

مطالعه ریزرخساره‌ها، دیاژنز و ارزیابی کیفیت مخزنی سازند دالان (پرمین پسین) در میدان گازی کیش، جنوب ایران

مجتبی آوردن^۱، کاظم شعبانی گورجی^{۲*} و شهرام حبیبی مود^۳

۱- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، زاهدان، ایران

۲ و ۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، زاهدان، ایران

نویسنده مسئول: KSG1354@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۳

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

سازند دالان، توالی کربناته با سن پرمین بالایی است که در نواحی فارس و خلیج فارس به طور گسترده نهشته شده است. سازند دالان در مقطع تحت‌الارضی چاه کیش ۱، ۲ و B2 از میدان گازی جزیره کیش مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات پتروگرافی و آنالیز رخساره‌ها منجر به شناسایی ۱۲ ریزرخساره گردید. این ریزرخساره‌ها در یک رمپ کربناته تک شیب و در ۴ زیرمحیط رسوبی شامل پهنه‌های جزرومدی، تالاب، سد و دریای باز نهشته شده‌اند. مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی که سنگ‌های کربناته سازند دالان را تحت تاثیر قرار داده‌اند شامل میکریتی شدن، سیمانی شدن، انیدریتی شدن، فشردگی، دولومیتی شدن و انحلال است. کانی‌های دیاژنزی حاصله در این نهشته‌ها شامل سه نوع دولومیت با بافت جایگزینی، دو نوع دولومیت با بافت سیمانی، دو نوع انیدریت و دو گروه سیمان کلسیتی است. دولومیت نوع جایگزینی عموماً کیفیت مخزنی را بهبود و انیدریت با ساخت لایه‌ای با ایجاد مانع در مسیر حرکت هیدروکربور از کیفیت مخزنی می‌کاهد. تخلخل‌های بین‌بلوری، بین‌ذره‌ای و برشی شده بهترین نوع تخلخل در کل سنگ است. سنگ‌های مخزنی بر مبنای آنالیز مغزه حفاری (SCAL data) و توصیف مقاطع نازک به ۴ رده (RRTs-1 to RRTs-4) تقسیم شدند. رده یک بهترین نوع سنگ مخزن برای ذخیره و تولید هیدروکربور بوده و به سمت رده چهارم از کیفیت مخزنی کاسته می‌شود. با توجه به داده‌های موجود محیط رسوبی بطور کامل نمی‌تواند ایجاد کننده شرایط لازم برای به وجود آمدن سنگ‌های با کیفیت مخزنی باشند، بلکه عمدتاً دیاژنز نهایی همراه با دی‌پیرسیم نمک تعیین کننده مخزنی شدن یا غیرمخزنی شدن سازند است.

واژگان کلیدی: سازند دالان، رمپ کربناته، راک‌تایپ، سنگ مخزن، جزیره کیش

۱- پیشگفتار

عمدتاً در زیرپهنه فارس و فراساحل فارس در خلیج فارس واقع شده است، هرچند که تعدادی از آن‌ها در پهنه لرستان و پس‌خشکی بندرعباس نیز دیده می‌شوند (شکل ۱). مخازن دهرم در خارج از مرزهای ایران نیز ادامه داشته و در کشورهای عربی همسایه (قطر، عربستان، امارات متحده عربی و بحرین) با نام معادل لیتوستراتیگرافی گروه دهرم یعنی خوف^۲ شناخته می‌شود (کاشفی، ۱۹۹۲؛ اسرافعی دیزاجی و رحیم‌پوربناب، ۲۰۰۹). میدان گازی کیش که در آب‌های خلیج فارس واقع شده و مورد مطالعه این تحقیق است از نوع گروه دهرم بوده و هدف از حفاری آن بهره‌برداری گاز از سازندهای دالان و کنگان می‌باشد. هدف اصلی در این تحقیق مطالعه ریزرخساره‌ها و دیاژنز و تاثیر

ایران سرزمینی با منابع هیدروکربوری فراوان است و از این لحاظ جایگاه ویژه‌ای را در جهان به خود اختصاص داده، لذا شناسایی و دستیابی به این منابع و ذخایر از نظر اقتصادی و استراتژی، بسیار مهم و حیاتی است. میدان‌های گازی زاگرس را می‌توان به دو واحد بزرگ، گروه دهرم^۱ و جوان‌تر از دهرم تقسیم کرد. گروه دهرم شامل سازندهای فراقون، دالان و کنگان است. میدان‌های گازی گروه دهرم بیشتر از نوع میدان‌های بسیار عظیم و عظیم هستند که در این گروه سازندهای دالان (پرمین میانی و پسین) و کنگان (تریاس پیشین) برای برداشت گاز در خلیج فارس همیشه مورد توجه بوده‌اند. این مخازن گازی پرموتریاس

^۲ Khuff

^۱ Dehram Group

بررسی کرده‌اند. ایرجیان و همکاران (۲۰۱۶) نقش تخلخل بر روی راک‌تایپ‌های مخزنی سازند دالان را مطالعه نمودند.

۳- روش کار

روش تحقیق مبتنی بر بررسی و ارزیابی مطالعات پیشین و مطالعات میدانی شامل اطلاعات بدست آمده از مغزه‌های حفاری چاه‌های شماره ۱ و ۲ و B2 و مطالعه تعداد ۴۱۲ عدد برش نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری مربوط به سازند دالان بالایی توسط میکروسکوپ پلاریزان می‌باشد که منجر به شناسایی ریزرخساره‌ها و فرایندهای دیاژنزی و تاثیر آن‌ها بر کیفیت مخزن گازی کیش شده است. رخصاره‌های سازند دالان در میدان مورد مطالعه و کمربندهای رخصاره‌ای توسط طبقه‌بندی فلوگل (۲۰۱۰) و ویلسون (۱۹۷۵) نام‌گذاری شده‌اند. برای تشخیص دولومیت از کلسیت از محلول آلیزارین قرمز استفاده شده است. در این مطالعه فرایندهای دیاژنتیکی مختلف رسوبات سازند دالان بالایی مشخص و انواع تخلخل با استفاده از طبقه‌بندی چوکت و پری (۱۹۷۰) نام‌گذاری و در نهایت توالی پاراژنتیکی آن‌ها ارایه شده است. پس از تعیین محیط دیاژنتیکی، بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری و همچنین تعیین نسبی تقدم و تاخر فرایندهای دیاژنز نسبت به یکدیگر، پارازنز رویدادهای دیاژنتیکی سازند دالان در چاه‌های مورد مطالعه مشخص گردید. در نهایت بر اساس داده‌های به دست آمده، تاثیر این فرایندها بر کیفیت مخزن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴- زمین‌شناسی

ساختار کیش یک ساختار گنبدی شکل است که به کمک فعالیت‌های ژئوفیزیکی در دهه ۷۰ در خلیج فارس شناسایی شده است (شکل ۱). این ساختمان بر اثر برخاست نمک هرمز شکل گرفته و تشکیل جزیره‌ای در شمال خلیج فارس را داده است. پوشش سطحی ساختمان از واحدهای رسوبی جوان معادل بختیاری (آهک‌های خارک) تشکیل گردیده است. این ساختمان از شمال بوسیله تاقدیس‌های چپرو و چارک، از باختر به وسیله ساختار گنبدی تندر و کیش غربی، از جنوب توسط ساختمان‌های پوریا، فارور B و قباد و از خاور بوسیله گنبد نمکی فارور A احاطه شده است. ابعاد ساختمان که در خارج از آب قرار گرفته در حدود ۸ کیلومتر در ۱۵ کیلومتر است که به صورت تقریبی بیضی

فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند دالان با استفاده از داده‌های برش‌های نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری و مغزه‌های حفاری چاه‌های ۱، ۲ و B2 در جزیره کیش در جنوب ایران می‌باشد.

۲- تاریخچه موضوع و پیشینه پژوهش

برای اولین بار هریسون و همکاران (۱۹۳۲) در کوه‌های بختیاری توالی پرمین و تریاس را گزارش کردند. سزابو و خردپیر (۱۹۷۸) پس از کشف میدان بزرگ گازی در سازندهای دالان و کنگان در استان فارس، با استفاده از مطالعات رخنمون سطحی کوه سورمه و چاه شماره ۱ کوه سیاه، گروه دهرم با سن پرمین تا تریاس پیشین شامل سازندهای فراقون، دالان و کنگان را معرفی نموده و هم-ارزی سازندهای پرمین و تریاس در منطقه زاگرس و نواحی نزدیک به آن را انجام دادند. کاووسی (۱۳۷۴) ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازندهای دالان و فراقون را در کوه دنا و سورمه مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفت که رخصاره‌های موجود در یک رمپ کربناته نهشته شده است. زمانی (۱۳۹۰) بر اساس مطالعه خرده‌های حفاری بخش بالایی سازند دالان در چاه کیش ۲ نتیجه گرفت که این بخش از سازند در چهار زیرمحیط رسوبی دریای باز، سد، تالاب و پهنه جزرومدی تشکیل شده است. ربانی (۲۰۰۴) با مطالعات ژئوشیمیایی، منشاء گاز موجود در سازند دالان و کنگان را مواد آلی موجود در خود سازند دالان یا سازندهای قدیمی تر می‌داند. ایسالکو و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از اطلاعات تحت‌الارضی میادین موجود در خلیج فارس و رخنمون‌های ناحیه خلیج فارس، محیط رسوبی و خواص مخزنی سازندهای دالان و کنگان را به تفصیل بررسی کردند. رحیم‌پوربناب و همکاران (۲۰۱۰) در مورد مدل دولومیتی شدن و انیدریتی شدن بخش بالایی سازندهای دالان و کنگان در میدان گازی پارس جنوبی تحقیق کرده و تاثیر آن‌ها بر روی کیفیت مخزنی را مورد بررسی قرار دادند. توکلی و رحیم‌پوربناب (۲۰۱۲) مرز پرموتریاس را در خلیج فارس مورد بررسی قرار داده و تهی‌شدگی این مرز از اورانیوم را مطالعه و بیان داشتند که آب دریا در آن زمان دچار بی‌اکسیژنی و رسوبات تشکیل شده در انتهای پرمین تحت تاثیر آب‌های متئوریک قرار گرفته‌اند. ایراجیان و همکاران (۱۳۹۳) نقش کانی‌های دیاژنزی را بر روی راک‌تایپ‌سازی مخزنی سازند دالان در میدان گازی کیش

سورمه (۱۱۰ کیلومتری جنوب شیراز) رخنمون دارد. سن سازند دالان توسط باغبانی (۱۳۸۲) گوپرگندینین تا دورآشامین تعیین شده است و در بسیاری از نواحی زاگرس یک دگرشیبی در مرز پرمین و تریاس قابل شناسایی است. محیط رسوبی سازند دالان بر اساس مطالعه خرده‌های حفاری بخش بالایی در چاه ۲ نشان‌دهنده ته‌نشینی آن‌ها در محیط‌های دریای باز، سد، تالاب و پهنه جزرومدی است (زمانی، ۱۳۹۰).

دیده می‌شود. بررسی تکتونیک نمک در منطقه نقش بسیار موثری در سازوکار و سن شکل‌گیری ساختمان کیش دارد (جهانی و همکاران، ۲۰۰۹). سازند دالان که یکی از سازندهای گروه دهرم می‌باشد از رخساره‌های کربناتی ردیف‌های پرمین بالایی زاگرس تشکیل شده است. بُرش الگوی سازند دالان دارای ۷۴۸ متر ضخامت که در چاه شماره (۱) کوه سیاه معرفی شده است. بهترین رخنمون سطحی سازند دالان ۶۳۸ متر ضخامت دارد و در کوه



شکل ۱. موقعیت میدان گازی کیش (زرد رنگ) در مقایسه با تعدادی از میدان‌های نفت و گاز همجوار آن
Fig. 1. The location of Kish gas field (yellow) compared to a number of oil and gas fields adjacent to it

۵- بحث

۵-۱-۱- ریزرخساره‌های محیط دریای باز

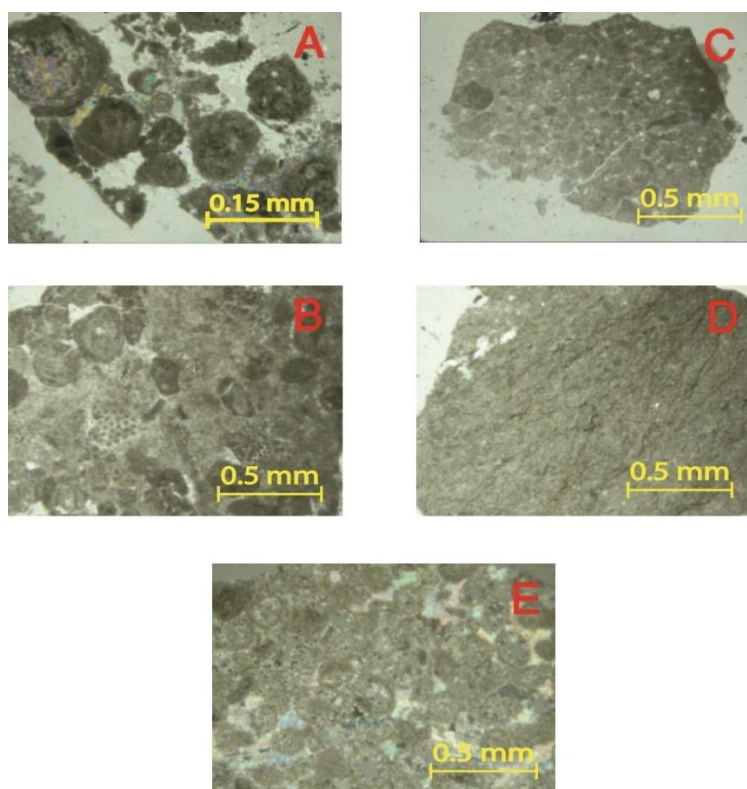
این محیط بر مبنای ۳ ریزرخساره و کستون بیوکلاستی و کستون پلوییدی دارای خرده‌فسیل مادستون آهکی آرژیلی شناخته شدند. و کستون بیوکلاستی از خرده‌های اسکلتی محدودی نظیر جلبک‌های سبز و خرده‌های دیگر و فرامینیفرهای بنتیک مانند فوزولینید و میلیولید تشکیل شده است. این ریزرخساره منطبق بر کمربند رخساره‌ای شماره ۱ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۱۸ فلوگل و ویلسون و RMF16 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴). و کستون پلوییدی دارای خرده‌فسیل‌دار در بردارنده اجزای اسکلتی خرد شده مانند دوکفه‌ای می‌باشد. وجود این قطعات فسیلی به صورت خرد شده و با درصد

۵-۱- ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی

به دنبال مطالعه برش‌های نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری و بررسی خصوصیات فسیل‌شناسی و بافتی نمونه‌ها اعم از آلوکم‌ها (اسکلتی و غیراسکلتی)، سیمان، ذرات تخریبی و ماتریکس، مجموعه ریزرخساره‌ای مشخص شده‌اند. با توجه به مطالعات پتروگرافیکی تعداد ۱۲ میکروفاسیس در قالب چهار مجموعه رخساره‌ای شناسایی گردیده است که از سمت دریا به خشکی به شرح زیر می‌باشند: A- مجموعه رخساره‌ای دریای باز، B- مجموعه رخساره‌ای پُشته‌ای، C- مجموعه رخساره‌ای تالاب و D- مجموعه رخساره‌ای جزرومدی.

ارگانسیم‌های دریایی و محیط عمیق دارد. ضمن آنکه وجود زمینه‌ای از گل‌های همی‌پلاژیک به همراه آغستگی به کانی‌های رسی حاکی از شرایط رسوب‌گذاری در عمق خیلی پایین‌تر از خط اثر امواج و در شرایط کاملاً آرام و کمبود اکسیژن دارد (شکل ۲). این میکروفاسیس منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۱ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۳ فلوگل و ویلسون و RMF2 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴).

کم حاکی از حمل و نقل توسط امواج از محل اصلی زیست این موجودات یعنی محیط تالابی و مناطق کم عمق به مناطق نیمه‌عمیق و دریای باز و رسوب‌گذاری این قطعات همراه با کم شدن انرژی امواج است. این میکروفاسیس منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۴ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۵ فلوگل و ویلسون و RMF3 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴). مادستون آهکی آرژیلی که عدم وجود قطعات اسکلتی برجا (درصد ناچیز) حاکی از شرایط نامساعد برای رشد و نمو



شکل ۲. میکروفاسیس‌ها (نور پلاریزان، بزرگ‌نمایی 4x): A, B: وکستون بیوکلاستی دریای باز، (چاه کیش ۱، عمق‌های ۳۴۳۶ و ۳۵۵۰ متر). C: وکستون پلویدی دارای خرده فسیل، (چاه کیش ۲، عمق ۳۶۶۶ متر). D: مادستون آهکی آرژیلی، (چاه کیش ۲، عمق ۳۴۴۴ متر). E: گرینستون آیددار همراه با تخلخل قالبی، (چاه کیش ۲، عمق ۳۶۱۴ متر).

