوی ۱ تا ۱۰ درصد پلوئید، اینتراکلت و گاهی آنکوئید است. وجود ذرات پراکنده کوارتز-تخربیی در اندازه سیلت ناشی از ته‌نشینی آن در مراحل اولیه دیاژنز در پهنه جزرومدی است (Adabi et al., 2016). دارای ساخت فنترال است.	Dolomicrite/ Mudstone	MF2
دولومیتی شدن، میکرایتی شدن، تراکم و سیمانی شدن	پهنه جزرومدی	به محیط پری‌تایدال نسبت داده میشود. این تفسیر با توجه به حضور دولومیت‌های اولیه که توسط سیانو باکتریها تثبیت شده‌اند قابل تأیید است. حضور خرده‌های اسکلتی و دیگر آلوکم‌ها که توسط جریان‌های کشنندی انتقال یافته‌اند معرف استروماتولیت‌های یوکاریوتیک است (Feldman and Mackenzi, 1998; Hips and Hass, 2006).	این رخساره شامل لامینه‌های ظریف و نواری و گاهاً پیچیده همراه با فیلامنت‌های جلبکی است. در بسیاری از موارد قطعات اسکلتی و غیر اسکلتی نظیر آئیدها، اینتراکلت‌ها، آنکوئیدها و پلوئیدها با فراوانی متغیر و تا ۴۰ درصد نیز در این رخساره دیده می‌شوند.	Stromatolite boundstone	MF3

دولومیتی شدن، نئومورفیسم، میکرایی شدن و تراکم	لاگون	خرده‌های اسکلتی مربوط به محیط‌های محدود بیانگر گسترش رخساره لاگونی است. همچنین فراوانی گل آهکی به همراه تنوع و فراوانی کم این بایوکست‌ها نشان‌دهنده نهشت این رخساره در محیط انتهایی لاگون است (Wilson and Evans, 2002).	در اغلب نمونه‌ها از گل آهکی تشکیل شده است. خرده‌های اسکلتی شامل قطعات روزن‌بران کفزی و جلبک سبز با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد حضور دارند. خرده‌های غیر اسکلتی دارای فراوانی کمتر از ۵ درصد هستند. لامیناسیون نیز دیده شده است. در برخی از نمونه‌ها با نودول‌های انیدریتی، ترک گلی و نیز مواد ارگانیکی همراه است.	Fossiliferous mudstone	MF4
دولومیتی شدن، میکرایی شدن و نئومورفیسم	لاگون	حضور روزن‌بران کفزی شاخص محیط‌های لاگونی، میلیولید و جلبک سبز نشان‌دهنده نهشت در یک محیط لاگونی بسته است. شرایط محدود شده و بسته توسط کم بودن یا حتی نبودن بایوتاهای نرمال دریایی و فراوانی اجزای اسکلتی بایوتاهای محیط‌های محدود پیشنهاد می‌شود (Geel, 2000; Hips and Hass, 2006; Flügel, 2010).	سنگ‌شناسی این رخساره از سنگ آهک تا دولومیت متغیر است. میزان غلبه گل آهکی در آن نسبت به رخساره قبلی کاهش می‌یابد. خرده‌های اسکلتی (روزن‌بران کفزی لاگونی، میلیولید، جلبک سبز و دوکفه‌ای)، پلیولید و اینتراکلت اصلی‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده این رخساره هستند. تنوع و فراوانی اجزا در آن نسبت به رخساره قبلی افزایش می‌یابد.	Peloid/intraclast, bioclast wackestone	MF5
دولومیتی شدن، انحلال	لاگون	آنکوئیدها در شرایط محیطی آرام و کم انرژی تشکیل می‌شوند. تنوع و فراوانی بالای خرده‌های اسکلتی بیانگر محیط نرمال‌تری از آب دریا برای زیست موجودات اسکلت‌ساز است؛ این رخساره در آب‌های عمیق‌تر محیط لاگونی و مجاور شول کربناته با آب‌های با شوری نرمال نهشته شده است که شرایط زیست موجودات اسکلت‌ساز را فراهم کرده‌اند (Kakemem et al., 2016).	فراوانی بالای آلوکم‌های اسکلتی و غیراسکلتی موجب ایجاد بافت پکستون شده است. خرده‌های اسکلتی تشکیل‌دهنده این رخساره عمدتاً روزن‌بران کفزی شاخص محیط لاگونی هستند. آلوکم‌های غیر اسکلتی نظیر اینتراکلت، پلیولید، آئید و آنکوئید حضور چشم‌گیری دارند (گاهی تا ۴۰ درصد).	Oncoid/peloid bioclast packstone	MF6
دولومیتی شدن، سیمانی شدن و انحلال	شول کربناته	کاهش میزان میکرایت و افزایش میزان سیمان اسپاری در فضاهای بین دانه‌ای نشان‌دهنده افزایش میزان انرژی محیط است. حضور بایوتاهای دریایی باز بیانگر جریان آب دریا با شوری نرمال است (Flügel, 2010). میزان بالای حضور آئیدها مجاورت آن با شول کربناته را نشان می‌دهد که قسمت رو به خشکی شول را تأیید می‌کند.	این رخساره به وسیله خرده‌های اسکلتی مربوط به محیط‌های محدود و نیز آلوکم‌های اسکلتی مربوط به محیط‌های نرمال دریایی مشخص می‌شود. فراوانی آئیدهای ماسی با ساختار متحدالمرکز در مواردی به بیش از ۶۰ درصد میرسد.	Ooid, bioclast packstone	MF7
دولومیتی شدن، سیمانی شدن و انحلال	شول کربناته	غیبت گل کربناته، خرده‌های اسکلتی زاویه‌دار، آئیدهای متحدالمرکز و جورشدگی ذرات نشان‌دهنده بالا بودن انرژی و نهشت آن در محیطی تحت تأثیر انرژی امواج است (Insalaco et al., 2006). این رخساره در بخش مرکزی تپه‌های سدی نهشته شده است.	بیشترین اجزای تشکیل‌دهنده این رخساره خرده‌های اسکلتی هستند. آئیدها در درجه دوم فراوانی هستند. پلیولیدها نیز یکی از اجزای اصلی را تشکیل می‌دهند. فاقد زمینه گل آهکی است؛ به طوری که تمامی فضاهای بین دانه‌ای توسط سیمان اسپاری و انیدریت پر شده‌اند.	Peloid ooid/bioclast grainstone	MF8
دولومیتی شدن، انحلال	شول کربناته	بایوکست‌ها نشان‌دهنده آب‌های با شوری نرمال هستند. اینتراکلت‌ها مؤید محیطی با انرژی متغیر هستند. فراوانی بالای آئیدها، عدم حضور گل کربناته و حضور سیمان فیبری هم‌صمخامت بیانگر جایگاه نهشتی این رخساره در محیطی با انرژی بالا و تحت تأثیر امواج است (Tucker and Wright 1990).	آئیدها اصلی‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده این رخساره هستند که همراه با اینتراکلت و خرده‌های اسکلتی (بایوتاهای محیط‌های نرمال دریایی) یافت می‌شوند. در این رخساره نیز گل آهکی غایب است و فضاهای بین دانه‌ای توسط سیمان اسپاری و انیدریت پر شده‌اند.	Bioclast/intraclast ooid grainstone	MF9
دولومیتی شدن، سیمانی شدن و انحلال	شول کربناته	حضور خرده‌های اسکلتی و اینتراکلت‌های زاویه‌دار با جورشدگی بد تا متوسط می‌تواند ناشی از برخورد امواج با برجستگی‌های شول و جدا شدن ذرات و تجمع آنها در بخش جلویی شول باشد. حضور سیمان‌های اولیه در حاشیه ذرات حاکی از تأثیر انرژی امواج است ولی انرژی آن در حدی نبوده است که بتواند تمامی میکرایت موجود را جدا کند. این رخساره به بخش جلویی شول نسبت داده می‌شود.	با توجه به حجم بالای گل کربناته در ماتریکس سنگ نسبت به سیمان اسپاری بافت آن پکستون است. آئیدها در کنار خرده‌های اسکلتی آلوکم‌های اصلی را به وجود آورده‌اند. اینتراکلت‌ها گسترش قابل توجهی دارند. بیشتر بایوکست‌ها و اینتراکلت‌ها زاویه‌دار و دارای جورشدگی متوسط تا بدی هستند.	Intraclast bioclast/ ooid packstone	MF10
دولومیتی شدن، انحلال		به دلیل شدت دولومیتی شدن و غیر قابل تشخیص بودن ساختار داخلی و ذرات تشکیل‌دهنده نمی‌توان آن را به هیچ کدام از کمربندهای رخساره‌های موجود نسبت داد.	به دلیل تأثیر گسترده فرایندهای دیاژنزی این رخساره تماماً متبلور است و اجزای اولیه قابل شناسایی نیستند. نمونه‌های معروف این رخساره دارای تخلخل و تراوایی بالایی هستند.	Crystalline carbonate	MF11