Fig. 2. Microfacies (polarized, 4x magnification): A, B: Open sea bioclastic wackestone, (Kish 1 well, depths of 3436 and 3550 m). C: Peloid wackestone with fossil fragments, (Kish 2 well, depth 3666 m). D: argillaceous limestone mudstone, (Kish well 2, depth 3444 m). E: Ooied greenstone with molded porosity, (Kish 2 well, depth 3614 m).

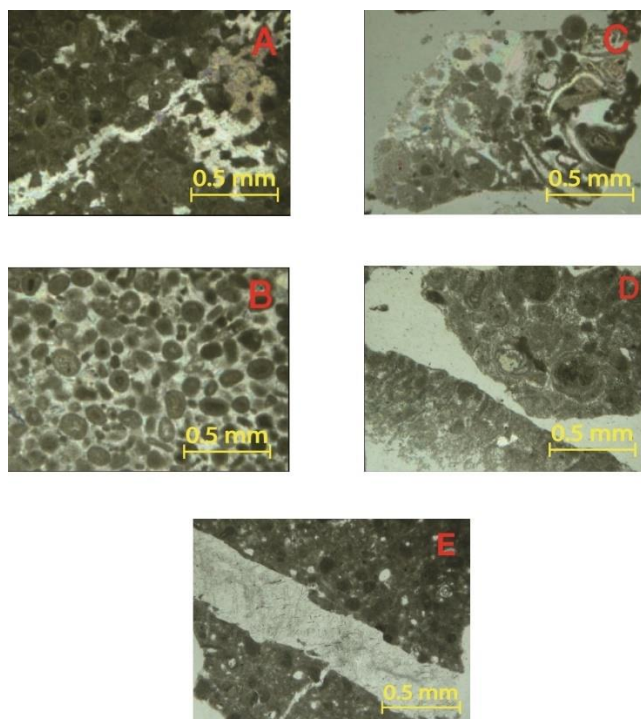
تشکیل شده است (بیشتر از ۷۰ درصد کل آلوکم‌ها). در این ریزرخساره می‌توان به مشارکت خرده‌های اسکلتی و پلویدها (حداکثر ۲۰ درصد کل آلوکم‌ها) نیز اشاره کرد. این میکروفاسیس منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۴ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۵ فلوگل و ویلسون و RMF29 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴). ریزرخساره پکستون پلویدی دارای بیوکلاست با وجود خرده‌های اسکلتی حمل شده از محیط تالاب به مقدار زیاد

۵-۱-۲- ریزرخساره‌های محیط سد

این محیط بر مبنای ۴ ریزرخساره گرینستون آیددار همراه با تخلخل قالبی، پکستون پلویدی دارای بیوکلاست، گرینستون پلویددار و گرینستون اینتراکلاست و بیوکلاست‌دار همراه با تخلخل بین‌دانه‌ای شناسایی شدند (شکل ۳). ریزرخساره گرینستون آیددار همراه با تخلخل قالبی به عنوان اصلی‌ترین ریزرخساره مخزنی سازند دالان عمدتاً از آیدهای آراگونیتی انحلال یافته یا جانشین شده

است. این ریزرخساره منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۵ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۱۱ فلوگل و ویلسون و RMF30 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴). ریزرخساره گرینستون اینتراکلاست و بیوکلاست‌دار همراه با تخلخل بین‌دانه‌ای بیانگر رسوب‌گذاری در پارانرژی‌ترین بخش تپه‌های پشته‌ای سازند دالان است. با نگاهی به ترکیب عناصر اسکلتی می‌توان دریافت که شرایط رسوب‌گذاری آن با دیگر رخساره‌های پشته‌ای تا حدودی متفاوت است، به طوری که اندازه آلوکمه‌ها و نوع خرده‌های اسکلتی آن بیانگر محیط پارانرژی و متصل به دریای آزاد است (شکل ۳). این میکروفاسیس منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۶ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۸ فلوگل و ویلسون و RMF26 فلوگل است.

(حدود ۵۰ درصد) حاکی از حمل و نقل از محیط تالابی و نزدیک محیط این نهشته‌ها به محیط تالابی و شرایط کم عمق و تحت تاثیر امواج دریا دارد. وجود مقداری از زمینه میکرایتی (۳۰ درصد) در محیط سدی می‌تواند بر اثر کم شدن انرژی در محیط یا له شدن و خرد شدن پلویدهای میکرایتی در نتیجه تاثیر عوامل مختلف دیاژنزی از جمله فشردگی باشد. این ریزرخساره منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۷ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۱۸ فلوگل و ویلسون و RMF26 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴). ریزرخساره گرینستون پلوییدار که آلوکم اصلی آن پلویید و دارای جورشدگی خوبی است. همراه پلویدها مقدار کمی از قطعات اسکلتی خرد شده نیز مشاهده می‌شود که حاکی از شرایط پارانرژی مجاور تالاب



شکل ۳. میکروفاسیس‌ها (نور پلاریزان، بزرگ‌نمایی 4x): A: پکستون پلوییدی دارای بیوکلاست (چاه کیش ۲، عمق ۳۵۲۶ متر). B: گرینستون پلوییدار (چاه کیش ۲، عمق ۳۶۱۶ متر). C: گرینستون اینتراکلاست و بیوکلاست‌دار همراه با تخلخل بین‌دانه‌ای (چاه کیش ۲، عمق ۳۶۹۸ متر). D: پکستون دارای فرامینیفراهای بنتیک و جلبک سبز (چاه کیش ۲، عمق ۳۵۱۲ متر). E: وکستون پلوییدی دارای بیوکلاست (چاه کیش ۲، عمق ۳۴۳۴ متر).

Fig. 3. Microfacies (polarized light, 4x magnification): A: Peloidy pakstone with bioclasts, (Kish well 2, depth 3526 m). B: Peloidy greenstone, (Kish well 2, depth, 3616 m). C: Greenstone with intraclasts and bioclasts with intergranular porosity, (Kish 2 well, depth, 3698 m). D: Packstone with benthic foraminifera and green algae, (Kish well 2, depth, 3512 m). E: Peloidy wackestone with bioclasts, (Kish 2 well, depth, 3434 m).

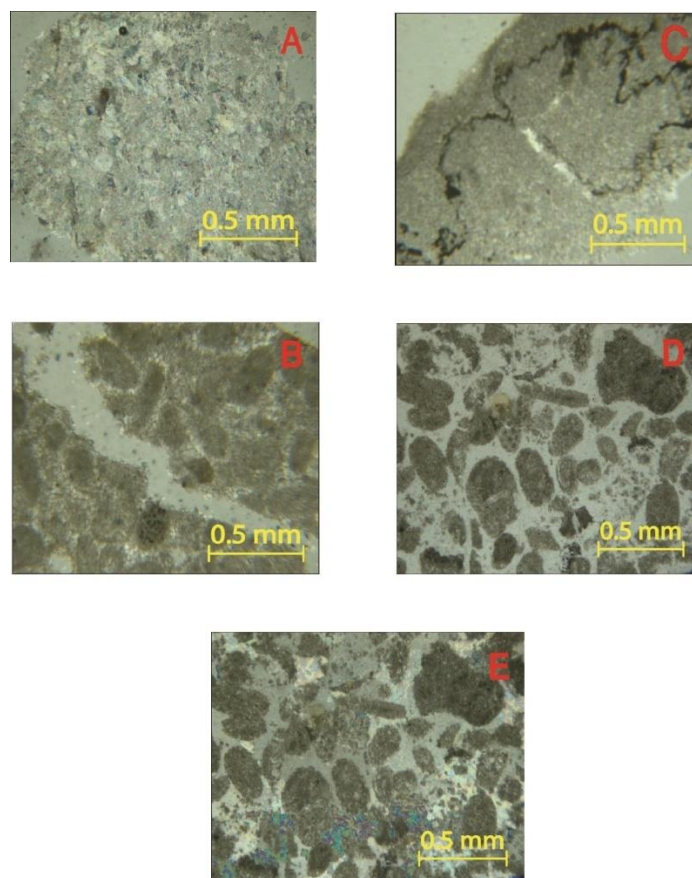
و جلبک سبز با حضور جلبک سبز از جنس داسی‌کلاداسه به همراه فرامینیفراهای بنتیک (میلیولید) از خصوصیات بارز زیرمحیط تالابی می‌باشند. همچنین وجود پلویید به صورت برج‌ها و لکه مانند حاکی از رسوب‌گذاری در همان محیط تشکیل و عدم حمل‌شدگی دارد. این ریزرخساره

۵-۱-۳- ریزرخساره‌های محیط تالاب

این زیر محیط بر مبنای ۳ ریزرخساره پکستون دارای فرامینیفراهای بنتیک و جلبک سبز، وکستون پلوییدی دارای بیوکلاست و پکستون پلوییدی شناسایی شدند (شکل ۴). ریزرخساره پکستون دارای فرامینیفراهای بنتیک

فلوگل و ویلسون و RMF20 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴). ریزرخساره پکستون پلوییدی که وجود پلویید درجا در زمینه به مقدار زیاد به همراه زمینه میکرایتی نشان از شرایط با گردش محدود آب، عمق متوسط آب و اثر کم امواج دریا دارد. این ریزرخساره منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۸ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۶ فلوگل و ویلسون و RMF16 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴).

منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۸ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۸ فلوگل و ویلسون و RMF20 فلوگل است. ریزرخساره وکستون پلوییدی دارای بیوکلاست با وجود پلویید همراه با خمیره میکرایتی و فسیل‌های شاخص محیط تالاب از جمله جلبک سبز و فرامینیفرهای بنتونیک حاکی از شرایط رسوب‌گذاری مناطق کم انرژی و عمق زیاد و منطقه با گردش محدود آب در محیط تالاب دارد. این ریزرخساره منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۷ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۰



شکل ۴. میکروفاسیس‌ها (نور پلاریزه، بزرگ‌نمایی 4x): A, B: پکستون پلوییدی (چاه کیش ۱، عمق‌های ۳۵۳۸ و ۳۶۴۰ متر). C: مادستون دولومیتی همراه با قالب‌های تبخیری، (چاه کیش ۱، عمق ۳۶۸۴ متر). D, E: پکستون-گرینستون اینتراکلاستی دارای پلویید (چاه کیش B2، عمق ۳۵۴۰ متر).

Fig. 4. Microfacies (polarized light, 4x magnification): A, B: peloid packstone, (Kish 1 well, depths of 3538 and 3640 m). C: Dolomitic mudstone with evaporite molds, (Kish 1 well, depth 3684 m). E, D: Packstone - intraclastic greenstone with peloid, (Kish B2 well, depth, 3540 m).

کربناته گرم و خشک با تبخیر بالا در بخش سبخای خلیج فارس مشاهده می‌شود (شیم، ۱۹۹۳ و ۱۹۸۶؛ فریدمن، ۱۹۹۵؛ تاکر و رایت، ۱۹۹۰). این ریزرخساره منطبق بر کمر بند رخساره‌ای شماره ۹ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۲۳ فلوگل و ویلسون و RMF25 فلوگل است ریزرخساره پکستون-گرینستون اینتراکلاستی دارای پلویید که وجود اینتراکلاست‌ها با اندازه‌های متفاوت و از منشاء

۵-۱-۴- ریزرخساره‌های محیط جزرومدی

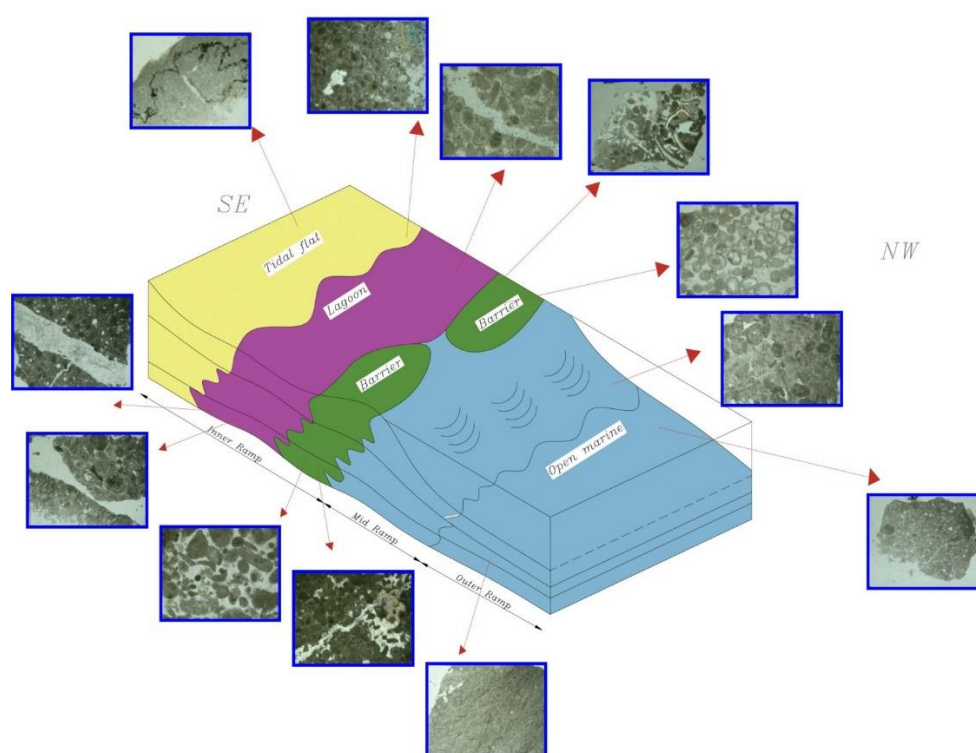
این زیرمحیط بر مبنای ۲ ریزرخساره مادستون دولومیتی همراه با قالب‌های تبخیری که نشان‌دهنده غلبه اقلیم گرم و خشک و محدودیت گردش آب دریا در این حوضه است. محیط تشکیل این رخساره عموماً به گودال‌های کوچک و پهنه‌های گلی در پهنه‌های بین جزرومدی نسبت داده می‌شود. امروزه شبیه به این رخساره در برخی پلاتفرم‌های

یک رمپ کربناته با شیب ملایم در نظر گرفت. سازند دالان در منطقه مورد مطالعه، شرایط محیط رسوب‌گذاری سکو و میانی و خارجی را دارا بوده ولی گسترش و ضخامت رخساره‌های لاگونی و سدی به ویژه آبییدی در این توالی بیشتری دارد. در شکل ۵ مدل رسوبی بخش بالایی سازند دالان در مقاطع مورد مطالعه با توجه به ریزرخساره‌های شناسایی شده ارائه گردیده است. گسترش زیاد سدهای زیرآبی، فراوانی رخساره‌های آبییدی و قالب‌های بلورهای تبخیری و تنوع کم فسیل‌ها دلالت بر وجود آب و هوای گرم و خشک مشابه محیط امروزی خلیج فارس (پورسر، ۱۹۷۳) در طی رسوب‌گذاری دالان است.

تالابی حاکی از رسوب‌گذاری در شرایط پهنه‌های جزرومدی و تغییرات ناگهانی در انرژی محیط در اثر عواملی نظیر توفان می‌باشد. این ریزرخساره منطبق بر کمریند رخساره‌ای شماره ۹ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۲۵ فلوگل و ویلسون و RMF24 فلوگل است.

۵-۲- مدل رسوبی

با توجه به ریزرخساره‌های شناسایی شده و دسته‌بندی رخساره‌ها بر اساس روش فلوگل و ویلسون (ویلسون، ۱۹۷۵؛ فلوگل، ۲۰۰۴)، می‌توان محیط رسوب‌گذاری نهشته‌های کربناته سازند دالان را در ناحیه مورد مطالعه،



شکل ۵. مدل رسوبی سازند دالان در منطقه مورد مطالعه

Fig. 5. Sedimentary model of Dalan Formation in the study area

میکریتی شدن: پوشش میکریتی از فرآیندهایی است که در بخش بالایی سازند دالان و به خصوص در مقاطع مربوط به تالاب و حاشیه تالاب که رسوبات بستر توسط جلبک‌ها پایدار شده‌اند دیده می‌شود. البته به مقدار کم این فرآیند در محیط دریایی فعال نیز قابل مشاهده است. **سیمانی شدن:** در سنگ‌های کربناته در مناطق مختلف دیاژنزی (ائوژنتیک، مزوژنتیک و تلوژنتیک)، کلسیت (سیمان کلسیتی) به شکل‌های گوناگونی تشکیل می‌شود که تمام آن‌ها به‌عنوان پرکننده تخلخل و برخی کم‌کننده

۶- فرآیندهای دیاژنزی

دیاژنز سنگ‌های کربناته فرآیندهای مختلفی را شامل می‌شود که در محیط‌های نزدیک به بستر دریا، جوی و تدفین عمیق صورت می‌گیرند. در این مطالعه ابتدا به توضیح فرآیندهای دیاژنزی مشاهده شده در سازند دالان پرداخته و سپس به دلیل اهمیت تخلخل‌های موجود در ارتباط با خصوصیات مخزنی، به شرح انواع تخلخل مشاهده شده در مقاطع مورد مطالعه پرداخته و در نهایت توالی پاراژنتیکی ارائه شده است.

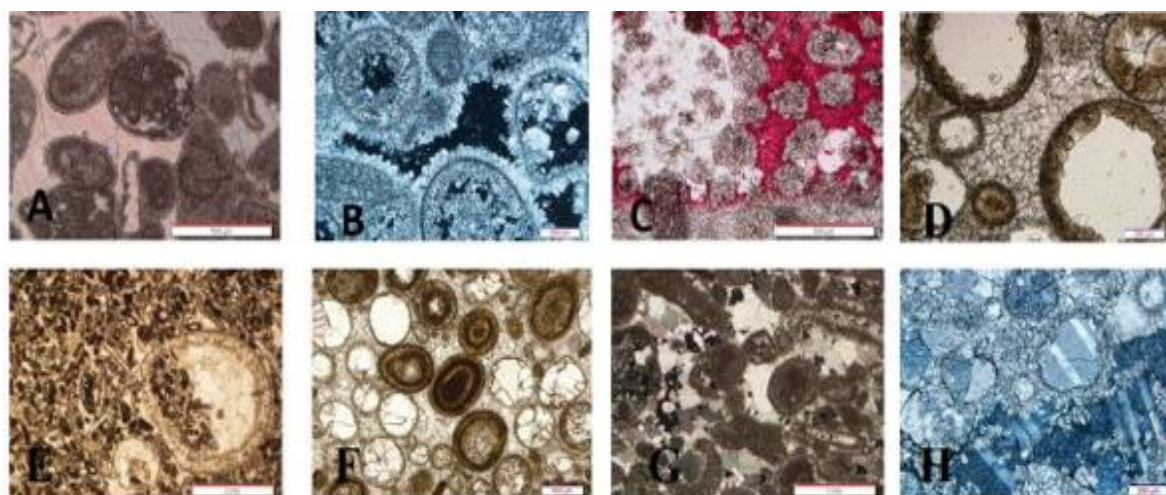
ذرات سبب شده تا این رخساره‌ها در مقابل تراکم فیزیکی مقاوم شده و در نتیجه تخلخل بین ذره‌ای در این رخساره‌ها حفظ شده است.

ب- سیمان‌های دروزی و فراگیر (پوکیلتوپیک): سیمان دروزی و پوکیلتوپیک نسل‌های بعدی است که پس از سیمان فیبری/تیغه‌ای تشکیل شده و فضای بین آلوکمی باقیمانده را پر کرده است. این سیمان‌ها در طی دیاژنز اولیه و تاخیری بوجود می‌آیند. از خصوصیات بارز این سیمان افزایش اندازه بلورها به سمت مرکز حفرات است. نوع پوکیلتوپیک به صورت بلورهای درشتی دیده می‌شود که چندین دانه را دربر می‌گیرد (شکل ۶).

تراوایی، نقش ایفا می‌کنند. در میدان گازی کیش، این کلسیت‌ها را می‌توان در دو دسته کلی ذیل شرح داد که هر کدام دارای انواع مختلفی هستند (شکل ۶).

۱- سیمان کلسیتی پرکننده تخلخل بین آلوکم‌ها و فسیل‌ها: در میدان گازی کیش، سیمان‌های اسپاری به شکل‌های مختلف، فضای اولیه موجود بین آلوکم‌ها و فسیل‌ها را پر کرده‌اند:

الف- سیمان فیبری و تیغه‌ای: به نظر می‌رسد این سیمان اولین سیمان تشکیل شده در سازند دالان باشد (شکل ۶ تصویرهای A, B). این سیمان که معمولا به عنوان یک سیمان فراتیک دریایی شناخته می‌شود اطراف آئیدها و فسیل‌ها را فراگرفته است. حضور این سیمان در اطراف



شکل ۶. انواع سیمان‌های کلسیتی در سازند دالان: A. سیمان اسپاری فیبری/ تیغه‌ای در یک گرین‌استون آئیدی (فلش)، فضای بین آلوکم‌ها توسط انیدریت اشغال شده و فشردگی فیزیکی موجب تماس و انحنای مرز دانه‌ها شده است. B. سیمان اسپاری فیبری/تیغه‌ای در یک گرین‌استون آئیدی. فضای سیاه‌رنگ در شکل تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای هستند. C. فضای بین آئیدهای کاملا دولومیتی شده و تخریب شده (دولومیتی شدن انتخابی) توسط سیمان اسپاری پوکیلتوپیک (قرمز رنگ) اشغال شده است. سیمان پوکیلتوپیک سفیدرنگ، سیمان انیدریتی است. D. سیمان اسپاری بلوکی (دروزی) که فضای بین آئیدها را اشغال کرده است. در این شکل یک وارونگی تخلخل دیده می‌شود و تخلخل قالبی بوجود آمده است (کرم‌رنگ). پوشش میکریتی هم بوضوح در اطراف دانه‌ها وجود دارد. E. سیمان اسپاری پرکننده بیش از نیمی از تخلخل قالبی ایجاد شده در یک جلبک. F. سیمان اسپاری پرکننده تخلخل قالبی آئیدها در یک گرین‌استون آئیدی (سفیدرنگ). G. سیمان اسپاری موزاییکی (هم‌بعد) پرکننده فضای بین آئیدها. H. کلسیت اسپاری پرکننده شکستگی و قالب‌های آئیدی با یکدیگر در یک گرین‌استون آئیدی.

Fig. 6. Types of calcite cements in the Dalan Formation: A. Fibrous/lamellar spar cement in an ooid grainstone (arrow), the space between allochemes is occupied by anhydrite, and physical compression has caused contact and curvature of grain boundaries. B: Fibrous/lamellar spar cement in an ooid grainstone. The black space is in the form of intergranular and intragranular pores. C. The space between the completely dolomitized and degraded (selective dolomitization) ooid is occupied by poikilitic spar cement (red color). White poikilitic cement is anhydrite cement. D. Blocky spar cement (drusy) occupying the space between the ooid. In this figure, an inversion of porosity can be seen and mold porosity has been created (cream color). Micrite coating is also clearly present around the grains. E. Spar cement fills more than half of the mold porosity created in an alga. F. Spar cement filling mold porosity of ooides in an ooid grainstone (white color). G. Mosaic spar cement (homogeneous) filling the space between the ooides. H. Fracture-filling sparry calcite and ooid molds together in an ooid grainstone.

تخلخل اولیه باشد و می‌توان آن را به منطقه آئوژنتیک و تلوزنتیک ربط داد، به شرط اینکه جریان آب زیاد بوده و بطور مداوم آب تحت اشباع از کربنات کلسیم با آلوکم‌ها و

۲- سیمان کلسیتی پرکننده تخلخل قالبی و شکستگی‌ها: ایجاد تخلخل قالبی می‌تواند نشانه غلبه دیاژنز متئوریک و ایجاد تخلخل ثانویه پس از بین رفتن

گلدبرگ، ۲۰۲۲). برای تشخیص از رده‌بندی‌های استفاده شده (هن و همکاران، ۲۰۰۴. نادر و همکاران، ۲۰۰۴. بازرگانی گیلانی و همکاران، ۲۰۱۰) الگو گرفته شده است. دولومیت‌های شناسایی شده عبارتند از:

- 1- Very fine crystalline, nonplanar, xenotopic-a (Rd1);
- 2- Fine to medium crystalline, planar-e dolomite rhombs, idiotopic-e (Rd2);
- 3- Medium crystalline, planar-s, subhedral to euhedral mosaic dolomites, idiotopic-s (Rd3);
- 4- Medium to coarse crystalline, planar-e, euhedral to subhedral dolomite cements, idiotopic-c (Cd1);
- 5- Coarse crystalline, non-planar, saddle dolomite cements (Cd2).

از میان این دولومیت‌ها، انواع ۱ تا ۳ از نوع جایگزینی و انواع ۴ و ۵ از نوع سیمان دولومیتی هستند.

دولومیت‌های جایگزینی^۱: این دولومیت‌ها عموماً در دمای زیر ۶۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند.

الف- دولومیت نوع ۱ (Rd1): این دولومیت به صورت ریزبلور بی‌شکل با ابعاد کمتر از ۱۰ میکرون دیده می‌شود، بنابراین به دولومیکرایت معروف است. پژوهشگران زیادی بر روی این نوع دولومیت تحقیق کرده و محیط تشکیل آن را سبزا و سکوه‌های محصور می‌دانند که از آن جمله می‌توان به سیلی و گرگ (۱۹۷۸)، وارن (۲۰۰۰)، چوکوته و هیات (۲۰۰۸) و بازرگانی گیلانی و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد. در این میدان گازی، این نوع دولومیت با رشد بیشتر تبدیل به نوع ۲ می‌شود.

ب- دولومیت نوع ۲ (Rd2): این دولومیت فراوان‌ترین نوع است. معمولاً بصورت بلورهای خودشکل (ایدیوتوپیک e) در ابعاد حدود ۷۰ میکرون دیده می‌شوند و در زمینه میکرایتی سنگ بوده و معروف به دولواسپارایت می‌باشد. هسته برخی از دولومیت‌های مذکور از کلسیت تشکیل شده است. در میدان گازی مورد مطالعه این نوع دولومیت تبدیل به نوع ۳ می‌شود. فضای بین دولومیت‌های نوع ۲ توسط دولومیت نوع ۱ یعنی کلسیت و انیدریت پُر شده است.

ج- دولومیت نوع ۳ (Rd3): دولومیت موزاییکی متوسط بلور با ابعاد ۸۰ میکرون است. این بلورها معمولاً در اثر فراوانی ادخال ظاهری مه‌آلود داشته و گاهی حاشیه شفاف دارند. دولومیت نوع ۳ مخرب فابریک سنگ بوده و به شدت

فسیل‌ها در ارتباط بوده باشد. شکستگی‌ها معمولاً طی تحركات تکتونیکی رخ داده که در منطقه تلوژنتیک به وقوع می‌پیوندد.

الف- سیمان کلسیتی پرکننده تخلخل قالبی: در این سازند می‌توان درون این تخلخل سیمان دولومیتی و انیدریتی مشاهده کرد ولی کمی سیمان کلسیتی نیز وجود دارد که تمام قالب ایجاد شده را پُر کرده است. تخلخل قالبی نمی‌تواند به تراوایی بیشتر مخزن کمک کند و فقط ذخیره (تخلخل) هیدروکربوری را زیاد می‌کند ولی در استحصال هیدروکربور کمک زیادی نمی‌کند، به تبع آن پرشدن این نوع تخلخل نیز نمی‌تواند در کاهش تراوایی مخزن نقش زیادی ایفا کند.

ب- سیمان کلسیتی پرکننده شکستگی‌ها: در مخازنی که تخلخل بالا و تراوایی پایین دارند شکستگی معمولاً باعث بهبود تراوایی و استحصال بیشتر هیدروکربور می‌شود و پرشدن این شکستگی‌ها نیز در کاهش تراوایی مخزن تاثیر زیادی دارند. در سازند دالان در میدان مذکور اکثر این شکستگی‌ها با انیدریت و دولومیت و مقداری با کلسیت پُر شده‌اند و با بررسی مقاطع نازک بنظر نمی‌رسد خیلی تاثیری بر روی کاهش تراوایی داشته باشند. میزان این نوع سیمان کم بوده و زیر یک درصد از فضای تخلخل را اشغال کرده است.

فشردگی

۱- **فشردگی فیزیکی:** تراکم فیزیکی نقش مهمی در فرآیند فشردگی در نظر گرفته می‌شود (ژائو و همکاران، ۲۰۲۲). عوارض حاصل از فشردگی فیزیکی در سازند دالان به صورت تغییر شکل لایه‌های متحدالمرکز آئیدها و ایجاد آرایش نزدیک‌تر دانه‌ها مشاهده می‌شود.

۲- **فشردگی شیمیایی:** در سازند دالان استیلولیت‌ها عموماً دارای دامنه تضاریس بزرگ‌تر از قطر دانه‌ها می‌باشند. از دیگر خصوصیات بارز آن‌ها قطع کردن فابریک سنگ است به طوری که به صورت یکسان دانه‌ها، سیمان و ماتریکس را قطع می‌کنند.

دولومیتی شدن: دولومیت‌های سازند دالان را می‌توان با توجه به خصوصیات بلورهای دولومیت و بر پایه اندازه بلور شناسایی کرد (شکل ۷). جایگزینی ترکیبات اولیه و دیاژنتیکی با دولومیت در چند فاز انجام می‌شود (لی و

¹ Replacive dolomites

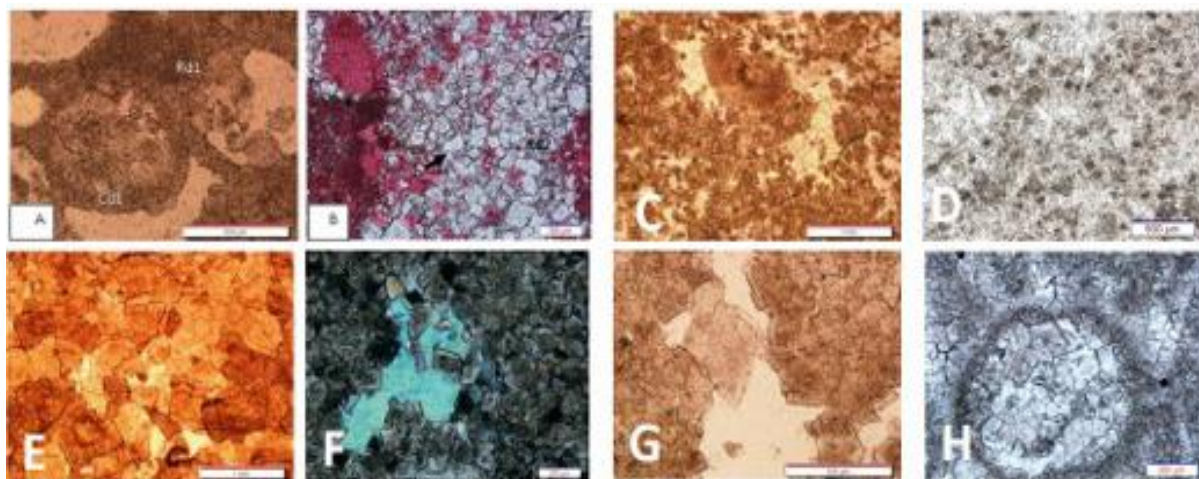
شکل‌دار با ابعاد حدود ۱۵۰ میکرون می‌باشد. این دولومیت‌ها بصورت پُرکننده تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی در گرین‌استون‌ها و در طول رگچه‌های استیلولیتی دیده می‌شوند.

ب- دولومیت سیمانی نوع ۲ (Cd2): این‌ها همان دولومیت‌های زین‌اسبی هستند که بلورهای غیرصفحه‌ای، منحنی‌شکل با خاموشی موجی داشته و دارای ابعاد حدود ۱۵۰ میکرون می‌باشند. اکثر این دولومیت‌ها به علت حضور میزان زیادی ادخال سیال، حالت مه‌آلود دارند. البته گاهی بلورهای با حاشیه شفاف نیز در دولومیت‌های زین‌اسبی گزارش شده است. همچنین این دولومیت‌ها گاهی از مرکز به سمت حاشیه آئیده‌ها در گرین‌استون‌ها رشد می‌کنند.

مشخصات دیاژنز اولیه و محیط رسوبی را از بین می‌برد. ترتیب تشکیل دولومیت‌های جایگزینی در میدان گازی مذکور به صورت $Rd1 \rightarrow Rd2 \rightarrow Rd3$ است. براساس دولومیت‌زایی وسیع انواع ۲ و ۳ همراه با انیدریت‌زایی وسیع در این سکوی کربناته به ویژه در زیر محیط‌های لاگون و سد، احتمالاً مکانیسم دولومیت‌زایی نشتی-بازگشتی^۲ در این سکو موثر بوده است.

سیمان‌های دولومیتی: این دولومیت‌ها در دمای بالای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و احتمالاً طی دیاژنز تدفینی تشکیل شده‌اند.

الف- دولومیت سیمانی نوع ۱ (Cd1): این دولومیت (idiotopic-c) دارای بلورهای Planar-e، خودشکل تا نیمه



شکل ۷. انواع دولومیت در سازندهای دالان. A, B. دولومیت Rd1. در سازند دالان این نوع دولومیت در زمینه یک گرین‌استون آئیدی دیده می‌شود. سیمان دولومیت Cd1 نیز بخشی از فضای داخل آئیده‌ها را پر کرده است. همانطور که دیده می‌شود Rd1 در حال تبدیل به Rd2 است. در شکل B دارای هسته کلسیتی می‌باشد (فلش سیاه رنگ). C, D. دولومیت‌های تیپ ۲ (Rd2) یکی از مشخصه‌های این تیپ، دارا بودن هسته مه‌آلود و حاشیه شفاف دولومیت است به خوبی دیده می‌شود. E, F. بلورهای نیمه‌شکلدار تا بی‌شکل دولومیت‌های تیپ ۳ (Rd3) این تیپ دولومیت معمولاً مخرب فابریک و تخلخل است. در شکل H بخشی از فضای یک تخلخل حفره‌ای توسط Cd1 اشغال شده است. G, H دولومیت‌های زین‌اسبی با ساختمانی منحنی‌شکل و با خاموشی موجی که یک شکستگی را و یک آئید را پر کرده‌اند.