۴- ارائه مدل رسوبی

شیب نسبتاً بالای حوضه رسوبی است. تمامی این شواهد بیانگر ته‌نشینی نهشته‌های کربناته دالان بالایی در یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ است. از طرفی با توجه به نبود رسوبات توفانی و توریدیتی جایگاه نهشتی توالی مورد مطالعه رمپ همشیب تشخیص داده شده است (شکل ۲). رمپ‌های کربناته اغلب در زون‌های فاقد موجودات ریف‌ساز گسترش یافته‌اند. فراوانی بالای آئیدها از ویژگی‌های اصلی رمپ‌های کربناته و بیانگر انرژی بالای محیط رسوبی است. تغییر بسیار تدریجی رخساره‌ها، فراوانی بالای رخساره‌های کم‌عمق و عدم وجود ذرات تخریبی تأییدکننده سیستم رمپ هم‌شیب است (Read, 1985; Burchette and Wright 1992; Pomar, 2001; Martini et al., 2007; Flügel, 2010).

بررسی مجموعه رخساره‌های کربناته و تبخیری مخزن دالان بالایی در مقطع تحت‌الارضی از میدان گازی پارس جنوبی و مقایسه آنها با کمربندهای رخساره‌ای (Buxton and Pedley (1989) و Flügel (2010) منجر به حصول اطلاعاتی شد؛ نظیر عدم رشد ریف‌های سدی بزرگ و وجود ریف‌های کومه‌ای، تغییرات تدریجی رخساره‌ها از سوپراتیادل تا رخساره‌های متعلق به محیط‌های کم‌عمق دریایی، نبود و یا وجود مقادیر ناچیزی از دانه‌های آگرگات، کورتوید و پیزوید که خاص شلف‌های کربناته هستند و به مقدار کم در رمپ‌ها مشاهده می‌شوند (Flügel, 2010)، وجود رخساره‌های پهنه جزرومدی و لاگون با گسترش زیاد که دلالت بر شیب کم حوضه دارد و نبود رخساره‌های ریزشی و لغزشی که وجودشان بیانگر



شکل ۲- مدل رسوبی ارائه شده برای نهشت توالی کربناته- تبخیری سازند دالان بالایی که در آن موقعیت هر کدام از رخساره‌ها نمایش داده شده است.

۵- دیاژنز

بیانگر این محیط‌ها و نیز در سنگ‌شناسی‌های مختلف آهکی و دولومیتی دارد. با توجه به هدف این نوشتار در ادامه بحث به بررسی دولومیتی شدن و نحوه تأثیر آن بر خواص مخزنی سازند دالان بالایی پرداخته می‌شود.

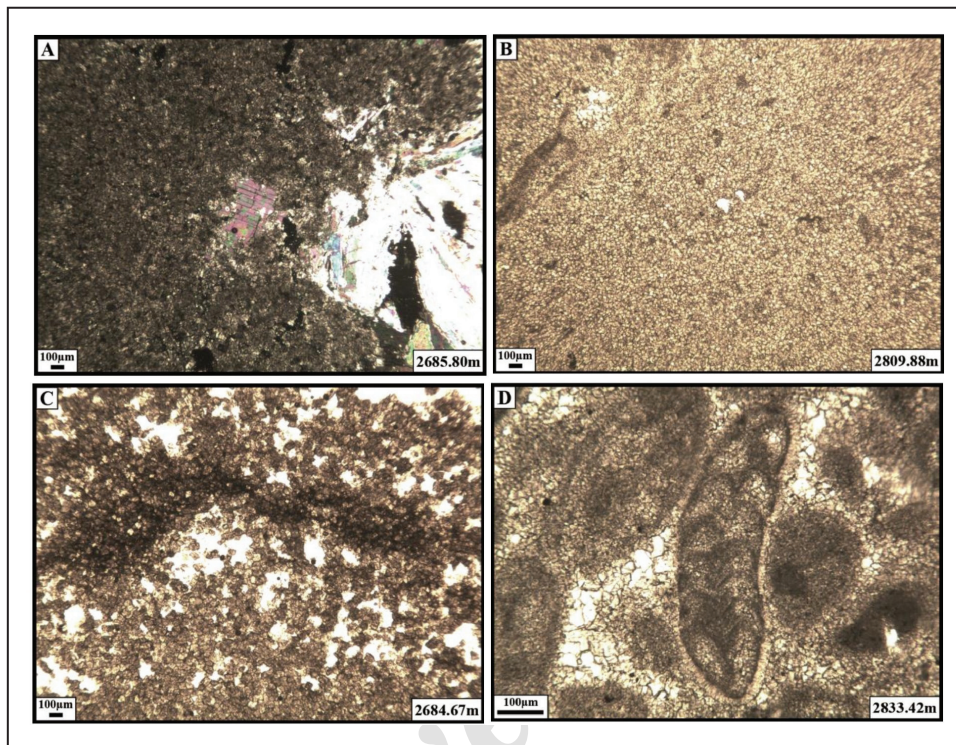
۵-۱. دولومیتی شدن

انواع مختلف دولومیت‌های شناسایی شده در برش مورد مطالعه که در شکل ۳ نشان داده شده‌اند، عبارتند از: ۱) دولومیت نوع اول (دولومیکرایت) که دولومیت‌های بسیار ریزبلور تا ریزبلور، بی‌شکل تا شکل‌دار با مرز بلوری مسطح تا کمی منحنی هستند. میانگین اندازه این دولومیت‌ها حدود ۱۰ میکرون است. این دولومیت‌ها تقریباً همزمان با رسوب‌گذاری هستند و در اثر جانشینی کلسیت با منیزیم بالا و نیز سایر نهشته‌های پهنه‌های کشتندی تشکیل می‌شوند (Adabi, 2009). ۲) دولومیت نوع دوم (دولومیکروسپاریت) که این نوع دولومیت‌ها عمدتاً به صورت موزایک‌های هم‌اندازه، متراکم و دارای مرزهای مسطح نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل تشکیل شده‌اند و اندازه‌های بین ۱۶ تا ۶۲ میکرون دارند. ۳) گروه سوم دولوسپاریت با اندازه بلورهای بین ۷۰ تا ۲۶۰ میکرون است. این نوع دولومیت‌ها از بلورهای موزایکی هم‌اندازه،

انحلال، نئومورفیسیم، فشردگی، سیمانی شدن و دولومیتی شدن فرایندهای اصلی دیاژنزی شناسایی شده در طول توالی سازند دالان بالایی هستند که در محیط‌های مختلف دیاژنزی شامل دریایی، متاوریکی و تدفینی نهشته‌های این سازند را تحت تأثیر قرار داده‌اند. فرآیندهای دیاژنزی در محیط‌های دریایی، متاوریکی و تدفینی نقش مهمی در توسعه و تکامل تخلخل و تراوایی سنگ‌های کربناته دارند؛ از طرفی فرایندهای دیاژنزی می‌توانند باعث کاهش تخلخل و تراوایی شوند (James and Jones, 2016). به‌طور کلی این فرایندها از دیدگاه مخزنی می‌توانند دارای اثرات مثبت یا منفی باشند. بدین معنا که برخی از این فرایندها مانند انحلال و دولومیتی شدن موجب افزایش تخلخل و بهبود تراوایی و در نتیجه افزایش کیفیت مخزنی می‌شوند. در بسیاری از موارد نیز فرایندهای دیاژنزی موجب کاهش خواص مخزنی می‌شوند. برای نمونه سیمانی شدن فضاهای خالی به درجات مختلف موجب کاهش تخلخل و بسته شدن گلوگاه‌ها و لذا کاهش تراوایی و کیفیت مخزنی می‌شود. بنابراین شناسایی فرایندهای اصلی دیاژنزی نقش مهمی در درک نحوه تغییرات کیفیت مخزنی (کاهش یا افزایش آن) در محیط‌های مختلف رسوبی و رخساره‌های

با اندازه بلورهای بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میکرون تشکیل شده که به صورت سیمان فضاهای کوچک و بزرگ و شکستگی‌ها را پر کرده و در نتیجه باعث کاهش تخلخل شده است. دولومیت درشت‌بلور اسپاری پرکننده حفرات در شرایط دفنی کم‌عمق یعنی در مراحل آخر دباژنر تشکیل می‌شود (Mazzullo, 1992; Warren, 2000).

متراکم و دارای مرزهای مسطح نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل تشکیل شده‌اند. بر اساس نظریه (Sibley and Gregg, 1987) فابریک مسطح نیمه‌شکل‌دار نتیجه رشد آرام بلورها تحت جریان پیوسته‌ای از سیالات دولومیت‌ساز در دمای پایین است. (۴) دولومیت نوع چهارم یا دولومیت درشت‌بلور حفره پرکن است. این نوع دولومیت از بلورهای درشت شفاف و اغلب شکل‌دار با مرزهای مسطح و

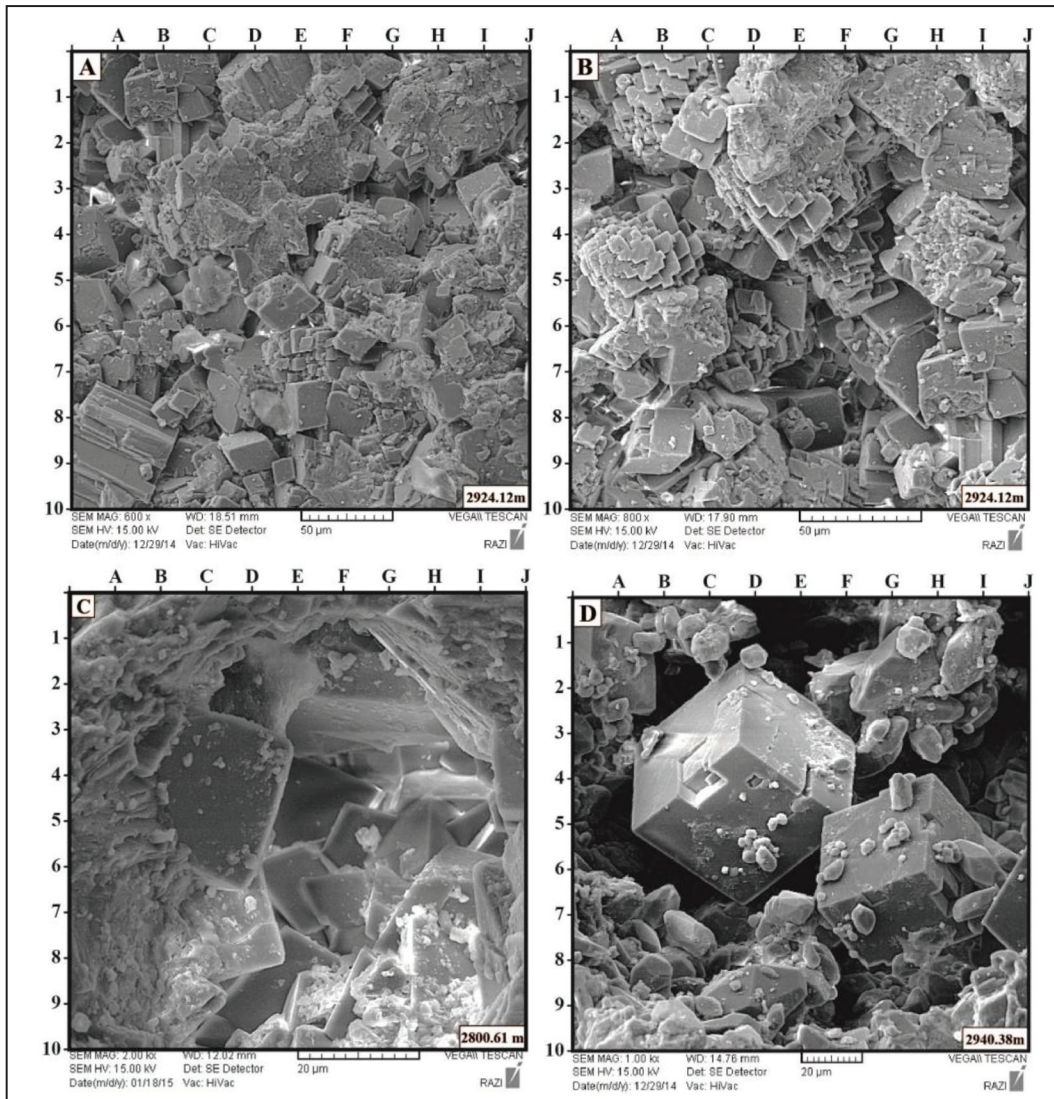


شکل ۳- انواع دولومیت‌های شناسایی شده در طول توالی سازند دالان بالایی. (a) دولومیکرایت با بلورهای خیلی ریز تا ریزدانه با مرزهای مسطح نیمه‌شکل‌دار؛ (b) دولومیکرواسپاریت به صورت دولومیت‌های متوسط‌بلور رومبهدری؛ (c) دولواسپاریت به صورت دولومیت‌های متوسط‌بلور موزاییکی تقریباً هم‌اندازه (d) بلورهای شفاف دولومیت نوع چهارم که به صورت سیمان فضاهای خالی را پر کرده‌اند.

۵-۲. تخلخل و تراوایی دولومیت‌ها

فرایندهای مختلف دباژنری هستند؛ بنابراین تاریخچه تدفین دولومیت کنترل زیادی بر روی خواص پتروفیزیکی آن اعمال می‌کند. در توالی مورد مطالعه به دلیل سیستم بسته تا نیمه‌بسته در طی تدفین عمیق بیشتر دولومیت‌های مشاهده شده را دولومیت‌های نیمه مسطح (دولومیت نوع سوم) و پس از آن دولومیت‌های مسطح (دولومیت نوع دوم) با فراوانی بالا تشکیل می‌دهند. این دولومیت‌ها بیشترین تخلخل و تراوایی را به نسبت دولومیت‌های نوع اول (دولومیکرایت) ایجاد کرده‌اند. سیمان‌های دولومیتی (دولومیت نوع چهارم یا دولومیت غیر مسطح) موجب تخریب خصوصیات مخزنی حتی در گریستون‌ها شده‌اند (شکل ۴). در طی دولومیتی شدن رخساره‌های با زمینه میکرایتی (مادستون، وکستون و پکستون)، بزرگی حفره‌های سنگ افزایش می‌یابد، ولی در طی دولومیتی شدن رخساره‌های گریستونی (دانه غالب) این پدیده روی نمی‌دهد. علت آن است که گریستون و به میزان کمتر پکستون دانه‌هایی دارند که بزرگی آنها بسیار بیشتر از بزرگی بلورهای دولومیت است؛ بنابراین دولومیتی شدن گریستون‌ها اثرهای مهمی بر روی بزرگی حفره‌های سنگ و در نتیجه تخلخل و تراوایی آنها به نسبت رخساره‌های گل غالب ندارد. پکستون‌ها هم دانه‌های بزرگی دارند که با هم در تماس هستند؛ بنابراین در طی دولومیتی شدن تا حد زیادی مثل گریستون رفتار می‌کنند. در مقابل، بر اثر دولومیتی شدن ماتریکس گلی موجود در بین دانه‌ها و تبدیل آن به بلورهای دولومیت بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرون، تراوایی به خوبی افزایش می‌یابد.

در رابطه با فرایند دولومیتی شدن در ریزرخساره‌های مختلف سازند دالان بالایی می‌توان گفت که دولومیت‌هایی که دارای بلورهای بزرگ‌تری هستند عموماً تراوایی بیشتری از دولومیت‌های دارای بلورهای کوچک میکرایتی یا میکرواسپاری دارند. سیستم حفره‌های موجود در دولومیت‌ها به دو حالت کلی است: حفره‌های چند وجهی و چهاروجهی. در حفره‌های چهاروجهی حفره‌ها به وسیله گلوگاه‌های صفحه‌ای شکل به هم مرتبط می‌شوند که در مرزهای سازشی بین بلورها تشکیل می‌شوند (Gregg and Sibley, 1984). با افزایش اندازه بلورها هندسه حفره‌ها تغییر می‌کند و در نهایت شبکه حفره‌های گلوگاهی بر هم می‌خورد و در نتیجه تراوایی کاهش می‌یابد. بنابراین با رشد بلورها حفره‌های بین بلورها از حالت چندوجهی به حالت چهاروجهی و در نهایت به حفره‌های صفحه‌ای شکل واقع در مرز بلورها تبدیل می‌شوند. با افزایش تخلخل در اثر دولومیتی شدن در مخزن کربناته سازند دالان بالایی میزان تراوایی در دولومیت‌های با مرزهای بلورین مسطح به نسبت دولومیت‌های دارای مرزهای بلورین نیمه مسطح بیشتر افزایش می‌یابد (شکل ۴). به علاوه رابطه بین تخلخل و تراوایی در دولومیت‌های با بلورهای دارای مرزهای مسطح و نیمه مسطح بسیار مشخص‌تر از دولومیت‌های با بلورهای دارای مرزهای غیرمسطح است (شکل ۴). در طی تبدیل دولومیت‌ها از حالت مسطح به نیمه‌مسطح، بر اثر رشد بلورها، حجم تخلخل بین بلورین کاهش یافته و بزرگی حفره‌های گلوگاهی کم می‌شود. چون ایجاد و گسترش بافت‌های مسطح و غیر مسطح در دولومیت‌ها حاصل