Fig. 7. Types of dolomite in Dalan formations. A, B. Dolomite Rd1. In Dalan formation, this type of dolomite can be seen in the context of an ooid grainstone. Cd1 dolomite cement has also filled a part of the space inside the ooides. As can be seen, Rd1 is becoming Rd2. Rd2 in Figure B has a calcite core (black arrow). C, D. Type 2 (Rd2) dolomites. One of the characteristics of this type is having a cloudy core and clear rim of dolomite, which can be seen well. E, F. Semi-amorphous to amorphous crystals of type 3 dolomites (Rd3). This type of dolomite is usually destructive of fabric and porosity. In figure C, part of the space of a cavity is occupied by Cd1. G, H saddle dolomites with a curvilinear structure and with wave extinction that filled a fracture and an ooid.

لوسیا (۱۹۸۳) تخلخل مذکور از نوع بین‌ذره‌ای (IP) بوده و برای تراوایی مخزن بسیار مهم است (شکل ۸).

ب-تخلخل درون‌ذره‌ای: تخلخل مذکور در رسوبات کربناته فراوان بوده و در صورت حفظ شدن در سنگ‌های کربناته، از نوع اولیه است. نوع دیگر این تخلخل توسط انحلال و حفاری توسط موجودات حفر ایجاد می‌گردد و از

انواع تخلخل در سازند دالان

۱- تخلخل اولیه، تحت تاثیر فابریک سنگ

الف-تخلخل بین‌ذره‌ای: در سازند دالان این نوع تخلخل معمولاً بین آلوم‌های آئیدی و دانه‌های اسکلتی پلوییدی دولومیتی در توالی‌های موجود در K3 و K4 (سازند دالان) همچنین K1 و K2 گسترش یافته است. برپایه رده‌بندی

² Seepage- reflux

مذکور از نوع بین‌ذره‌ای (IP) و برای تراوا کردن مخزن بسیار اهمیت دارد.

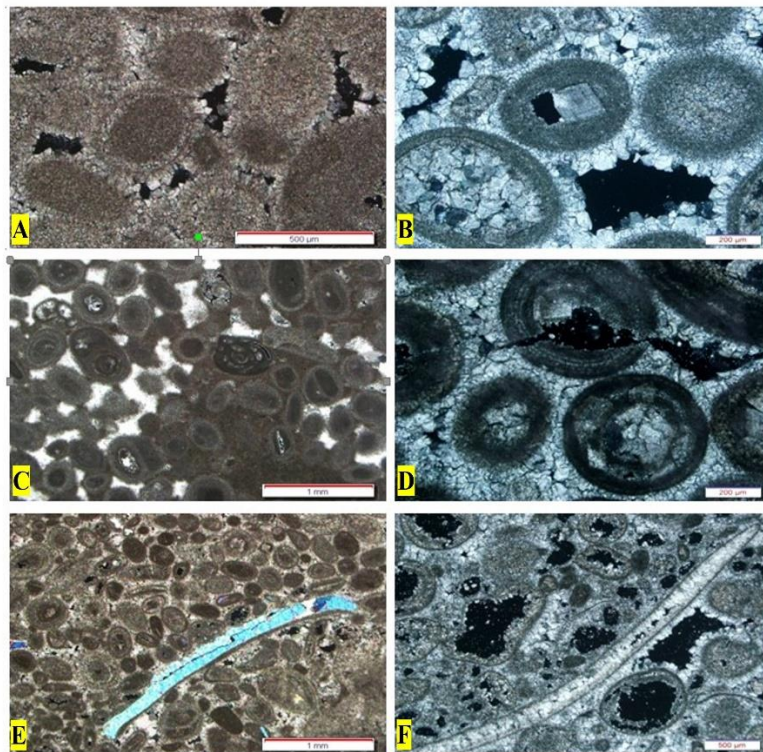
ب- **تخلخل قالبی**: این نوع تخلخل فراگیرترین تخلخل در سازند دالان است. معمولاً درون رخساره‌های آبییدی و اسکلتی دیده می‌شود. اندازه این حفرات به اندازه آلوکم، میزان انحلال‌پذیری آلوکم و شدت انحلال بستگی دارد. بر این اساس آلوکم‌های با ترکیب آراگونیت و کلسیت پرمینیم آمادگی انحلال بیشتری نسبت به ترکیبات دیگر دارند. این تخلخل در زون‌های K1 تا K4 در سازند دالان تشکیل شده‌اند. تخلخل مذکور ممکن است طی دیاژنز اولیه رخ دهد (سیمو و همکاران، ۱۹۹۴) ولی عموماً حاصل دیاژنز در محیط متئوریک با آب تحت اشباع از یون کربنات کلسیم با جریان آب فراوان است. برپایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل مذکور از نوع حفرات جدا از هم (SV) بوده و کمک زیادی به تراوایی مخزن نمی‌کند.

نوع پس از رسوب‌گذاری می‌باشد. انحلال زودهنگام اثر سازنده‌ای بر کیفیت مخزن دارد (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). برپایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل مذکور از نوع حفرات جدا از هم (SV) بوده و تاثیر زیادی بر کیفیت مخزنی ندارد.

ج- **تخلخل پناهگاهی**: این نوع تخلخل معمولاً در صدف‌هایی دیده می‌شود که از طرف مقعر خود بر روی رسوبات قرار می‌گیرند. تخلخل مذکور در سازند دالان دیده می‌شود. برپایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل مذکور از نوع حفرات جدا از هم (SV) است.

۲- تخلخل ثانویه، تحت تاثیر فابریک سنگ

الف- **تخلخل بین‌بلوری**: این نوع تخلخل از دولومیت‌های نوع Rd1, Rd2, and Rd3 تشکیل شده است. تخلخل مذکور باعث ایجاد بهترین نوع مخزن گاز در میدان گازی کیش شده است. برپایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل



شکل ۸. انواع تخلخل اولیه، تحت تاثیر فابریک سنگ: A, B. تخلخل بین‌دانه‌ای در شکل‌های مذکور، تخلخل بین آلوکم‌های آبییدی در یک گرین‌استون آبییدی رخ داده است. فلش در شکل B نشان‌دهنده تخلخل درون‌دانه‌ای ثانویه است. C, D. تخلخل درون‌دانه‌ای از نوع اولیه (فلش‌های سفید) در یک گرین‌استون آبییدی، و از نوع پس از رسوب‌گذاری و حاصل انحلال در یک گرین‌استون آبییدی، D, E. تخلخل پناهگاهی: در سازند دالان این نوع تخلخل (فلش سفید) در اثر فضای ایجاد شده در زیر یک خرده صدف ایجاد شده E, F. این تخلخل با حضور یک صدف دوکفه‌ای ایجاد شده است.

Fig. 8. Types of primary porosity, the influence of rock fabric: A, B. Intergranular porosity in the mentioned figures, the porosity between ooid allochemes has occurred in an ooid grainstone. Arrow in Figure B indicates secondary intragranular porosity. C, D. Intragranular porosity: of primary type (white arrows), in an ooid grainstone C, and of post-deposition and dissolution type in an ooid grainstone D. E, F. Refuge porosity: in the Dalan Formation, this type of porosity (white arrow) due to the space created under a shell fragment E, F This porosity is created by the presence of a bivalve shell.

ظریف و پیچیده‌ای بوده و معروف به بافت نمدی می‌باشند. در مغزه‌های حفاری، ساخت تورمرگی و لایه‌ای در اثر فشردگی و بهم پیوستگی این نودول‌ها به وجود آمده‌اند. قطر نودول‌ها از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر در تغییر بوده و سفید تا شیری‌رنگ می‌باشند. لوسیا (۲۰۰۷) معتقد است بافت نودولی تاثیر زیادی بر روی خصوصیات مخزنی ندارد.

ب- ساخت لایه‌ای: این ساخت عموماً شاخص محیط‌های پهنه‌کشندی بوده (لوسیا، ۲۰۰۷؛ وارن، ۲۰۰۰) و در میدان‌گازی کیش، ساخت مذکور در دولومادستون‌ها دیده می‌شود. این ساخت باعث ایجاد لایه ناتراوای محلی و یا فراگیر در مسیر جریان گاز شده و باعث لایه‌بندی درونی مخزن شده است. ضخامت لایه‌های مذکور بین ۱ تا ۳۰ سانتی‌متر متغیر است. البته باید به این نکته اشاره کرد که هر دو ساخت نودولی و لایه‌ای طی دیاژنز اولیه تشکیل می‌شوند ولی تشکیل ساخت نودولی طی دیاژنز تدفینی هم گزارش شده است.

۲- بافت‌های انیدریتی

در این قسمت به تعدادی از بافت‌های انیدریتی مرتبط با ساخت‌های مذکور اشاره می‌شود:

الف- بافت سوزنی‌شکل: در این نوع بافت، طول بلور نسبت به عرض آن خیلی بیشتر است (شکل ۹ A, B). بلورها معمولاً مجزا از هم بوده و در زمینه دولومادستونی پراکنده‌اند (شکل ۹ B). این سوزن‌ها معمولاً موازی تا نیمه‌موازی با یکدیگر هستند. در سازند دالان این بافت دیده می‌شود (شکل ۹ B). در این میدان بافت مذکور طی دیاژنز اولیه در محیط‌کشندی تشکیل شده است.

ب- بافت متبلور: در این بافت نسبت طول به عرض بلور تقریباً نزدیک به هم بوده و دارای اندازه و شکل‌های متنوعی می‌باشند (شکل ۱۰ C, D). این بافت طی دیاژنز اولیه و در پهنه‌کشندی تا سبخوا بوجود آمده است، هر چند می‌توان آن را در هر محیط و شرایط دیاژنزی که تحت کنترل سیالات انیدریت‌زا باشد مشاهده کرد.

ج- بافت شعاعی: این نوع بافت بیشتر درون ساخت نودولی یا تخلخل قالبی دیده می‌شود (شکل ۱۰ E, F). این نوع بافت را می‌توان در داخل تمام حفرات موجود در سنگ و تمام محیط‌های تحت کنترل سیالات انیدریت‌زا مشاهده کرد. در میدان‌گازی کیش، این بافت طی شرایط گوناگون

۳- تخلخل‌هایی که تحت تاثیر فابریک سنگ نیستند
الف- تخلخل شکستگی: شکستگی معمولاً در تمام سازندهای زیرسطحی رخ می‌دهد و عمدتاً با انحلال همراه است. در سازند دالان تخلخل مذکور بیشتر با انیدریت، دولومیت و کلسیت پُر شده‌اند و با فراوانی کمتر می‌توان به کانی‌هایی مثل سلسیت و کوارتز نیز اشاره کرد. بر پایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل مذکور از نوع حفرات به هم متصل (TV) بوده و اکثراً با پرشدن شکستگی‌ها و در نتیجه قطع شدن ارتباط گلوگاه‌ها، تراوایی کاهش می‌یابد.
ب- تخلخل کانالی: این نوع تخلخل در سازند دالان فراوان نیست. تخلخل مذکور در این سازند بیشتر در مادستون‌ها و وکستون‌ها رخ داده است. البته تعداد کمی از آن‌ها حفظ شده و مابقی با انیدریت، کلسیت و یا دولومیت پر شده‌اند.
ج- تخلخل حفره‌ای: این نوع تخلخل همراه با تخلخل غاری بیشتر با انحلال انواع ناپایدار و نیمه‌پایدار رسوبات کربناته (آلوکم‌ها و فسیل‌ها) ایجاد می‌شود (ایمینهایزر، ۲۰۱۲). در سازند دالان تخلخل مذکور بیشتر در سنگ‌های بلوری دیده می‌شود.

۴- تخلخل‌هایی که ممکن است تحت تاثیر فابریک سنگ باشند یا نباشند.

الف- تخلخل استیلولیتی: استیلولیت‌ها را نتیجه مستقیم انحلال در پاسخ به تنش‌های حاصل از تدفین عمیق می‌دانند (وانلس، ۱۹۷۹). سیالات در امتداد استیلولیت حرکت کرده و کانی‌های قابل انحلال را حل می‌کند. در سازند دالان این نوع تخلخل در اندازه و شکل‌های متنوع رخ داده است.

ب- تخلخل پرشی: پرشی شدن توالی‌های سنگ‌های کربناته ممکن است بدنال ریزش توالی‌های تبخیری‌ها و سنگ‌های آهکی در اثر انحلال بوجود آید. این نوع تخلخل در سازند دالان خیلی فراوان نیست ولی باعث ایجاد سنگ مخزن با کیفیت شده است. بر پایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل مذکور از نوع حفرات به هم متصل (TV) است.

انیدریتی شدن سازند دالان

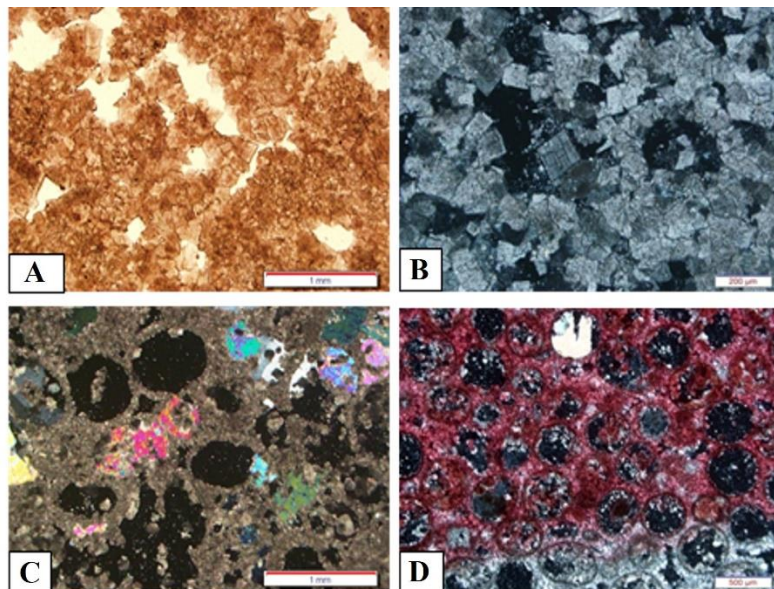
۱- ساخت‌های انیدریتی

دو نوع ساختار انیدریتی یافت شده در سازند دالان عبارتند از:

الف- ساخت نودولی: این نوع انیدریت از نودول‌های با مورفولوژی مختلف تشکیل شده که دارای بافت‌های درونی

ه- بافت فیبری شکل: در این بافت نسبت طول به عرض بلورها کمتر از نوع سوزنی است، پس عرض بلورها بیشتر است (شکل ۱۰ C, D). در این بافت فیبرها معمولاً موازی تا نیمه موازی یکدیگرند. بلورها در زمینه دولومادستون‌ها پراکنده هستند. بافت مذکور بیشتر در پهنه کشندی تا سیخا و طی دیاژنز اولیه بوجود آمده است.

دیاژنزی و در محیط‌های مختلفی از سیخا (دولومادستون) تا پشته یا شول (گرین‌استون آبییدی) تشکیل شده است. د- بافت بی‌نظم: این بافت عموماً درون ساخت نودولی دیده شده (شکل ۱۰ A, B) و شبیه بافت سوزنی شکل است با این تفاوت که سوزن‌ها دارای جهت‌یابی مشخصی نمی‌باشند.



شکل ۹. انواع تخلخل ثانویه، تحت تاثیر فابریک سنگ: A, B. تخلخل بین‌بلوری رخ داده بین بلورهای دولومیت در یک دولوستون (سفید رنگ) (سیاه رنگ). C, D. تخلخل قالبی ایجاد شده توسط انحلال آبیدها. برخی از تخلخل‌های قالبی در هر دو سازند توسط انیدریت اشغال شده‌اند.

Fig. 9. Types of secondary porosity, influenced by rock fabric: A, B. Intercrystalline porosity occurring between dolomite crystals in a dolostone (white) (black). C, D. Mold porosity created by dissolution of ooides. Some mold pore in both formations are occupied by anhydrite.

و- بافت مخلوط: بافتی است که در اثر در کنار هم قرار گرفتن دو یا چند بافت مذکور در بالا ایجاد می‌شود (شکل ۱۰ E, F).

ز- بافت‌های انیدریتی پرکننده شکستگی‌ها: اکثر بافت‌های توضیح داده شده در بالا را می‌توان در طی مرحله موزونتیپیک در این شکستگی‌ها مشاهده کرد، از جمله بافت‌های بلوری و فیبری (شکل ۱۰ A, B, C).

Nodules → layers → cements

توالی پاراژنتیکی

بر مبنای مطالعات پتروگرافیک می‌توان توالی پاراژنتیک را که نشان‌دهنده تقدم و تاخر فرایندهای دیاژنتیک می‌باشد نشان داد (شکل ۱۱). ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه نقش دیاژنز در حوزه گازی اردوس شرقی با تجزیه و تحلیل جامع داده‌های سنگ‌شناسی، پتروفیزیکی و ژئوشیمی آلی مراحل مختلف دیاژنز را ارزیابی نمودند. میکریتی شدن و سیمان حاشیه‌ای کم ضخامت نسل اول در محیط دیاژنز دریایی بوجود آمده‌اند (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۷).