شکل ۴- تصاویر SEM مربوط به دولومیت‌های سازند دالان بالایی. (A) میکرایت کلسیتی همراه با بلورهای دولومیتی رومبهدری که موجب ایجاد تخلخل‌های ریز در این مقطع شده است (این حالت مربوط به مراحل اولیه دولومیتی شدن است)؛ (B) توسعه دولومیتی شدن و ایجاد بلورهای دولومیتی مسطح (درشت) و سپس نیمه‌مسطح؛ در این تصویر تخلخل بین ذره‌ای ایجاد شده در بین بلورهای دولومیت به خوبی قابل مشاهده است. (C) رشد بلورهای دولومیتی و ایجاد تخلخل در بین بلورها و چگونگی توسعه فضاهای خالی در بین بلورها؛ (D) بلور دولومیت رومبهدری کامل (دولومیت‌های مسطح) که در اطراف آن سیمان کلسیتی دیده می‌شود؛ همان‌طور که در تصویر قابل تشخیص است توسعه این نوع دولومیت‌ها باعث ایجاد بیشترین تخلخل و تراوایی در مخزن کربناته می‌شود.

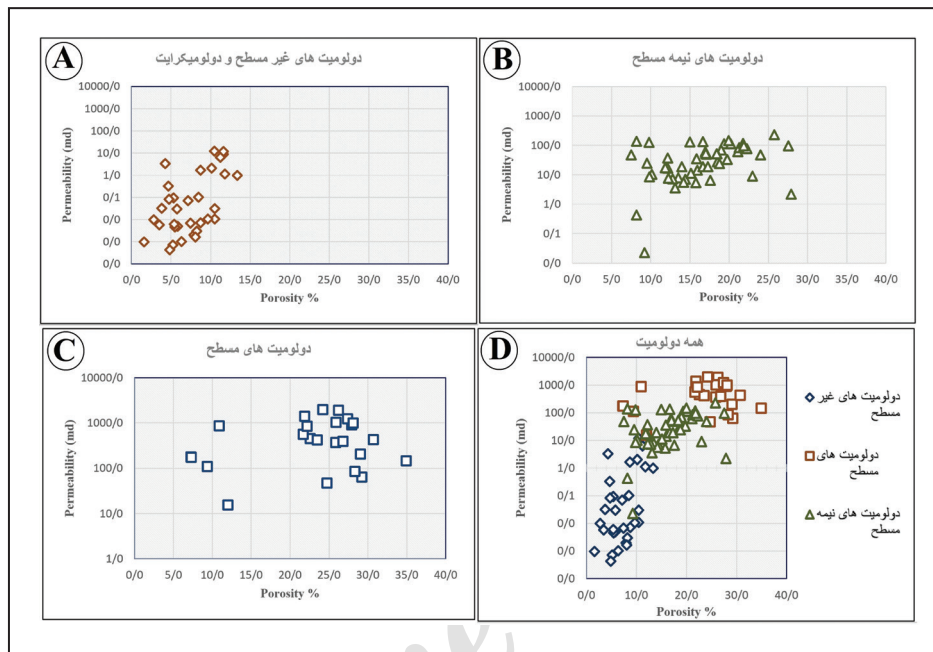
۳-۵. پتروفیزیک فابریک سنگ‌های دولومیتی

ندارند. این حالت در شکل ۶- B نشان داده شده است. اندازه دانه‌ها در رخساره‌های گریستونی دولومیتی شده بین ۱۰۰ تا بیش از ۵۰۰ میکرون در تغییر بوده و در بیشتر نمونه‌ها از آئید تشکیل شده است. رخساره‌های گریستونی به ویژه گریستون‌های مربوط به محیط سدی در تمامی نمونه‌ها اعم از دولوپکستون‌های با بلورهای ریز، متوسط و درشت همگی در محدوده تراوایی متعلق به ذرات بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرون قرار می‌گیرند. قرار گرفتن دولوستون‌های گل‌افزون با بلورهای درشت در همین محدوده تراوایی حاکی از این است که آنها نیز از لحاظ پتروفیزیکی مشابه گریستون‌ها هستند (شکل ۶- A). مقادیر تخلخل و تراوایی متعلق به دولوپکستون‌های دانه‌افزون با بلورهای ریز تا متوسط در شکل ۶- C ترسیم شده است. اندازه دانه‌ها در رخساره‌های پکستونی دولومیتی شده (دولوپکستون‌ها) بین کمتر از ۱۰۰ تا بیش از ۵۰۰ میکرون (به‌طور متوسط ۲۵۰ میکرون) است. ترسیم این داده‌ها نشان‌دهنده قرارگیری دولوپکستون‌های دانه‌افزون با بلورهای ریز تا متوسط در محدوده تراوایی

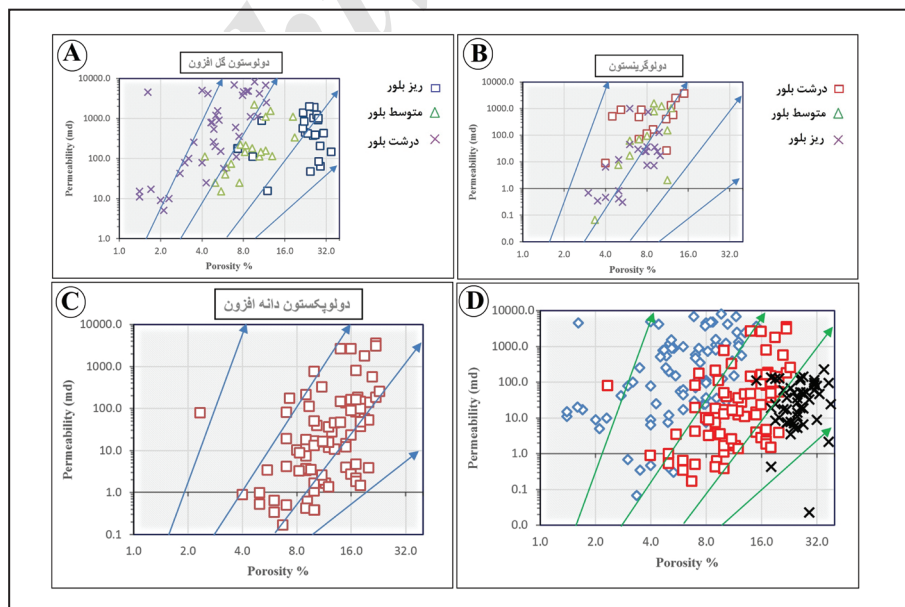
Lucia and Conti (1987) نشان دادند که تراوایی در سنگ‌های کربناته بیشتر تحت تأثیر نوع تخلخل و ارتباط آنهاست. توزیع انواع تخلخل به وسیله رخساره‌های رسوبی کنترل می‌شود، در حالی که توزیع تراوایی عمدتاً توسط فرایندهای دیاژنزی به ویژه دولومیتی شدن کنترل می‌شود (Mountjoy and Marquez, 1997). در بخش‌های دولومیتی توالی کربناته سازند دالان وجود زون‌های متخلخل و تراوا شدیداً به درجه دولومیتی شدن وابسته است. ذرات میکرایتی معمولاً اندازه کمتر از ۲۰ میکرون دارند. بنابراین دولومیتی شدن فابریک کربناته گل‌افزون ممکن است سبب افزایش اندازه ذرات میکرایتی به بیش از ۲۰۰ میکرون شود. نمودارهای تخلخل بین ذره‌ای در مقابل تراوایی ترسیم شده در شکل ۵ این موضوع را نشان می‌دهد که با افزایش اندازه بلورهای دولومیت، تراوایی افزایش پیدا می‌کند. گریستون‌ها در نمونه‌های سازند دالان بالایی معمولاً از دانه‌های خیلی بزرگ‌تر از بلورهای دولومیت تشکیل می‌شوند. به‌طوری که دولومیتی شدن در آنها تأثیر زیادی بر توزیع فضاهای خالی

در مجاورت رخساره‌های مختلف استفاده شده است؛ ولی در هر حال، از آنجا که تمام دولوستون‌های با بلورهای درشت و تمام دولوگرینستون‌ها از لحاظ پتروفیزیکی مشابه هستند، چنانچه اندازه دانه‌ها و اندازه بلورها لحاظ شود، اختلاف کمی از نظر پتروفیزیکی ایجاد خواهد شد. دولوپکستون‌های دانه‌افزون با بلورهای ریز تا متوسط و دولوستون‌های گل‌افزون با بلورهای متوسط در محدوده تراوایی متعلق به ذرات ۲۰ تا ۱۰۰ میکرون قرار می‌گیرند. دولوستون‌های گل‌افزون با بلورهای ریز در محدوده تراوایی متعلق به ذرات کوچک‌تر از ۲۰ میکرون قرار می‌گیرند.

متعلق به ذرات ۲۰ تا ۱۰۰ میکرون هستند. دولوستون‌های گل‌افزون با بلورهای متوسط نیز در همین محدوده قرار می‌گیرند (شکل ۶- A). شکل ۶- D تمام داده‌های تخلخل و تراوایی دولومیت‌ها را با محدوده‌های مختلف تراوایی نشان می‌دهد. دولوگرینستون‌ها و دولوستون‌های با بلورهای درشت در محدوده تراوایی متعلق به ذرات بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرون قرار می‌گیرند. تشخیص دانه‌ها و نیز بافت نمونه‌های دولومیتی شده با اندازه بلورهای بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرون خیلی مشکل است و برای این کار از موقعیت استراتیگرافی قرارگیری نمونه‌ها در طول برش مورد مطالعه



شکل ۵- تغییرات تخلخل با تراوایی در انواع مختلف دولومیت‌های شناسایی شده در سازند دالان بالایی.



شکل ۶- ترسیم دوتایی تراوایی-تخلخل که با محدوده‌های سه‌گانه تراوایی (Lucia and Conti (1987) مقایسه شده‌اند. (A) دولوستون‌های گل‌افزون با بلورهای دولومیتی در اندازه ۱۰ تا ۱۵۰ میکرون؛ (B) دولوگرینستون‌ها (اندازه دانه‌ها بین ۱۰۰ تا بیش از ۵۰۰ میکرون) با بلورهای دولومیتی در اندازه ۱۰ تا ۱۵۰ میکرون؛ (C) دولوپکستون‌های دانه‌افزون با بلورهای ریز تا متوسط (در تعداد کمی از نمونه‌ها دولوپکستون‌ها از بلورهای درشت با اندازه بیشتر از ۱۰۰ میکرون تشکیل شده‌اند)؛ (D) ترسیم چندگانه تراوایی-تخلخل، مربوط به فابریک‌های دولوستونی توضیح داده شده.

۴-۵. مقایسه داده‌های مخزنی سنگ آهک و دولومیت

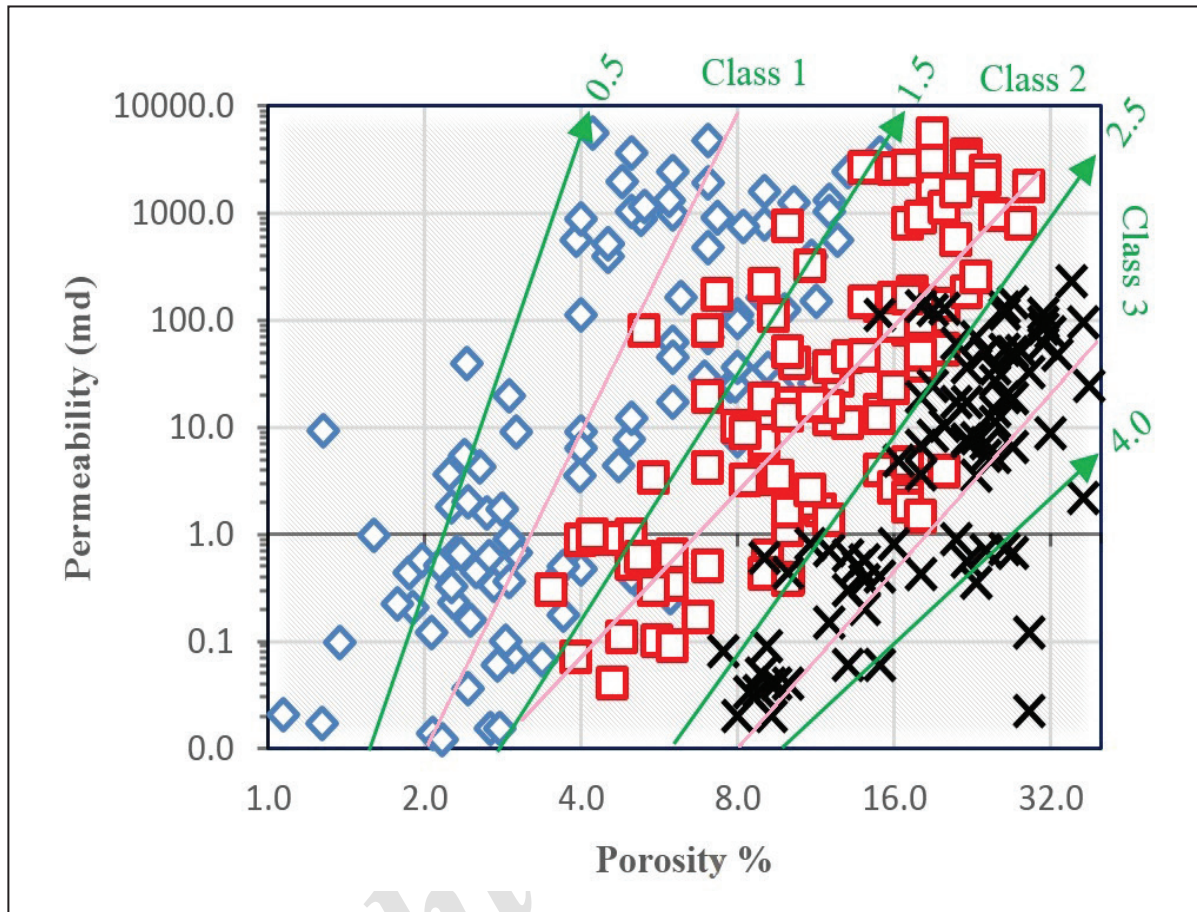
Lucia (2007) محدوده‌های تراوایی را به عنوان گروه‌های فابریک پتروفیزیکی ۱، ۲، ۳ معرفی کرده است. فابریک‌هایی که محدوده تراوایی گروه ۱ (محدوده تراوایی مربوط به ذرات بزرگ‌تر از ۱۰۰ میکرون) را تشکیل می‌دهند عبارتند از: (۱) سنگ آهک‌ها و گریستون‌های دولومیتی شده؛ (۲) پکستون‌های دانه‌افزون با بلورهای درشت و دولوستون‌های گل‌افزون. گریستون‌های آهکی دارای تخلخل و تراوایی تقریباً مشابه با نمونه‌های دولومیتی شده هستند. البته تخلخل و تراوایی نمونه‌های گل‌افزون (رخساره‌های با بافت مادستون، وکستون و به میزان کمتر پکستون) دولومیتی شده به مراتب بیشتر داده‌های مخزنی مربوط به نمونه‌های آهکی است. با افزایش اندازه دانه‌ها (ذرات تشکیل دهنده آهک‌ها و بلورهای تشکیل دهنده دولومیت‌ها)، شیب خط تخلخل - تراوایی تغییر می‌کند و تخلخل ارتباط کمی با تراوایی می‌یابد (Ahr, 2008).