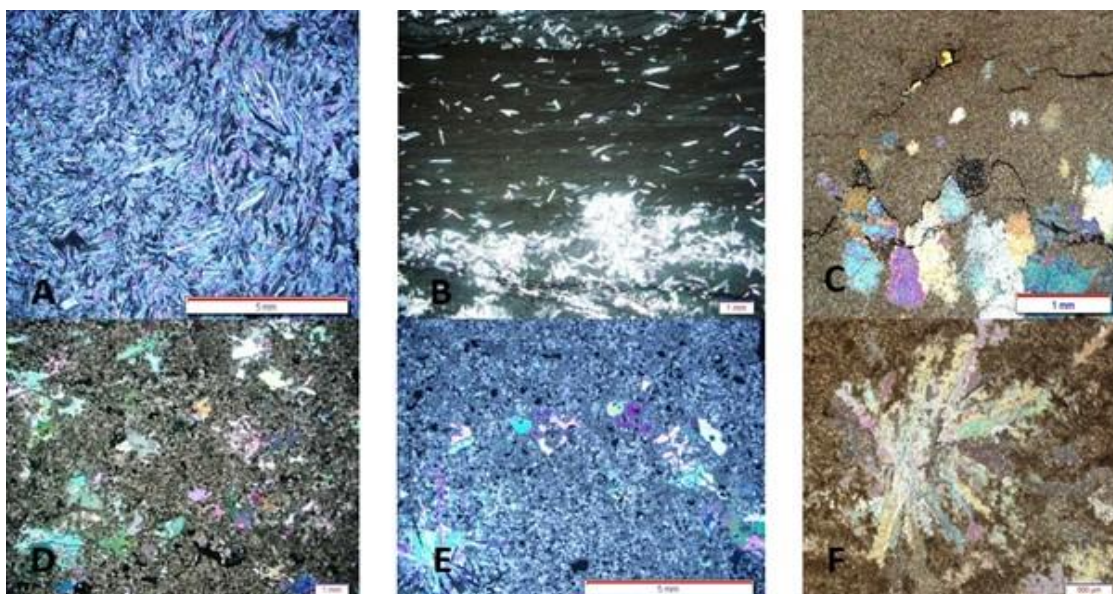
ه- بافت‌های انیدریتی پرکننده حفرات

۱- بافت بین‌دانه‌ای فراگیر یا پویکیلو توپیک: در این نوع بافت معمولاً یک یا چند بلور انیدریتی بزرگ، چند آلوکم یا فسیل را در بر می‌گیرد (شکل ۱۰ D, E).

۲- بافت قالبی: این بافت هنگامی تشکیل می‌شود که شورابه‌های انیدریت‌ساز درون قالب‌ها را پرکنند. بافت تشکیل شده می‌تواند بلوری، شعاعی و یا فیبری باشد. معمولاً به تمام بافت‌های پرکننده حفرات بین‌ذره‌ای، قالبی

بصورت انتخاب نشده توسط فابریک و کارستی شدن که در سطوح مشخصی از رسوبات آهکی وجود دارد از جمله شواهدی است که عمدتاً به خروج رخساره‌ها از آب دریا و قرار گرفتن در محیط دیاژنز متئوریک بعد از رسوب‌گذاری سنگ‌های آهکی نسبت داده می‌شود (بوملر و تاکر، ۲۰۰۲) و نقش مهمی در توسعه مخازن هیدروکربوری دارد. مدت زمان قرارگیری رسوبات در منطقه دیاژنز جوی بسیار مهم است و هر قدر این زمان طولانی‌تر باشد دیاژنز شدیدتر خواهد بود (سبحانی‌فروشانی و همکاران، ۱۴۰۰).

فشرده‌گی فیزیکی نیز معمولاً در مراحل اولیه دیاژنز که سیمان کمی وجود دارد به وقوع می‌پیوندد، ولی تا فشرده‌گی مراحل تدفینی نیز می‌تواند امتداد داشته باشد. وجود شواهد استیلولیت نشان‌دهنده تدفین بالای ۶۰۰ متر بوده و سیمان‌دروزی معمولاً از اطراف حفره‌های خالی به طرف داخل بوجود می‌آید و از جمله فرایندهای دیاژنتیکی مربوط به محیط‌های متئوریک و دفنی می‌باشد (هیاسلی، ۲۰۰۰؛ فضلی و رضایی‌پرتو، ۱۴۰۱). سیمان پویکیلوتاپیک از سیمان‌هایی است که معمولاً در محیط دیاژنز تدفینی و در مرحله مزوژنز بوجود می‌آید (مور، ۲۰۰۱). فرایند انحلال



شکل ۱۰. بافت‌های انیدریت: A. بافت سوزنی‌شکل. همانطور که مشاهده می‌شود بلورهای سوزنی‌شکل در زمینه یک دولومادستون به موازات هم پراکنده شده‌اند. B. سوزن‌های انیدریتی. C, D. بافت بلوری‌شکل در این شکل این بافت در دولومادستون و دولومیت‌های درشت بلورتر تشکیل شده‌اند. معمولاً این بلورها تک‌رنگ می‌باشند و چند رنگ مختلف در یک بلور دیده نمی‌شود. E, F. بافت شعاعی.

Fig. 10. Anhydrite textures: A. needle-shaped texture. As can be seen, the needle-shaped crystals are scattered parallel to each other in the field of a dolomite column. B. Anhydrite needles. C, D. Crystalline texture. In this form, this texture is formed in dolomadstone and coarser crystalline dolomites. Usually these crystals are monochromatic and several different colors are not seen in one crystal. E, F. Radial texture.

هستند در طی تدفین به وجود آمده‌اند. دولومیت‌های زین‌اسبی Cd2 نیز تحت تاثیر دیاژنز تدفینی و درجه حرارت بالاتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد بوجود می‌آیند (وارن، ۲۰۰۰) و در خلیج فارس از اعماق ۱۶۰۰ متر به بعد شرایط مساعدی برای تشکیل آن وجود دارد (رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۰). انیدریت‌های ریزبلور و انیدریت‌های نودولی هم در محیط‌های سوپراتایدال و سبزا در مراحل اولیه دیاژنز دریایی توسط آب‌های با میزان شوری ۴ تا ۷ برابری نسبت به آب دریا بوجود می‌آیند (وارن، ۲۰۰۶). بافت‌های بی‌نظم، سوزنی، شعاعی، متبلور، فیبری و مخلوط

انحلال انتخاب شده توسط فابریک در سنگ‌های آهکی هم در محیط‌های تدفینی (داوسون و کاروزی، ۱۹۹۳) و هم در محیط‌های دیاژنتیکی متئوریک (کامینگام و همکاران، ۲۰۱۲) به دلیل ورود آب‌های جوی تحت اشباع گسترش دارد. دولومیتی شدن سنگ‌های کربناته دالان در خلیج فارس عمدتاً از نوع سبخایی و نشتی برگشتی می‌باشد (رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۰). در مقاطع مورد مطالعه نیز اکثر دولومیت‌ها احتمالاً در شرایط مشابه در محیط‌های کم عمق دریایی و متئوریک به وجود آمده‌اند. بخشی از دولومیت‌های Cd1 هم که در ارتباط با استیلولیت‌ها

در طی نیروی حاصل از بالا آمدن نمک هرمز و ایجاد ساختار مخزن کیش بوجود آمده‌اند و رگه‌های انیدریتی و کلسیتی هم در طی بالا آمدن در داخل شکستگی‌ها بوجود آمده‌اند (شکل ۱۱).

در این ندول‌ها دیده می‌شود. بافت‌های پرکننده حفرات و پویکیلو تاپیک نیز در خلیج فارس معمولاً در شرایط ابتدایی و کم عمق دیاژنز به وجود می‌آیند (رحیم‌پوربناب و همکاران، ۲۰۱۰)، از طرف دیگر بیشتر شکستگی‌ها احتمالاً

مراحل دیاژنز		ایوژنتیک		مزوژنتیک	تلوژنتیک
محیط‌های دیاژنتیک		دریایی	متیوریک	تدفینی	تدفینی
فرایندهای دیاژنتیک					
میکریتی شدن					
سیمانی شدن	هم ضخامت				
	موزائیک دروزی				
	پویکیلو تاپیک				
	رگه ای				
فشرده شدن	فیزیکی				
	شیمیایی				
اتحلال					
تخلخل	انتخاب شده فابریک				
	انتخاب نشده فابریک				
انیدریتی شدن	ندولار				
	پویکیلو تاپیک				
	پرکننده رگه ای				
دولومیتی شدن	Rd1				
	Rd2				
	Rd3				
	Cd1				
	Cd2				
شکستگی					

شکل ۱۱. توالی پاراژنتیک فرایندهای دیاژنتیکی سازند دالان

Fig. 11. Paragenetic sequence of digenetic processes of Dalan Formation

بهبود کیفیت مخزن و فرایندهایی نظیر فشرده‌گی فیزیکی و شیمیایی و سیمانی شدن موجب کاهش کیفیت مخزن می‌شود (دهکار و همکاران، ۱۳۹۹؛ عباسپور و همکاران، ۱۴۰۱). رخساره‌های رسوبی توسعه مخازن با کیفیت بالا و پایین را کنترل می‌کنند اما تأثیر کمی بر خواص فیزیکی مخازن با کیفیت متوسط دارند (لی، ۲۰۲۲). دو روش کلی راک تاپ سازی استاتیکی و راک تاپ سازی دینامیکی برای تعیین راک تاپ‌های مخزنی وجود دارد که در این پژوهش تعیین راک تاپ‌ها با استفاده از روش استاتیکی انجام شده است. براساس میزان اشباع‌شدگی سنگ‌های مخزنی و همچنین میزان تراوایی آن‌ها (جدول ۱)، چهار راک تاپ مخزنی متفاوت برای سازند دالان شناسایی شد که عبارتند از:

۷- ارزیابی کیفیت مخزن

راک تاپ‌های مخزنی (RRTs) مهم‌ترین بخش از مدل‌سازی مخازن براساس فابریک رسوبی، خصوصیات دیاژنزی، ویژگی‌های پتروفیزیکی و خصوصیات دینامیکی مخزن است (علی اکبر دوست و رحیم‌پوربناب، ۲۰۱۳؛ میرزایی محمودآبادی، ۱۴۰۰). پژوهشگران زیادی بر روی راک تاپ‌سازی مخازن کربناته و کربناته-آواری کار کرده‌اند که از آن میان می‌توان به گرانیب (۲۰۰۳) و ایکسو و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد.

مسئله مهم این است که خصوصیات سنگ‌های کربناته (بافت و نوع تخلخل) بطور مداوم با تغییر فرایندهای دیاژنزی تغییر می‌کند. فرایندهایی نظیر انحلال میکروسکپی، دولومیتی شدن دفنی و شکستگی‌ها در

۱-۷- راک تایپ مخزنی ۱ (RRTs-1)

گرین استون آئیدی: این راک تایپ از خرده‌های اسکلتی و شبه آثار آئیده‌ها همراه با تخلخل پرشی تشکیل شده است (شکل ۱۲ A, B). بافت پویکیلوتوپیک انیدریت هم دیده می‌شود (شکل ۱۲ A). پس از سیمانی شدن، سنگ پرشی شده و باعث ایجاد تراوایی خوبی برای جریان سیال شده است. سنگ مذکور دارای اشباع‌شدگی اندک و تراوایی بسیار زیادی می‌باشد (شکل ۱۲ و نمودار ۱).

دولومیت (دولوستون، کریستالین): این راک تایپ از دولومیت‌های صفحه‌ای خودشکل با بافت دانه‌شکری تشکیل شده و دارای تخلخل بین‌بلوری بسیار خوبی است (شکل ۱۲ C, D). این سنگ دارای اشباع‌شدگی بسیار کم و بیشترین تراوایی است (شکل ۱۲ و نمودار ۱ ب). از این رو بهترین نوع تخلخل برای عبور هیدروکربور (نفت و گاز) می‌باشد.

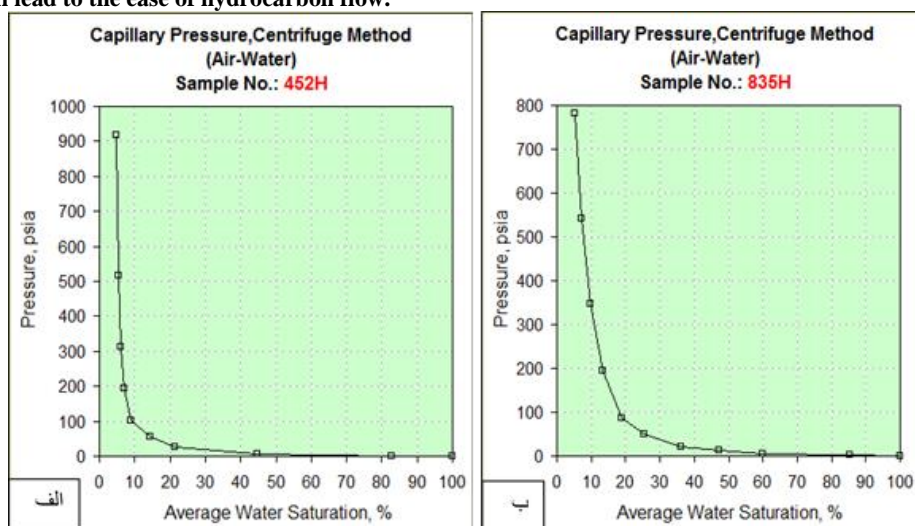
جدول ۱. میانگین مقادیر اشباع‌شدگی (Sw_i)، تراوایی (K) و تخلخل (PHI, P) در سنگ‌های مخزنی دالان بالایی

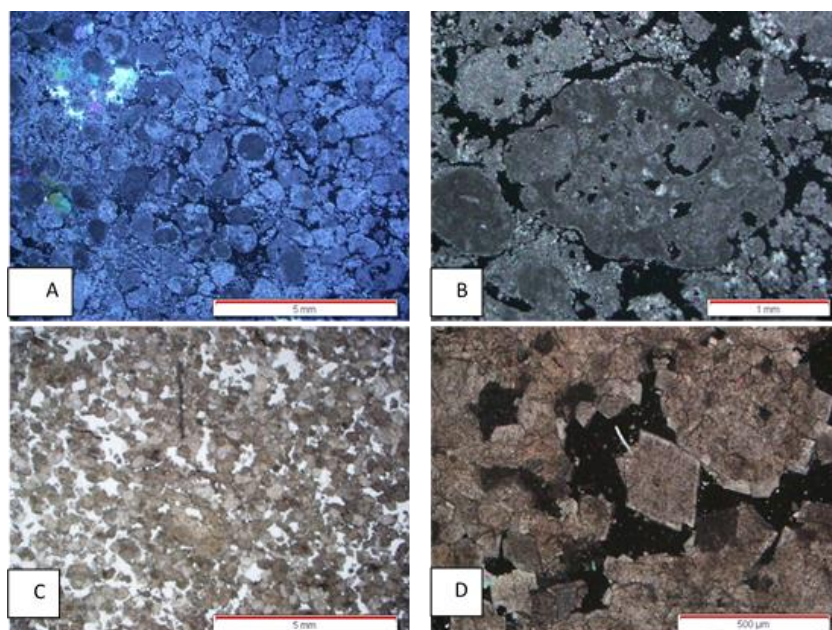
Table 1. Average values of saturation (Sw_i), permeability (K) and porosity (PHI, P) in reservoir rocks of the upper Dalan

Rock Type	Sw_i (%)	P (85%)	P (60%)	P (35%)	P (16%)	K (MD)	PHI (%)	Dominant fabric and pore types
1	8.8	1.2	3.8	15.3	221.7	261.7	13	Grainstone with brecciate porosity and dolomite with well-preserved intercrystalline porosity.
2	15.4	2.9	8.2	26.1	205.7	60.6	13.6	Dolo-grainstone with intercrystalline and channel porosity and Cd1 type and grainstone with interparticle and moldic porosities
3	17.4	2.4	6	25.7	260.8	11.9	8.2	Dolo-grainstone with vuggy and interparticle porosities and dolomite with Rd3 type and over-dolomitization
4	35.6	4.4	85.3	346	>800	3.2	9.8	Grainstone with oo-moldic and bio-moldic porosities, more of it occupied with dolomite, calcite and anhydrite. Grainstones with various porosity that all of it occupied by pore-filling anhydrite and calcite.

نمودار ۱. میزان خروج آب اشباع شده درون تخلخل سنگ‌های مخزنی تیپ ۱ در مقابل مقدار فشار مویینه. الف، ب. همانطور که در این نمودارها دیده می‌شود با افزایش فشار مویینه تا ۹۵ درصد از آب اشباع شده درون تخلخل سنگ مخزن خارج می‌شود. این خود نشان‌دهنده تراوایی بالای سنگ‌های مخزنی تیپ ۱ می‌باشد و سهولت جریان هیدروکربور را در پی خواهد داشت.

Diagram 1. The rate of outflow of saturated water inside the porosity of type 1 reservoir rocks versus the value of capillary pressure, A and B. As can be seen in these graphs, with the increase of capillary pressure, up to 95% of the saturated water in the porosity of the reservoir rock is removed. This shows the high permeability of type 1 reservoir rocks and will lead to the ease of hydrocarbon flow.