فابریک‌هایی که در محدوده گروه ۲ (محدوده تراوایی مربوط به ذرات بین ۲۰ تا ۱۰۰ میکرون) قرار می‌گیرند عبارتند از پکستون‌های دانه‌افزون، دولوپکستون دانه‌افزون با بلورهای ریز تا متوسط و دولوستون‌های گل‌افزون با بلورهای متوسط. محدوده گروه ۳ (محدوده تراوایی مربوط به ذرات کوچک‌تر از ۲۰ میکرون) در برگرفته فابریک‌های گل‌افزون (شامل رخساره‌های با بافت‌های پکستون، وکستون و مادستون‌های گل‌افزون) و دولوستون‌های گل‌افزون با بلورهای ریز است. مطالعات مقاطع نازک نشان می‌دهد که در این محدوده ضمن افزایش درصد دانه تراوایی افزایش پیدا می‌کند. اگر چه فابریک‌ها به ۳ گروه پتروفیزیکی تفکیک می‌شوند، در طبیعت مرزی بین این گروه‌ها وجود ندارد، بلکه به جای آن یک پیوستگی از مادستون تا گریستون و از دولوستون‌های گل‌افزون با ذرات در اندازه ۵ میکرون تا دولوستون‌های گل‌افزون با ذرات در اندازه بیش از ۵۰۰ میکرون وجود دارد. بنابراین پیوستگی کاملی نیز از تغییرات تخلخل - تراوایی فابریک‌ها وجود دارد (Lucia, 2007). برای مدل‌سازی این پیوستگی، به مرز هر یک از گروه‌های پتروفیزیکی یک مقدار (۰/۵، ۱/۵، ۲/۵ و ۴) نسبت داده می‌شود. آهک‌های گل‌افزون و دولوستون‌های با بلورهای ریز گروه‌های ۲/۵ تا ۴ را در بر می‌گیرند. در دولوستون‌های گل‌افزون با افزایش اندازه بلورهای دولومیت از ۵ به ۲۰ میکرون و در آهک‌های گل‌افزون با افزایش حجم دانه، عدد معرف گروه کاهش پیدا می‌کند. در پکستون‌های دانه‌افزون، دولوپکستون‌های دانه‌افزون (با بلورهای ریز تا متوسط) و دولوستون‌های گل‌افزون با افزایش اندازه بلورهای دولومیت از ۲۰ میکرون به ۱۰۰ میکرون، با کاهش مقدار میکرایت بین دانه‌های و افزایش اندازه دانه، عدد معرف گروه یا ارزش گروه کاهش پیدا می‌کند. این شرایط در مورد پکستون‌های دانه‌افزون با بلورهای ریز تا متوسط نیز برقرار است. گریستون‌ها، دولوگریستون‌ها و دولومیت‌های با بلورهای درشت گروه‌های ۰/۵ تا ۱/۵ را در بر می‌گیرند. با افزایش اندازه دانه و اندازه بلورهای دولومیت از ۱۰۰ به ۵۰۰ میکرون، عدد معرف گروه پتروفیزیکی کاهش پیدا می‌کند. در اینجا سعی شده است تا به منظور روشن شدن میزان تأثیر دولومیتی شدن بر روی کیفیت مخزنی سازند مورد مطالعه داده‌های تخلخل و تراوایی متعلق به فابریک سنگ‌های آهکی و دولومیتی نشان داده شود. در شکل ۶ محدوده‌های تراوایی به عنوان گروه‌های فابریک پتروفیزیکی ۱، ۲ و ۳ نمایش داده شده‌اند. در این مقطع بهترین زون‌های با خواص مطلوب مخزنی را رخساره‌های دانه‌غالب و به‌ویژه گریستون‌ها تشکیل می‌دهند. در این سنگ‌ها دولومیتی شدن موجب توسعه تراوایی بین ذرات و نیز تخلخل شده است. این ویژگی‌ها بهترین خواص را برای بخش‌هایی از توالی مخزن دالان بالایی، در بخش‌های دور از ساحل ایجاد کرده است؛ جایی که رخساره‌های سدی بخش قابل توجهی از ارتفاع مخزن را تشکیل می‌دهند. بعد از رخساره به عنوان یک فاکتور اصلی، دیاژنز بیشترین تأثیر را بر خواص مخزنی داشته است. از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنری تأثیرگذار می‌توان دولومیتی شدن و انحلال را نام برد که هر دو در مراحل اولیه دیاژنز و تدفین کم‌عمق اتفاق افتاده‌اند. در این چاه نمونه‌های معرف رخساره کربناته کریستالین (متأثر از دولومیتی شدن گسترده) با تراوایی بالا و تخلخل متوسط تا بالا بهترین خواص مخزنی را دارند.

۶- بحث

با توجه به داده‌های مخزنی، رخساره‌های شناسایی شده و گروه‌های پتروفیزیکی تعیین شده، می‌توان توالی مورد مطالعه از سازند دالان بالایی را به دو زون مخزنی اصلی شامل زون‌های K3 و K4 تقسیم کرد (شکل ۷). البته تعیین زون‌های مخزنی بدون انجام مطالعات سکناس استراتیگرافی مناسب نیست و از دقت بالایی برخوردار نخواهد بود؛ اما به دلیل اهداف این مطالعه در اینجا تنها سعی شده است تا با توجه به مشخصات رسوب‌شناسی و گروه‌های پتروفیزیکی تعیین شده تنها یک دید کلی از مخزن به دست آید. رخساره‌ها نقش اصلی را در مشخصات مخزنی سازندهای مخزنی ایفا می‌کنند. بنابراین نقش آنها در تعیین و تقسیم بندی این زون‌ها و نیز گروه‌های پتروفیزیکی به وضوح قابل مشاهده است. تخلخل و تراوایی رخساره‌های مختلف در طول توالی در شکل ۷ نشان داده شده است که توجه به داده‌های ترسیم شده در مقابل یکدیگر در این شکل ارتباط بین آنها را به خوبی مشخص می‌کند. رخساره انیدریتی (MF1) به صورت یک سد عمل کرده و مانع جریان سیالات در طول زمان زمین‌شناختی شده است. رخساره 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. در بخش‌هایی نیز به دلیل بافت گل‌غالب و حضور تبخیری‌ها تراوایی بسیار کمی دارد و می‌تواند به صورت یک سد بالقوه عمل کند. این شرایط در مورد رخساره‌های استروماتولیتی (MF3)، مادستون فسیل‌دار (MF4) و پکستون بایوکلست‌دار پلوییدی/آنکوییدی (MF5) نیز برقرار است. در این رخساره‌ها دولومیتی شدن موجب افزایش قابل توجه تخلخل و نیز تراوایی شده است. اما نمونه‌های آهکی گل‌غالب در این رخساره‌ها حداقل تخلخل و تراوایی را نشان می‌دهند. در مورد رخساره‌های پکستونی دانه‌افزون و گریستونی محیط سدی و مجاور آن نیز این شرایط برقرار است. با این تفاوت که در این رخساره افزایش چشمگیر خواص مخزنی در اثر دولومیتی شدن آن طور که در سایر رخساره‌ها دیده می‌شود، قابل مشاهده نیست. در طول توالی دالان بالایی رخساره‌های گریستونی متعلق به محیط سدی دارای بالاترین خواص مخزنی هستند. در این رخساره‌ها دیاژنز جوی موجب انحلال دانه‌های آراگونیتی اولیه (آییدها و بایوکلست‌ها) و دولومیتی شدن موجب توسعه تراوایی بین ذرات و نیز تخلخل شده است. این ویژگی‌ها بهترین خواص را برای بخش‌هایی از توالی مخزن دالان بالایی، در بخش‌های دور از ساحل ایجاد کرده است؛ جایی که رخساره‌های سدی بخش قابل توجهی از ارتفاع مخزن را تشکیل می‌دهند. بعد از رخساره به عنوان یک فاکتور اصلی، دیاژنز بیشترین تأثیر را بر خواص مخزنی داشته است. از مهم‌ترین فرایندهای دیاژنری تأثیرگذار می‌توان دولومیتی شدن و انحلال را نام برد که هر دو در مراحل اولیه دیاژنز و تدفین کم‌عمق اتفاق افتاده‌اند. در این چاه نمونه‌های معرف رخساره کربناته کریستالین (متأثر از دولومیتی شدن گسترده) با تراوایی بالا و تخلخل متوسط تا بالا بهترین خواص مخزنی را دارند.

در شکل ۷ ترسیم داده‌های چگالی دانه، تراوایی و تخلخل مربوط به تمامی رخساره‌های شناسایی شده در طول ضخامت دالان بالایی در لیتولوژی‌های مختلف نشان داده شده است. این داده‌ها تأثیر دولومیتی شدن را بر روی بیشتر نمونه‌ها و بالاتر بودن میانگین تخلخل را در نمونه‌های دولومیتی شده چگال‌تر نشان می‌دهند که البته بالاتر بودن میزان چگالی در تعدادی از نمونه‌ها به دلیل وجود سنگ‌شناسی انیدریتی و نیز حضور سیمان انیدریتی است که با توجه به شکل، نمونه‌هایی که انیدریتی شدن در آنها موجب چگالی بالا شده است، بر خلاف نمونه‌های دولومیتی شده دارای تخلخل و تراوایی پایینی هستند.