شکل ۱۲. راک‌تایپ ۱. خرده‌های اسکلتی و شبه آثار آئیدها همراه با تخلخل پرسی تشکیل شده است (A, B). بافت پویکیلوتوپیک انیدریت هم دیده می‌شود (A) (سیاه‌رنگ). کمی انیدریت پویکیلوتوپیک هم در بخش بالای عکس، سمت چپ دیده می‌شود. C, D. دولوستون با تخلخل بین‌بلورین به خوبی حفظ شده (خاکستری و سیاه‌رنگ) که بافت دانه شکر را بوجود آورده است. اکثر بلورهای دولومیت موجود از نوع Rd2 هستند.

Fig. 12. Rock-type 1. Skeletal fragments and pseudo-relics of ooids are formed along with shear porosity (A, B). Poikilotopic texture of anhydrite is also seen (A) (black color). A little poikilotopic anhydrite can be seen in the upper part of the photo, on the left side (C, D). Dolostone with well-preserved intercrystalline porosity (gray and black) that created the sugar grain texture. Most of the existing dolomite crystals are of Rd2 type.

دولومیت (دولوستون، کریستالین): این سنگ حاوی دولومیت با کمی تخلخل بین‌بلوری است (شکل ۱۴ C, D). اکثر بلورهای دولومیت از نوع صفحه‌ای نیمه‌شکل‌دار هستند (Rd3). در این سنگ دولومیتی شدن بیش از حد صورت گرفته است و به همین دلیل دارای اشباع‌شدگی زیاد و تراوایی کم است (نمودار ۳ ب).

۷-۴- راک‌تایپ مخزنی ۴ (RRTs-4)

گرین‌استون با یوکلستی-آئیدی: در این نوع سنگ تخلخل قالبی بر دیگر تخلخل‌ها غلبه داشته ولی مقداری از آن‌ها با دولومیت، انیدریت و کلسیت پر شده‌اند. فضای خالی بین آئیدها با انواع سیمان کلسیتی و دولومیتی اشغال شده و کمی تخلخل بین‌ذره‌ای دیده می‌شود (شکل ۱۵ A). سنگ مذکور دارای بیشترین اشباع‌شدگی و کمترین تراوایی است (نمودار ۴ الف).

گرین‌استون آئیدی: یک گرین‌استون با تخلخل‌های بین‌ذره‌ای، درون‌ذره‌ای و قالبی که تمامی آن‌ها با انیدریت پر شده‌اند (شکل ۱۵ B). آئیدها فشرده بوده و جورشدگی خوبی ندارند و تعدادی از آن‌ها دچار دگرریختی و پهن شده‌اند. سنگ مذکور دارای بیشترین اشباع‌شدگی و کمترین تراوایی است.

۷-۲- راک‌تایپ مخزنی ۲ (RRTs-2)

دولو-گرین‌استون: این نوع سنگ از آثار آئید و دولومیت‌های نئومورفی با تخلخل‌های بین‌بلوری و کانالی تشکیل شده است (شکل ۱۳ A, B). اکثر بلورهای دولومیت از نوع صفحه‌ای نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل هستند (Cd1) و منافذ درون آئیدها و قالب‌های آن‌ها را پر کرده‌اند. این سنگ دارای اشباع کم و تراوایی زیاد است (نمودار ۱ الف) و برای مخزن مناسب است.

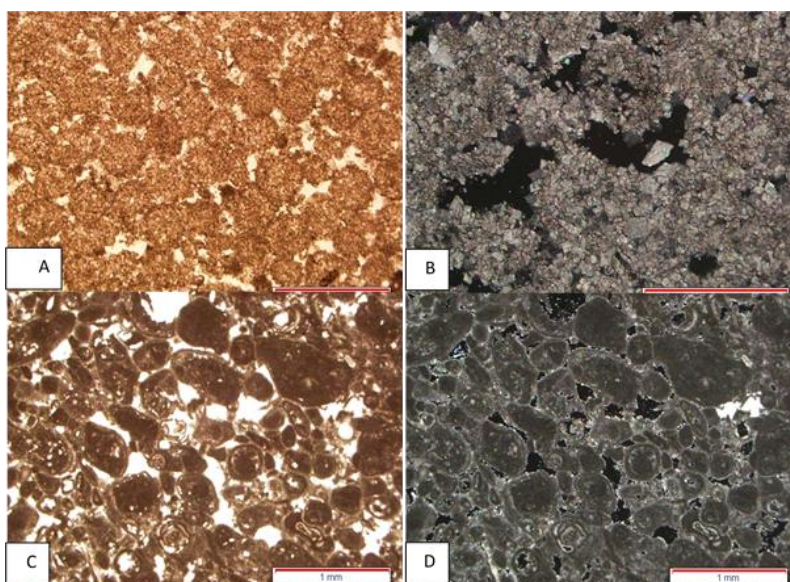
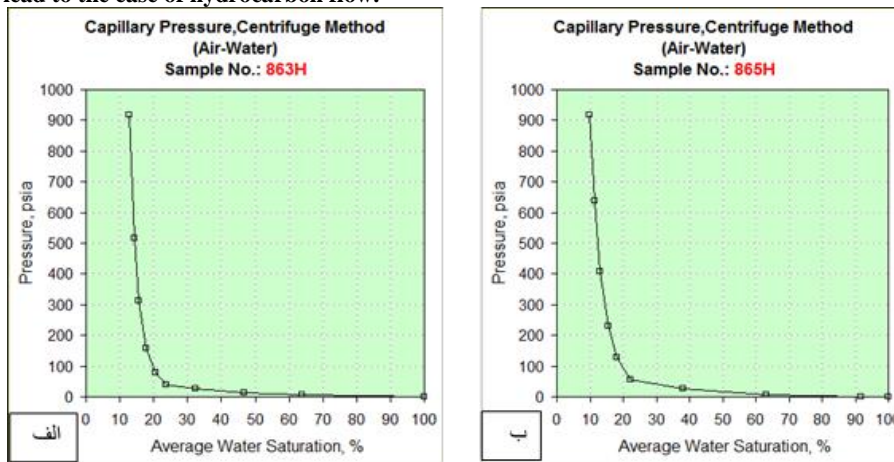
دولو-گرین‌استون: این راک‌تایپ متشکل از خرده‌های اسکلتی، جلبک، و آثاری از آئید و همچنین تخلخل‌های بین‌ذره‌ای، درون‌ذره‌ای و قالبی می‌باشد (شکل ۱۲ C, D). این سنگ دارای اشباع‌شدگی کم و تراوایی زیاد است (نمودار ۱ ب) و برای ایجاد مخزن و انتقال سیال مناسب است.

۷-۳- راک‌تایپ مخزنی ۳ (RRTs-3)

دولوگرین‌استون: این نوع سنگ از آثار آئیدی و تخلخل‌های حفره‌ای و بین‌ذره‌ای تشکیل شده و آئیدها با سیمان دولومیتی نوع ۱ (Cd1) پر شده‌اند (شکل ۱۴ A, B). این سنگ دارای تراوایی کم و اشباع‌شدگی زیاد است (نمودار ۳ الف).

نمودار ۲. میزان خروج آب اشباع شده درون تخلخل سنگ‌های مخزنی تیپ ۲ در مقابل مقدار فشار مویینه. الف، ب. همانطور که در این نمودارها دیده می‌شود با افزایش فشار مویینه تا ۹۰ درصد از آب اشباع‌شده درون تخلخل سنگ مخزن خارج می‌شود. این خود نشان‌دهنده تراوایی بالا سنگ‌های مخزنی تیپ ۲ می‌باشد و سهولت جریان هیدروکربور را در پی خواهد داشت.

Diagram 2. The rate of outflow of saturated water inside the porosity of type 2 reservoir rocks versus the value of capillary pressure (A,B). As can be seen in these graphs, with the increase of capillary pressure, up to 90% of the saturated water inside the porosity of the reservoir rock is removed. This shows the high permeability of type 2 reservoir rocks and will lead to the ease of hydrocarbon flow.



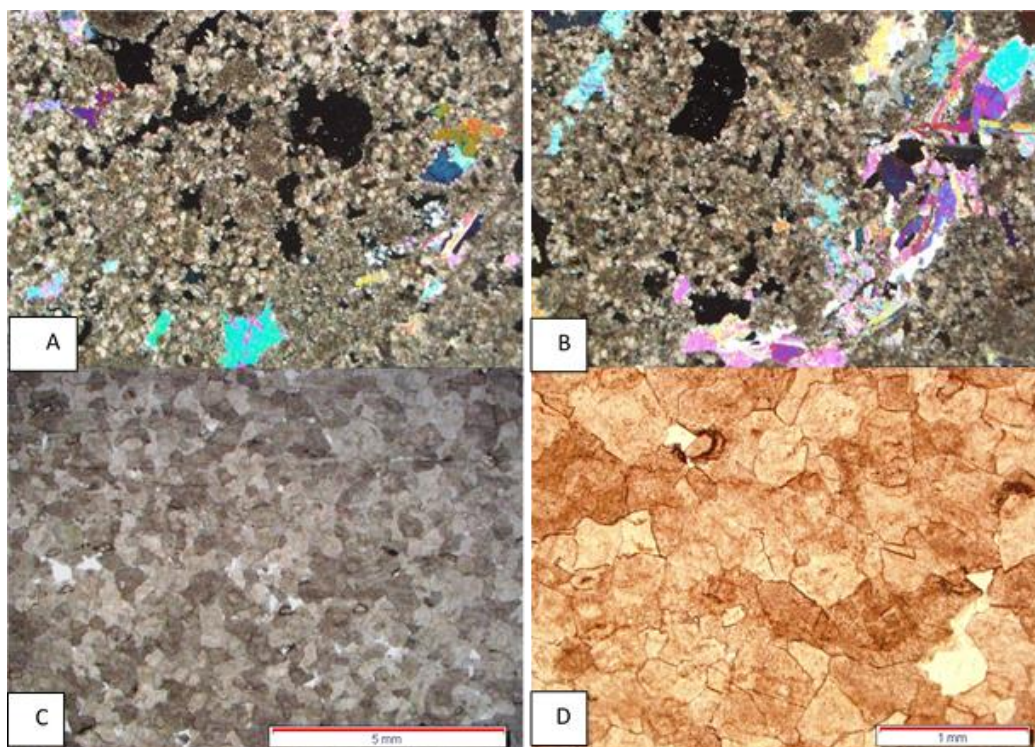
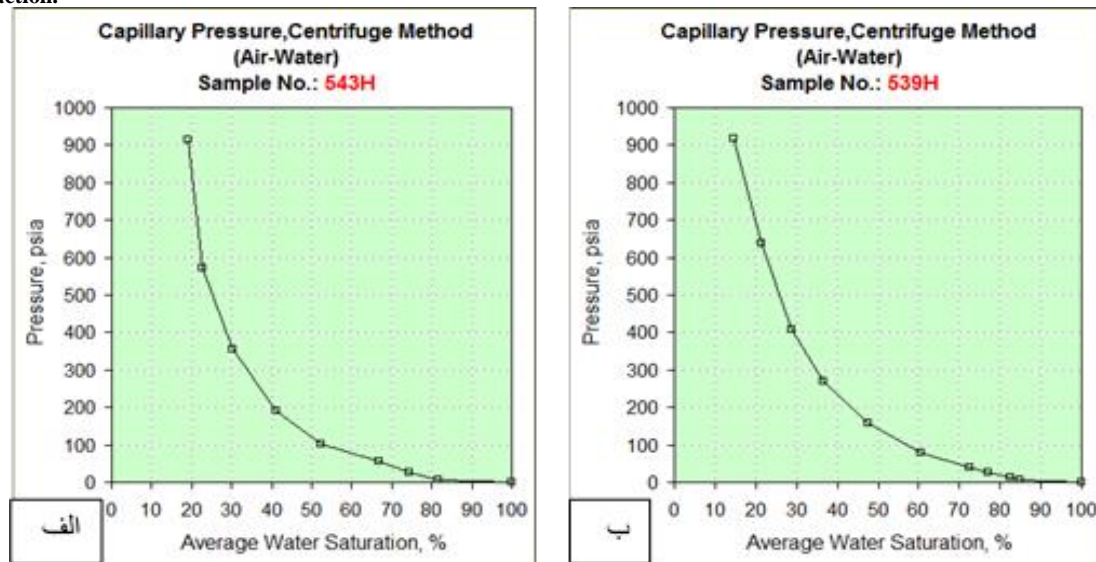
شکل ۱۳. راک تایپ ۲. A, B. دولوگرین‌استون با تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و کانالی (فلش). آثار آئیدی (قالب‌ها) توسط دولومیت Cd1 اشغال شده‌اند. C, D. دولوگرین‌استون با تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، و قالبی (فلش). کمی از تخلخل‌ها با سیمان انیدریتی پر شده‌اند.
Fig. 13. Rock-type 2. A, B. Dolograins with intergranular and channel porosities (arrow). Ooid traces (moulds) are occupied by Cd1 dolomite. C, D. Dolograins with intergranular, intragranular, and mold porosity (arrow). Some of the pores are filled with anhydrite cement.

گرین‌استون آئیدی- بایوکلسیتی: گرین‌استونی با آئیدهای با جورشدگی ضعیف که باعث ایجاد تخلخل‌های قالبی و بین‌دانه‌ای شده است (شکل ۱۵ D). اغلب قالب‌های آئیدی با Cd1 و تعدادی با انیدریت و مقداری از فضای منفذی بین‌دانه‌ای با Rd1 اشغال شده‌اند. سنگ مذکور دارای بیشترین اشباع‌شدگی و کمترین تراوایی است. این سنگ نمی‌تواند سنگ مخزن شود.

گرین‌استون آئیدی- بایوکلسیتی: در این گرین‌استون، اکثر تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای با کلسیت پر شده‌اند (شکل ۱۵ C). سنگ دارای خرده‌های اسکلتی و آئیدهای با جورشدگی ضعیف بوده و دارای بیشترین اشباع‌شدگی و کمترین تراوایی است (نمودار ۴ ب). این سنگ به علت تراوایی و اشباع‌شدگی نامناسب، نمی‌تواند سنگ مخزن شود.

نمودار ۳. میزان خروج آب اشباع شده درون تخلخل سنگ‌های مخزنی تیپ ۳ در مقابل مقدار فشار مویینه. الف، ب. همانطور که در این نمودارها دیده می‌شود با افزایش فشار مویینه تا حدود ۸۵ درصد از آب اشباع شده درون تخلخل سنگ مخزن خارج می‌شود. در این سنگ‌های مخزنی پس از خروج حدود ۳۰ درصد آب اشباع شده باید فشار مویینه را افزایش داد تا مقادیر بیشتری آب درون تخلخل سنگ خارج شود. شیب ملایم نمودار نیز این مسئله را تایید می‌کند. بنابراین سنگ مخزن دارای تراوایی مناسبی برای استحصال هیدروکربور نمی‌باشد.

Diagram 3. The rate of outflow of saturated water inside the porosity of type 3 reservoir rocks versus the value of capillary pressure (A, B). As can be seen in these graphs, with the increase of capillary pressure, up to 85% of the saturated water in the porosity of the reservoir rock is removed. In these reservoir rocks, after about 30% of the saturated water is removed, the capillary pressure should be increased so that more water can be removed from the porosity of the rock. The gentle slope of the graph also confirms this issue. Therefore, the reservoir rock does not have a suitable permeability for hydrocarbon extraction.