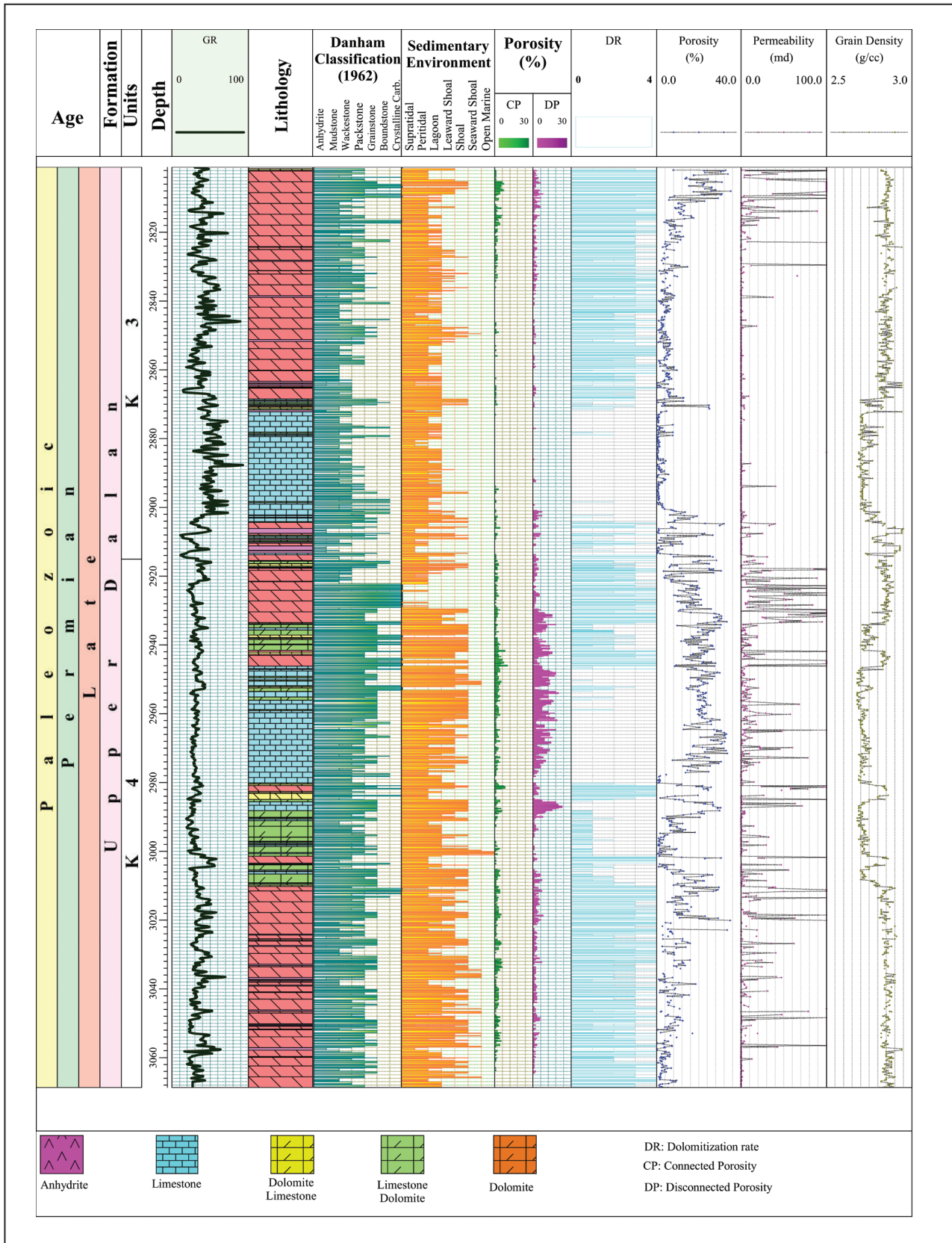


شکل ۷- ترسیم دوتایی تراوایی- تخلخل، مربوط به سنگ آهک‌ها و دولوستون‌های سازند دالان بالایی که خطوط رگرسیون (خطوط صورتی رنگ) آن را نشان می‌دهد.

با توجه به تمامی بررسی‌های دیاژنز، رخساره و تجزیه و تحلیل داده‌های مخزنی مشخص شد که بخش‌های پایینی زون‌های مخزنی تعیین شده که در آنها پیشروی رخساره‌ها به سمت خشکی دیده و به رخساره‌های محیط سدی ختم می‌شوند، دارای کیفیت مخزنی مطلوب جهت تجمع مواد هیدروکربنی هستند. بخش میانی زون K4 دارای بالاترین کیفیت مخزنی در طول توالی مورد مطالعه است. بخش پایینی این زون دولومیتی شده است و تراوایی بالا و تخلخل متوسط تا بالا نشان می‌دهد؛ بخش بالایی آن به دلیل آهکی بودن تحت تأثیر انحلال بالا قرار گرفته است و تخلخل بالا و تراوایی متوسط تا بالا نشان می‌دهد. در بالاترین بخش همین زون تأثیر دولومیتی شدن بار دیگر موجب ارتقای خواص مخزنی شده است (شکل ۷). زون K3 خواص مناسب مخزنی ندارد و تنها در بالاترین بخش در زیر مرز پرمین-تریاس، تخلخل و تراوایی بالایی در آن به دلیل تأثیرات همین مرز و پسروی دریا در انتهای پرمین و در نتیجه تأثیر دیاژنز متانوریک دیده می‌شود (شکل ۷). توجه به داده‌های تخلخل، تراوایی و چگالی ارتباط بین ریزرخساره‌ها، دیاژنز و داده‌های مخزنی را مشخص می‌کند (شکل ۸).

سیمان‌های دریایی کلسیتی همزمان با رسوب‌گذاری که به صورت رشته‌های هم‌ضعامت در اطراف آلوکم‌ها و به ویژه در گرینستون‌ها دیده می‌شوند، موجب ارتقای خواص مخزنی در بسیاری از بخش‌ها به دلیل مقاومت بیشتر در برابر تراکم و در نتیجه حفظ تخلخل‌های اولیه شده‌اند. انیدریت‌ها موجب تخریب خواص مخزنی و از بین بردن تخلخل و تراوایی در تمامی بخش‌هایی شده‌اند که به صورت سیمان، لایه‌ای، پزودومورف‌های ژپس و یا نودول‌های انیدریتی حضور داشته‌اند. دیگر عامل مخرب خواص مخزنی در برش مورد مطالعه سیمان کلسیتی است که در طی دیاژنز تدفینی با پر کردن فضاهای خالی موجب کاهش تخلخل و تراوایی شده است.

تراکم موجب کاهش کیفیت مخزنی در تمامی بخش‌هایی شده که این فرایند رخ داده است. با توجه به عمق تدفین سازندهای مطالعه شده این فرایند یکی از عوامل اصلی کاهش خواص مخزنی است که در نمونه‌های مورد مطالعه به صورت استیلولیت‌ها، درزه‌های انحلالی و دانه‌های له شده و شکسته شده (به ویژه در آئیدها مشهود است) بروز می‌کند.



شکل ۸- ترسیم داده‌های مربوط به خواص مخزنی، نرخ دولومیتی شدن و تغییرات محیط رسوبی در طول توالی سازند دالان بالایی.

۷- نتیجه گیری

در این مطالعه صرف نظر از دیاژنز، انطباق ژرفایی و محیطی نسبتاً خوبی بین ریزرخساره‌های شناسایی شده و کیفیت مخزنی برقرار است؛ آن چنان که خواص مخزنی بهتر با ریزرخساره‌های محیط پر انرژی (زون K4 در بیشتر ضخامت خود از این ریزرخساره‌ها تشکیل شده است) و کیفیت پایین تر با ریزرخساره‌های مربوط به لاگون محدود و پهنه جزرومدی (قسمت عمده توالی مربوط به زون K3 از این ریزرخساره‌ها تشکیل شده است) مشخص می‌شود. شایان ذکر است که رخساره‌های محیطی الزاماً تعیین کننده خواص مخزنی در دالان بالایی نیستند و توجه به داده‌های تخلخل و تراوایی مؤید تأثیر دیاژنز به عنوان فاکتور اصلی در کنترل کیفیت مخزنی است. رخساره انیدریتی به صورت یک سد عمل کرده و مانع جریان سیالات شده است. رخساره مادستونی 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، مادستون فسیل دار و پکستون بایوکلست دار پلوییدی/آنکوییدی نیز برقرار است. 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 دانه‌افزون و گریستونی محیط سدی