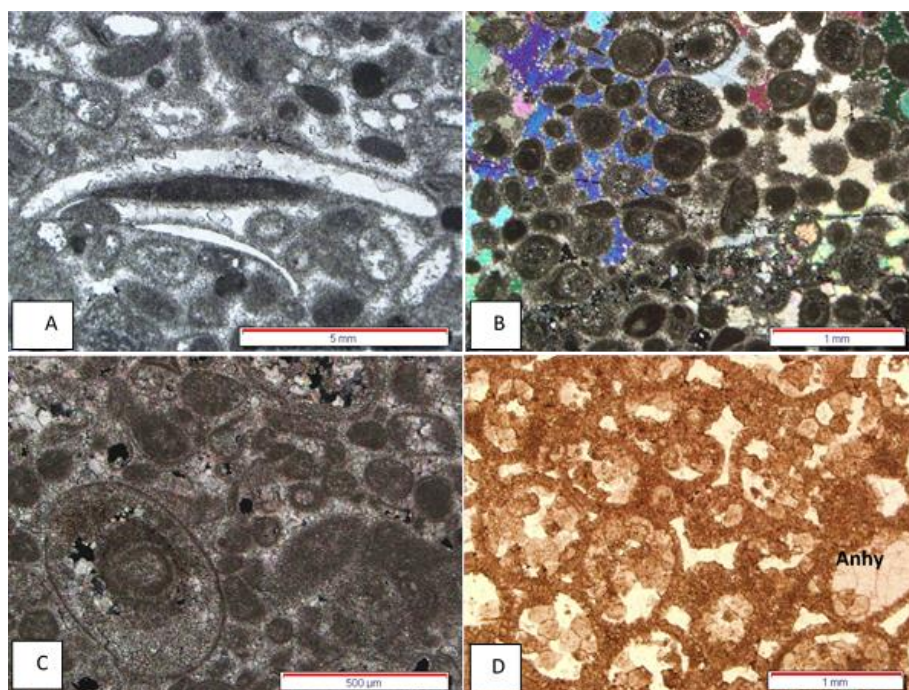
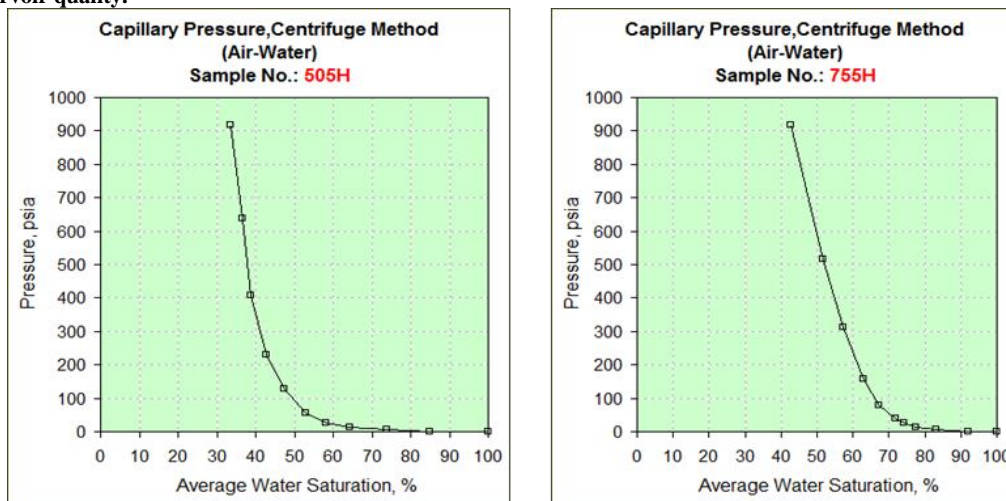


شکل ۱۴. راک‌تیپ ۳. دولوگرین‌استون همراه با تخلخل‌های حفره‌ای و بین‌دانه‌ای. تعدادی از تخلخل‌ها با انیدریت اشغال شده‌اند. (A, B) دولوستون همراه با کمی تخلخل بین‌بلوری. سنگ مذکور فوق دولومیتی شده و اکثر تخلخل بین‌بلوری از بین رفته است. دولومیت‌ها Rd3 هستند (C, D).

Fig. 14. Rock-type 3. Dolograins with hollow and intergranular porosity. Number of pores are occupied by anhydrite (A, B). Dolomite with a little intercrystalline porosity. This rock has been super-dolomitized and most of the intercrystalline porosity has disappeared. Dolomites are Rd3 (C, D).

نمودار ۴: میزان خروج آب اشباع شده درون تخلخل سنگ‌های مخزنی تیپ ۴ در مقابل مقدار فشار مویینه. الف، ب. همانطور که در این نمودارها دیده می‌شود با افزایش فشار مویینه تا حدود ۳۵ درصد از آب اشباع شده درون تخلخل سنگ مخزن خارج می‌شود. در این سنگ‌های مخزنی پس از حدود ۳۰ درصد خروج آب اشباع شده باید فشار مویینه را بسیار افزایش داد تا مقادیر بیشتری آب درون تخلخل سنگ خارج شود بنابراین این سنگ دارای کیفیت مخزنی نمی‌باشد.

Diagram 4. The rate of outflow of saturated water inside the porosity of type 4 reservoir rocks versus the value of capillary pressure. (A, B). As can be seen in these graphs, with the increase of capillary pressure, up to 35% of the saturated water in the porosity of the reservoir rock is removed. In these reservoir rocks, after about 30% of the saturated water exits, the capillary pressure should be greatly increased so that more water in the porosity of the rock is removed, so this rock does not have reservoir quality.



شکل ۱۵. راک تایپ ۴. A. گربن استون با آئیده‌های ضعیف جور شده، و صدف‌های دوکفه‌ای همراه با تخلخل قالبی و کمی تخلخل بین‌دانه‌ای. سنگ فشردگی مکانیکی را تحمل کرده و برخی از آئیده‌ها دگرریخت و پهن شده‌اند. B. گربن استون با تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، و قالبی، تمام تخلخل‌ها با انیدریت پر شده‌اند. آئیده‌ها جورشدگی ضعیف داشته و بهم‌فشرده هستند. C. گربن استون با جورشدگی ضعیف آئیده‌ها و خرده‌فسیل‌ها. اکثر منافذ سنگ اعم از تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای با سیمان کلسیتی اشغال شده‌اند. D. گربن استون با تخلخل‌های قالبی و بین‌دانه‌ای. اکثر منافذ با دولومیت‌های Cd1 و Rd1 و کمی با انیدریت پر شده‌اند.

Fig. 15. Rock-type 4. A. Grainstone with poorly arranged ooids, and bivalve shells with mold porosity and a little intergranular porosity. The rock has endured mechanical compression and some of the rocks have been reshaped and expanded. B. Grainstone with intergranular, intragranular, and mold pore, all pores are filled with anhydrite. The aides have weak fusion and are compressed. C. Grainstone with weak melting of ooids and small fossils. Most of the rock pores, including intergranular and intragranular pores, are occupied by calcite cement. D. Grainstone with mold and intergranular porosity. Most of the pores are filled with Cd1 and Rd1 dolomites, and a little with anhydrite.

۷-۵- ارزیابی راک‌تایپ‌های سازند دالان در ستون

چینه‌شناسی

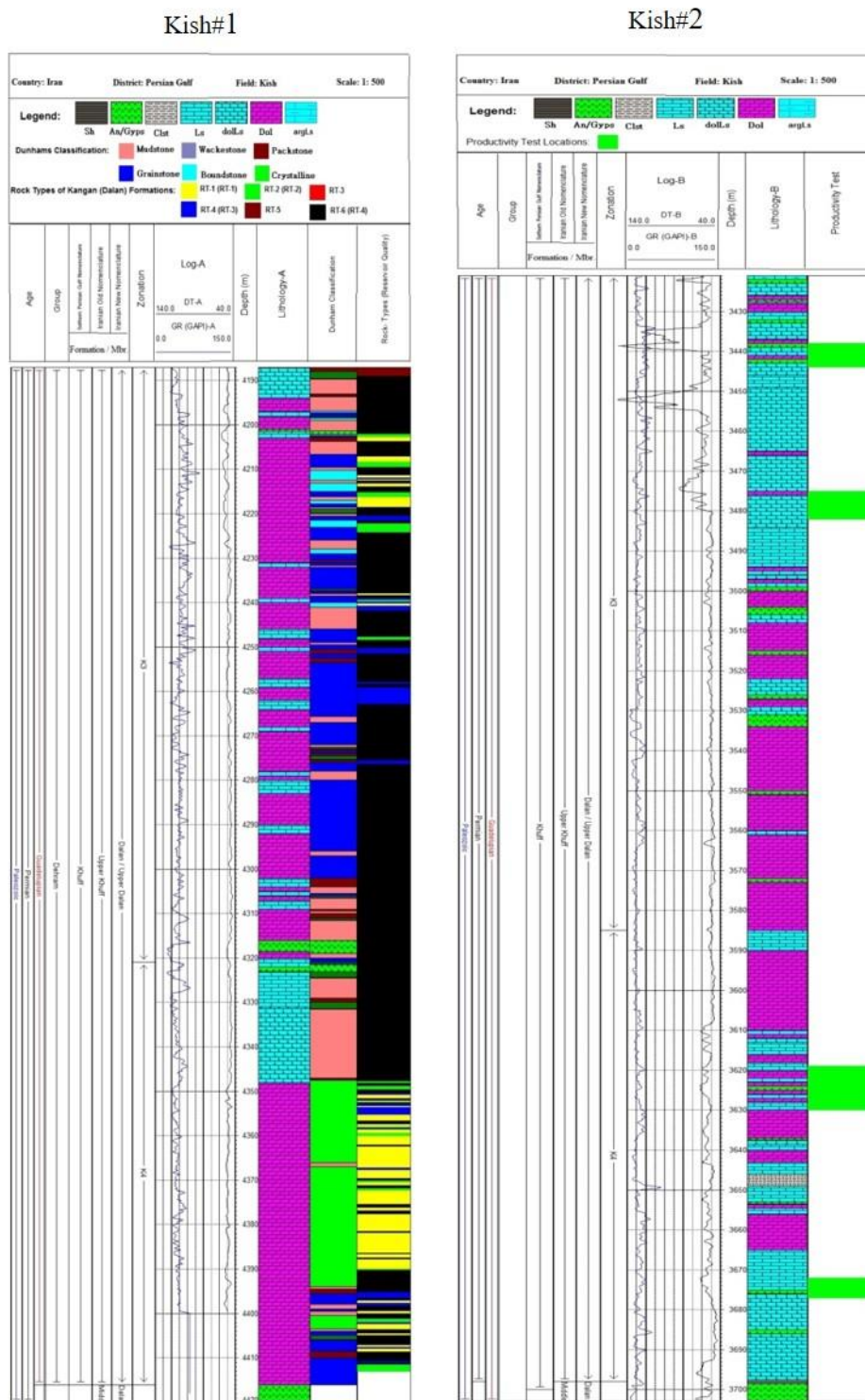
در مخازن هیدروکربوری کربناته به دلیل وجود تغییرات در شدت و نوع فرآیندهای دیاژنزی، تغییرات کیفیت مخرنی حتی در یک رخساره رسوبی معین بسیار متغیر است. بنابراین، انتظار داشتن کیفیت مخرنی یکسان از هر رخساره رسوبی در محدوده افقی و عمودی مخازن کربنات غیر منطقی است (جمیل‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). پس از تعیین راک‌تایپ‌های مخرنی سازند دالان (چاه کیش ۱ و ۲) در میدان گازی کیش، لازم است در مورد جایگاه این راک‌تایپ‌ها در ستون چینه‌شناسی میدان گازی اشاره کرد. **RRTs-1&2**: این راک‌تایپ‌ها دارای بهترین و با کیفیت‌ترین سنگ‌های مخرنی در عضو بالایی سازند دالان هستند. با رجوع به ستون چینه‌شناسی سنگی مشخص می‌شود که تجمع این راک‌تایپ‌ها حدود ۲۷ متر پایین‌تر از شروع زون K4 است. بنابراین سنگ‌های مساعد مخرنی در سازند دالان بالایی بیشتر در این زون قرار گرفته و حدود ۴۲ متر ضخامت دارد. سنگ‌های مربوط به راک‌تایپ‌های مخرنی دیگر هم در این زون و به‌صورت میان‌لایه با این سنگ‌ها وجود دارند که هر دو راک‌تایپ دیگر را در بر می‌گیرد (**RRTs-3&4**). پس مخزن گاز موجود یکپارچه نبوده و به چندین بخش تقسیم شده که هر بخش می‌تواند به‌عنوان یک سد تفکیک‌کننده عمل کند. از نظر لیتولوژی این بخش مخرنی بیشتر از سنگ‌های دولومیتی کریستالین و گرین‌استون پرشی‌شده تشکیل شده است و دولومیتی شدن و پرشی‌شدن (می‌تواند ناشی از تکتونیسم نمک باشد) توانسته نقش بسیار مهمی در ایجاد شرایط مخرنی بازی کند. لازم به ذکر است که سنگ‌های دولوگرین‌استون با تخلخل بین‌دانه‌ای و کانالی، و دولوگرین‌استون با تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، و قالبی نیز دارای کیفیت خوبی برای مخزن شدن هستند (راک‌تایپ ۲). البته در بخش انتهایی K4 نیز شاهد تناوبی از سنگ‌های مساعد مخرنی با غیرمخرنی هستیم که البته در این قسمت، راک‌تایپ‌های ۳ و ۴ که کیفیت مخرنی ندارند فراوان‌تر هستند. با نگاه دقیق‌تر به توالی سنگی عضو بالایی سازند دالان مشخص می‌شود که سنگ‌های با کیفیت مخرنی (زرد و سبزرنگ) محدود به K4 نبوده و در K3 هم دیده می‌شوند. در زون K3 و در حدود ۱۵ متر پس از شروع آن، یک تناوب ۲۳ متری از سنگ‌های مخرنی با کیفیت (زرد

و سبزرنگ) و غیرمخرنی (آبی و مشکی) وجود دارد که در صورت وجود هیدروکربور می‌تواند تولید خوبی داشته باشد. همانطوریکه ذکر شد تناوب سنگ‌های غیرمخرنی با انواع مخرنی، ایجاد سدهای ناتراوا کرده و باعث لایه لایه شدن مخزن شده است. در این بخش نیز دولومیتی شدن نقش بسزایی در ایجاد شرایط لازم برای مخزن شدن بازی کرده است. نکته قابل توجه این است که با بررسی دولومیت‌های مذکور در زیر میکروسکوپ و تشخیص سنگ اولیه نشان می‌دهد که انواع گرین‌استون، پکستون، و حتی مادستون در ترکیب سنگی راک‌تایپ‌های ۱ و ۲ حضور داشته‌اند (البته دولومیتی شدن بعدی طی فرایند دیاژنز باعث مخرنی شدن آن سنگ‌ها شده است). در مجموع سازند دالان بالایی دارای حدود ۵۰ متر سنگ با کیفیت برای مخزن شدن است.

RRTs-3&4: این راک‌تایپ‌ها شرایط لازم برای سنگ مخرنی بودن را ندارند. با رجوع به ستون چینه‌شناسی سنگی مشخص می‌شود که بخش اعظم زون K3 و بخش کمتری از K4 را اشغال کرده‌اند (رنگ‌های قهوه‌ای و مشکی). نکته قابل توجه این است که بیشترین ضخامت سنگی موجود در عضو بالایی سازند دالان که شرایط مخرنی ندارد، انواع گرین‌استون (آبی رنگ) و سپس مادستون (گل‌بهی رنگ) است که هر کدام دارای شرایط کاملاً متفاوت از نظر محیط تشکیل هستند (یکی محیط پر انرژی و دیگری کم انرژی). معمولاً سنگ‌های تشکیل شده در محیط پرانرژی دارای تخلخل خوب و تراوایی خوب و انواع تشکیل شده در محیط کم‌انرژی دارای تخلخل خوب و تراوایی کم می‌باشند. همانطوری که در ستون چینه‌شناسی سنگی دیده می‌شود، هر دوی این سنگ‌ها هم در راک‌تایپ‌های با کیفیت و هم انواع بی‌کیفیت حضور دارند و با توجه به داده‌های موجود در این پژوهش می‌توان اذعان داشت در سنگ‌هایی که دولومیتی شده‌اند، محیط تشکیل و توالی تشکیل دهنده محیط رسوبی نمی‌توانند مهیا‌کننده شرایط لازم برای ایجاد سنگ‌های با کیفیت مخرنی باشند بلکه عمدتاً دیاژنز نهایی (همراه با دی‌پیریسم نمک) است که تعیین‌کننده مخرنی شدن یا غیرمخرنی شدن یک سنگ می‌باشد. در چاه کیش ۱ و ۲ اطلاعات موجود فقط لاگ‌های گاما و سانیک و لیتولوژی است که در قالب یک ستون چینه‌شناسی سنگی در اختیار این پژوهش قرار گرفته است (شکل ۱۶). البته نتایج آزمایش بهره‌دهی چاه

منطقه را با چاه کیش B2 تطابق دهیم، نتایج ذیل قابل پیگیری خواهد بود:

نیز موجود می‌باشد. چنانچه به هر منطقه آزمایش شده در چاه کیش ۱ و ۲ (سبزنگ) یک عدد اختصاص داده و آن



شکل ۱۶. ستون چینه‌شناسی سنگی سازند دالان (عضو غیر رسمی دالان بالایی) در دو چاه کیش ۱ و ۲ در میدان گازی کیش. در چاه کیش ۱ علاوه بر ستون چینه‌شناسی سنگی، ستون‌های طبقه‌بندی دانه‌ها و راک‌تایپ‌های مخزنی هم لحاظ شده است. در چاه کیش ۲ علاوه بر ستون چینه‌شناسی سنگی، ستون تست تولید (Productivity test) نیز لحاظ شده است. اعداد ۱-۴ شرایط زون‌های تولید بین دو چاه را نشان می‌دهند.

Fig. 16. Rock stratigraphic column of Dalan Formation (unofficial member of upper Dalan) in two Kish 1 and 2 wells in Kish gas field. In Kish 1 well, in addition to the stone stratigraphic column, Dunham classification columns and reservoir rock types are also included. In Kish 2 well, in addition to the rock stratigraphy column, the productivity test column is also included. Numbers 1-4 show the conditions of production zones between two Wells.