و مجاور آن نیز این شرایط برقرار است. با این تفاوت که در این رخساره‌ها افزایش چشمگیر خواص مخزنی در اثر انحلال دیده می‌شود. ترسیم داده‌های تخلخل و تراوایی در انواع مختلف دولومیت‌ها نشان می‌دهد که در اغلب دولومیت‌ها میزان تراوایی به‌طور مستقیم به تخلخل کل بستگی ندارد؛ بلکه به میزان به هم مرتبط بودن حفره‌ها از طریق حفره‌های گلوگاهی بستگی دارد. به‌طوری که با افزایش میزان دولومیتی شدن و رشد بلورهای دولومیت از دولومیکرات به سمت دولومیکرواسپارایت (بیشتر بلورها دارای مرزهای بلورین نیمه‌مسطح) و دولواسپارایت (بیشتر بلورها دارای مرزهای بلورین مسطح) میزان تخلخل کاهش و میزان تراوایی افزایش می‌یابد و با رشد بیشتر دولومیت‌ها و تشکیل سیمان‌های دولومیتی تخلخل و تراوایی حتی در گریستون‌ها از بین می‌رود. ترسیم دوتایی تراوایی-تخلخل دولوستون‌های گل‌افزون با بلورهای دولومیتی در اندازه ۱۰ تا ۱۵۰ میکرون که با محدوده‌های سه‌گانه تراوایی لوسیا مقایسه شده‌اند، نشان‌دهنده افزایش تراوایی با افزایش اندازه بلورهای دولومیت است. این ترسیم در دولوگریستون‌ها نشان‌دهنده افزایش تراوایی به میزان نه چندان چشمگیر در انواع مختلف دولومیت‌هاست و در دولوپکستون‌ها باعث افزایش تخلخل و تراوایی در حدی می‌شود که آنها خواص مخزنی مشابه گریستون‌ها از خود نشان می‌دهند.

Archive of SID

References

- Aali, J., Rahimpour-Bonab, H. and Kamali, M. R., 2006- Geochemistry and origin of natural gas in the world's largest non-associated gas field. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 50, p. 163–175.
- Adabi, M. H., 2009- Multistage dolomitization of the Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopeh dagh Basin, NE Iran, Carbonates and Evaporites, v. 24, p. 16-32.
- Adabi, M. H., Kakemem, U. and Sadeghi, A., 2016- Sedimentary facies, depositional environment, and sequence stratigraphy of Oligocene–Miocene shallow water carbonate from the Rig Mountain, Zagros basin (SW Iran). *Carbonates and evaporites*, v. 31(1), p. 69-85.
- Ahr, W. M., 2008- *Geology of Carbonate Reservoirs*. John Wiley and Sons, 296 pp.
- Burchette, T. P. and Wright, V. P., 1992- Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, v. 79, p. 3-57.
- Buxton, M. W. N. and Pedley, H. M., 1989- A standardized model for Tethyan Tertiary carbonate ramps. *Journal of the Geological Society*, v. 146, p. 746-748.
- Dickson, J., 1965- Carbonate identification and genesis as revealed by staining, *Journal of Sedimentary Petrology*, V. 205, p. 491-505.
- Dunham, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional textures. *Journal of American Association Petroleum Geology*, 108-121.
- Feldman, M. and McKenzie, J., 1998- Stromatolite-Thrombolite associations in a modern environment, Lee Stocking Island, Bahamas. *Palaios*, v. 13, p. 201-212.
- Flügel, E., 2010- *Microfacies analysis of limestone, analysis interpretation and application*, Berlin: Springer-Verlag.
- Geel, T., 2000- Recognition of stratigraphic sequences in carbonate platform and slope deposits: empirical models based on microfacies analysis of paleogene deposits in southeastern Spain, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 155, p. 211–238.
- Gregg, J. M. and Sibley, D. F., 1984- Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 54, p. 908-931.
- Hips, K. and Hass, J., 2006- Calcimicrobial stromatolites at the Permian-Triassic boundary in a western Tethyan section, Bukk Mountains, Hungary: *Sedimentary Geology*, v. 185, p. 239- 253.
- 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: *Geo Arabia*, v. 11, p.75-176.
- James, N. P., and Jones, B., 2016- *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks*. Wiley, London, pp. 446.
- Kakemem, U., Adabi, M. H., Sadeghi, A. and Kazemzadeh, M. H., 2016- Biostratigraphy, paleoecology, and paleoenvironmental reconstruction of the Asmari formation in Zagros basin, southwest Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 9(2), p.1-15.
- Lucia, F. J. and Conti, R. D., 1987- Rock fabric, permeability, and log relationships in an upward-shoaling, vuggy carbonate sequence, The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Geological Circular 87-5, p. 22.
- Lucia, F. J., 1995- Rock-fabric/petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization. *American Association of Petroleum Geologists*, 79(9), pp.1275-1300.
- Lucia, F. J., 2007- *Carbonate Reservoir Characterization: An Integrated Approach* Springer, Second Edition, 366 pp.
- Martini, R., Cirilli, S., Saurer, C., Abate, B., Ferruzza, G. and Cicero, G. L., 2007- Depositional environment and biofacies characterisation of the Triassic (Carnian to Rhaetian) carbonate succession of Punta Bassano (Marettimo Island, Sicily). *Facies*, v. 53(3), p.389-400.
- Mazzullo, L., 1992- Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: a review, *Carbonates and Evaporites*, v. 7, p. 21- 37.
- Mountjoy, E. W. and Marquez, X. M., 1997- Predicting reservoir properties in dolomites: Upper Devonian Leduc buildups, Deep Alberta Basin. In: Kupecz, J.A., Gluyas, J., Bloch, S. (Eds.), *Reservoir Quality Prediction in Sandstones and Carbonates*: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 69, p. 267-306.
- Pomar, L., 2001- Types of carbonate platforms: a genetic approach. *Basin Research*, v. 13, p. 313–334.
- Read, J., 1985- Carbonate platform facies models. *American Association of Petroleum Geologists*, v. 69, p. 1-21.
- Sibley, D. F. and Gregg, J. M., 1987- Classification of dolomite rock texture, *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 57, p. 967-975.
- Tucker, M. E. and Wright, V. P., 1990- *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 482.
- Warren, J. K., 2000- Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth Science Reviews*, v. 52, p. 1-81.
- Wilson M. E. J. and Evans M. E. J., 2002- Sedimentology and diagenesis of tertiary carbonates on the Mangkalihat Peninsula, Borneo: implications for subsurface reservoir quality. *Marine and Petroleum Geology*, v. 19, p. 873–900.
- Wilson, J. L., 1975- *Carbonate Facies in Geologic History*, Springer Verlag, New York, pp. 471.

Dolomitization, microfacies and their impact on reservoir quality of the Upper Dalan Formation in South Pars Gas Field

U. Kakemem^{1*}, M. H. Adabi² and B. Goodarzi³

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

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

³M.Sc., Pars Oil and Gas Company, Tehran, Iran

Received: 2017 October 04

Accepted: 2018 January 08

Abstract

Investigating of dolomitization and its effects on reservoir quality of the Upper Dalan Formation with Permian and Triassic in age is the aim of this study. In this section, the Upper Dalan Formation consists of carbonate and evaporite rocks with a thickness of 265m. Eleven carbonate-evaporate microfacies have been distinguished on the basis of depositional textures, petrographic analysis and present fauna. These microfacies were deposited in three facies belts including tidal flat, lagoon and carbonate shoal. Absents of turbidite (calciturbidite) and tempesties deposits, slump structures, large barrier reef, widespread tidal flat and lagoonal facies with abundant of mud matrix indicated that depositional setting of this interval was a homoclinal carbonate ramp. Based on petrographic studies, 4 types of dolomite including dolomicrite, dolomicrosparite, dolosparite and dolomite cement are recognized. Porosity and permeability data in varies dolomites reveals that in most dolomite the amount of permeability is not directly related to whole porosity, but depends mainly on the amount of connected porosities through bottleneck holes and is associated with increasing in dolomite crystal sizes. Therefore, from the early stage of dolomitization toward increasing in the rate of dolomitization with larger crystal size and with the form of subhedral and euhedral crystals, the reservoir properties had a high visible improvement. Ultimately, by persisting of dolomitization and growth of dolomite crystals toward each other and disappearance of bottleneck holes and creation of dolomite cements, reservoir properties decreased. Dolomitization increased reservoir quality in grain dominated dolo-packstones with planner crystal texture.

Keywords: Microfacies, Dolomitization, Reservoir Quality, Porosity, Permeability, Upper Dalan Formation

For Persian Version see pages 137 to 148

*Corresponding author: U. Kakemem; E-mail: u_kakemem@sbu.ac.ir