References

- Abbaspour, A. Mehrabi, H. Rahimpour bonab, h. Zamannejad, A (2022) Reconstruction of sedimentary environment, diagenetic history and reservoir quality of Ilam formation in one of the oil fields of Lorestan region, western Iran. *Applied Sedimentology*, 10: 19. (In persian). doi.org/ 10.22084/PSJ.2021.24257.1290.
- Bazargani-Guilani, K. Faramarzi, M. and Nekouvaght-Tak, M. A (2010) Multistage dolomitization in the cretaceous carbonates of the east Shahmirzad area, north Semnan, central Alborz, Iran. *Carbonates Evaporites*, 25: 177-191. doi.org/10.1007/s13146-010-0022-5.
- Booler, J., Tucker, M. E (2002) Distribution and geometry of facies and early diagenesis: the key accommodation space variation and sequence stratigraphy: Upper Cretaceous Congost Carbonate platform, Spanish Pyrenees. *Sedimentary Geology*, 146(3): 225-247. doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00120-8.
- Chen, D. Qing, H., Yang, C (2004) Multistage hydrothermal dolomites in the Middle Devonian (Givetian) carbonates from the Guilin Area, South China. *Sedimentology*, 51: 1029-1051. doi.org/10.1111/j.1365-3091.2004.00659.x.
- Choquette, P. W. and Hiatt, E. E (2008) Shallow-burial dolomite cement: a major component of many ancient sucrosic dolomites. *Sedimentology*, 55: 423-460.
- Cunningham, K. J., Sukop, M. C., Curran, H. A (2012) Carbonate aquifers, *Developments in Sedimentology*, 64: 869-896. doi.org/ 10.1016/B978-0-444-53813-0.00028-9.
- Dawson, W. C., Carozzi, A. V (1993) Experimental deep burial, fabric-selective dissolution in Pennsylvanian phylloid algal limestones. *Carbonates and Evaporites*, 8(1): 71-81. doi.org/10.1007/BF03175164.
- Dehkar, A. Sajadian, A., Noura, M. Shabani Gorji, K. Amrai, A (2019) The effect of diagenetic processes on the reservoir quality of Fahlian Formation (Early Cretaceous) in Arvand oil field, Dasht Abadan. *Applied Sedimentology*, 8 (15): 208-223. (In persian).
- Ehrenberg, S. N (2006) Porosity destruction in carbonate platforms. *Journal of Petroleum Geology*, 29: 41-52.

منطقه ۱: پس از آزمایش بهره‌دهی مشخص شد که این منطقه دارای گاز، میعانات گازی و کمی آب می‌باشد. با تطابق این منطقه با چاه کیش B2 مشخص می‌شود که راک‌تایپ‌های ۱ و ۲ (بهترین سنگ مخزن‌ها) نیز در چاه نامبرده شده وجود دارد، پس تقریباً شرایط دیاژنزی حاکم بر این منطقه در هر دو چاه یکسان بوده و می‌شود پیش‌بینی کرد که در چاه کیش B2 نیز این بخش از سازند، مخزن گاز و میعانات گازی باشد.

منطقه ۲: این منطقه نیز حاوی گاز، میعانات گازی و کمی آب است و با دنبال کردن آن به سمت چاه کیش B2 نیز قابل تطابق است، ولی ضخامت راک‌تایپ‌های مناسب مخزن در این چاه (رنگ‌های زرد و سبز) بسیار کم شده ولی می‌تواند حاوی هیدروکربور باشد. در واقع در این منطقه دیاژنز حاکم بر چاه کیش B2 آسیب بیشتری به سنگ‌های مخزنی زده و از کیفیت و کمیت آن‌ها کاسته است.

منطقه ۳ و ۴: این مناطق نیز همانند منطقه ۱ و ۲ در هر دو چاه قابل ردیابی و تطابق هستند.

۸- نتیجه‌گیری

مطالعه مقاطع نازک سازند دالان با سن پرمین بالایی در مقطع تحت‌الارضی چاه‌های ۱، ۲ و B2 از میدان گازی جزیره کیش منجر به شناسایی ۱۲ ریزرخساره که در چهار محیط دریای باز، سد، تالاب و پهنه‌های جزرومدی نهشته شده‌اند گردید. گسترده‌ترین ریزرخساره مربوط به محیط‌های سدی و تالاب می‌باشد. سازند دالان تحت تاثیر فرآیندهای دیاژنز مهمی مانند میکرایتی شدن، سیمانی شدن، تراکم، انحلال، انیدریتی شدن و دولومیتی شدن قرار گرفته است. تخلخل عمده در سازند دالان از نوع وابسته به فابریک بوده و شامل تخلخل بین‌دانه‌ای است. سنگ‌های مخزنی سازندهای دالان از نظر ارزیابی کیفیت مخزنی به ۴ رده (RRTs-1 to RRTs-4) تقسیم شده‌اند. کیفیت مخزن از رده ۱ به رده‌های بالاتر به چهار رده عالی، خوب، ضعیف و غیر مخزنی تقسیم و همچنین میزان اشباع‌شدگی از آب غیرقابل تقلیل و فشار مویینه بیشتر، بطوریکه در سازند دالان رده یک بهترین نوع سنگ مخزن برای ذخیره و استحصال هیدروکربور بوده و رده ۴ غیرمخزنی است. عمدتاً دیاژنز نهایی (همراه با دیاپیرسیم نمک) تعیین کننده مخزنی شدن یا غیرمخزنی بودن این سازند است.

- reservoirs in the Eocene Shahejie Formation, Chezheng Sag, Bohai Bay Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 211. doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110226.
- Liu, L. Li, Y. Dong, H. Sun, Z (2020) Diagenesis and reservoir quality of Paleocene tight sandstones, Lishui Sag, East China Sea Shelf Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 195. doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107615.
- Lucia, F. J (1983) Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space. *J Pet Technology March*, 626-637.
- Lucia, F. J (2007) *Carbonate Reservoir Characterization an Integrated Approach* Springer-Verlag, Heidelberg. Second Edition. 366 p.
- Mazzullo, S. J (1992) Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: a review. *Carbonates Evaporites*, 7: 21-37. doi.org/10.1007/BF03175390.
- Mirzaee Mahmoodabadi, R (2021) Properties reservoirs assessment of Sarvak formation in Yadavaran oil field based on petrographical and petrophysical data Evaluation. *Applied Sedimentology*, 9 (18): 186-210. (In persian). doi.org/10.22084/PSJ.2021.24154.1288.
- Moore, C. H (2001) *Carbonate Reservoirs Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework*. Elsevier, Amsterdam, 444.
- Murray, R. C (1960) Origin of porosity in carbonate rocks. *J. Sediment. Petrol.*, 30: 59-84. doi.org/10.1306/74D709CA-2B21-11D7-8648000102C1865D.
- Nader, F. H. Swennen, R., Ellam, R (2004) Reflux stratabound dolomite and hydrothermal volcanism-associated dolomite: a two-stage dolomitization model (Jurassic, Lebanon). *Sedimentology*, 51: 339-360.
- Qamar, Z., D. Renhai, P., Christopher, B., Ghulam, S., Rana Imran, A., Umar, A., Zulqarnain, S., Mubashir, M (2022) The impact of diagenesis on the reservoir quality of the early Cretaceous Lower Goru sandstones in the Lower Indus Basin, Pakistan. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* (2022) 12:1437-1452. doi.org/10.1007/s13202-021-01415-8.
- Fazli, L. Rezaeeparto, K (2022) Analysis of Microfacies, Sedimentary Conditions and Diagenetic processes of the Asmari Reservoir in Qaleh Nar Field facies. *Applied Sedimentology*, 10 (19): 232-246. (In persian).
- Gregg, J. M. and Shelton, K (1990) Dolomitization and dolomite neomorphism in the back reef facies of the Bonnetterre and Davis Formations (Cambrian), Southeastern Missouri. *J Sediment Petrol.*, 60: 549-562.
- Heasley, E. C., Worden, R. H., Hendry, J. P (2000) Cement distribution in a carbonate reservoir: recognition of a palaeo oil-water contact and its relationship to reservoir quality in the Humbly Grovefield, onshore, UK. *Marine and Petroleum Geology*, 17: 639-654. doi.org /10.1016/S0264-8172(99)00057-4.
- Immenhauser, A (2012) Assessing the Impact of Initial Carbonate Diagenetic Reactivity on Reservoir Properties. AAPG Hedberg Conference, Fundamental Controls on Flow in Carbonates, July 8-13, Saint-Cyr Sur Mer, Provence, France.
- Irajian, A. A., Bazargani-Guilani, K. Mahari, R., Solgi, A (2016) Porosity and Rock-Typing in Hydrocarbon Reservoirs Case Study in Upper Member of Dalan Formation in Kish Gas Field, South of Zagros, Iran. *Open Journal of Geology*, 6: 399-409. doi.org /10.4236/ojg.2016.66035.
- Jahani, S., Callot, J. P., Letouzey, J. and Frizon de Lamotte, D (2009) The eastern termination of the Zagros Fold-Thrust Belt (Iran): structures, evolution and relationships between salt plugs, folding and faulting. *TECTONICS*, 28, TC6004, doi.org /10.1029/2008TC002418.
- Jamilpour, M. Mahboubi, A. Mousavi Harami, R. KhanehBad, M. Houshman Kochi, H (1400) Distribution of reservoir electrofacies in the sedimentary facies of the Asmari formation in Qala Nar oil field. *Applied Sedimentology*, 9 (18): 1-20. (In Persian).
- Li, B., Goldbergb, K (2022) Diagenesis and reservoir quality of Cambrian carbonates in the Tarim Basin, northwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 223. doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104972.
- Li, Y. Zhang, G. Xu, Y. Chen, T. Yan, X. Sun, L. Tian, W (2022) Genetic mechanism and grading assessment of the glutenite

classification and characterization of a high-temperature and high-pressure tight gas sandstone reservoir: A case study in the Ledong area, Yinggehai Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 140.

- Rahimpour Bonab, H., Ebrahimi-Dizaji, B., Tavakoli, V (2010) Dolomitization and Anhydrite Precipitation in Permo-Triassic Carbonates at the South Pars Gasfield, Offshore Iran: Controls on Reservoir Quality. *Journal of Petroleum Geology*, 33(1): 43-66.
- Sibly, D. F. and Gregg, J. M (1987) Classification of Dolomite Rock Textures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57(6): 967-975. doi.org/10.1306/212F8CBA-2B24-11D7-8648000102C1865D.
- Simo, J. A. Johnson, C. M. Vandrey, M. R. Brown, P. E. Castrogiovanni, E. Drzewiecki, P. E. Valley, J. W. Boyer, J (1994) Burial dolomitization of the Middle Ordovician Glenwood Formation by evaporitic brines, Michigan Basin: *Spec. Publs Int. Ass. Sediment*, 21: 169-186. doi.org/10.1002/9781444304077.ch11.
- Sobhani Forushani, J. Mehrabi, H. Rahimpour Bonab, H (1400) Sedimentation history - diagenesis and sequence stratigraphy and the upper part of Sarvak Formation (Cretaceous) in hydrocarbon fields in the center and south of Dezful depression, southwest Iran. *Applied Sedimentology*, 9 (18): 51-75. (In persian). doi.org/10.22084/PSJ.2021.23809.1279.
- Vincent, B, Emmanuel, L., Houel, P., Loreau, J (2007) Geodynamic control on carbonate diagenesis: petrographic and isotopic investigation of the Upper Jurassic Formations of the Paris Basin (France). *Sediment Geol*, 197: 267-289. doi.org/10.1016/j.sedgeo.2006.10.008
- Wanless, H. R (1979) Limestone response to stress: pressure-solution and dolomitization. *Journal of Sedimentary Petrology*, 49: 437-462.
- Warren, J (2000) Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. Elsevier, 52: 1-81. doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00022-2.
- Warren, J. K (2006) Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons. Springer-Verlog, Heidelberg Newyork, 1035. doi.org/10.1007/3-540-32344-9.
- Zamani, M (2013) Facies and sedimentary environment of the upper part of Dalan formation in Kish gas field. Master's thesis, Islamic Azad University, Shahrood branch, 86 p. (In persian).
- Zhao, X. Yao, G. Chen, X. Zhang, R. Lan, Z. Wang, G (2022) Diagenetic facies

Study of microfacies, diagenesis and evaluation of reservoir quality of Dalan formation (Late Permian) in Kish gas field, south of Iran

M. Avarand¹, K. Shabani Gorji^{2*} and Sh. Habibi Moud³

1-Ph. D. student, Dept., of Geology, Faculty of Science, Islamic Azad University, Zahedan Branch, Zahedan, Iran

2, 3- Assist. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Science, Islamic Azad University, Zahedan Branch, Zahedan, Iran

* KSG1354@yahoo.com

Received: 2023.7.2 Accepted: 2023.11.3

Abstract

The Dalan Formation is a carbonate sequence of Upper Permian age, which was widely deposited in Persian regions. Dalan Formation has been studied in the underground section of Kish 2, 1 and B2 wells of Kish Island gas field. Petrographic studies and facies analysis led to the identification of 12 microfacies deposited in a single-slope carbonate ramp and in 4 sedimentary sub-environments, including intertidal, lagoon, barrier and open sea areas. The important diagenesis processes that have affected the carbonate rocks of the Dalan Formation include micritization, cementation, anhydritization, compression, dolomitization and dissolution. Diagenesis minerals obtained in these deposits include three types of dolomite with replacement texture, two types of dolomite with cement texture, two types of anhydrite and two groups of calcite cement. Replacement type dolomite generally improves the reservoir quality and anhydrite reduces the reservoir quality by creating a layer by creating an obstacle in the path of hydrocarbon movement. Intercrystalline, interparticle and sheared porosity is the best type of porosity in the whole rock. The reservoir rocks were divided into 4 categories (RRTs-1 to RRTs-4) based on the analysis of the drilling core (SCAL data) and the description of thin sections. The first category is the best reservoir rock for storing and producing hydrocarbons, and the quality reservoir decreases towards the fourth category. According to the available data, the sedimentary environment cannot completely create the necessary conditions for the formation of reservoir-quality rocks, but mainly the final diagenesis along with diapirism determines the reservoir or non-reservoir formation.

Keywords: Dalan Formation, Carbonate ramp, Rock type, Reservoir rock, Kish Island

Introduction

Iran is a land of hydrocarbon resources and has a special place in the world, so identifying and achieving these resources and reserves is crucial economically and strategy. The Zagros gas fields can be divided into two large units, Dehram Group and younger than Dehram. The Dehrom group includes Faraghon, Dalan and Kangan makers. The gas fields of Dehram are more than the massive and massive fields in which the Dalan (Permian and Later) and Kangan (Pre-Triassic) have always been considered for gas harvesting in the Persian Gulf. These permanent gas tanks are mainly located in the Persian Gulf and the Persian offshore, though some of them are also found in the Lorestan and Bandar Abbas area. Dehram reservoir have continued outside of Iran's borders and in neighboring Arab countries (Qatar, Saudi Arabia, UAE, and

Bahrain) is known as the Lithostratigraphy equivalent of the Dehram Group (Khuff). Kish gas field, located in the waters of the Persian Gulf and studied by this study, is of the type of Dehram group and the purpose of its drilling is to exploit gas from corridor and Kangan. The main purpose of this study is to study microfacies and diagenesis and the effect of diagenetic processes on the quality of the corridor by using thin sections data from drilling and drilling core of wells 1, 2 and B in Kish Island in southern Iran.

Methods & Materials

The research method is based on the review and evaluation of previous studies and field studies, including the information obtained from the drilling cores of wells No. 1, 2, and B and the study of 412 thin sections prepared from the drilling debris related to the upper

Dalan formation by polarizing microscope. Which has led to the identification of microfacies and diagenesis processes and their impact on the quality of Kish gas reservoir. The facies of Dalan Formation in the studied field and the facies belts are named by Flugel (2010) and Wilson (1975) classification. Alizarin red solution has been used to distinguish dolomite from calcite. In this study, the different diagenetic processes of the sediments of the upper Dalan Formation are identified and the types of porosity are named using the classification of Choquette and Perry (1970) and finally their paragenetic sequence is presented. After determining the diagenetic environment, based on the petrographic studies and also determining the relative precedence and delay of the diagenesis processes relative to each other, the paragenesis of the diagenetic events of the Dalan formation in the studied wells was determined. Finally, based on the obtained data, the impact of these processes on the quality of the reservoir has been evaluated.

Discussion of Results

Microfacies and sedimentary environment:

Petrographic studies and facies analysis of Dalan Formation in Kish gas field using thin section data prepared from drill cuttings and drill cores of wells 1, 2 and B led to the identification of 4 facies sets and 12 microfacies. These microfacies are deposited in 4 facies sets related to 4 sedimentary environments. These facies sets include facies set A with open sea facies including bioclastic wackestone, ploydy wackestone with fossil fragments and argillaceous limestone mudstone, facies set B with barrier facies include ooid-bearing greenstone with mold porosity, peloidal packston with bioclasts, peloidal greenstone and intraclast and bioclast greenstone, facies complex C with wetland facies including packston with benthic foraminifers and green algae, peloidal wackestone with bioclasts and paxton Peloid and facies complex D with tidal facies include dolomitic mudstone with evaporitic forms and intraclastic packston-greenstone with peloid. These microfacies were deposited in a single-slope carbonate ramp from the shore, including coastal areas, wetlands, barrier, and the open marine.

Diagenesis: The carbonate sequence of Dalan Formation in the underground section of Kish 1, 2 and B wells of Kish Island gas field has a

wide range of different diagenetic processes. The processes related to the marine diagenesis environment mainly include micritization, homogenous calcite cement, physical compression, nodular and poikilotopic anhydrite, and replacement dolomites in the eugenesis stage. At this stage, in the environment of meteoric diagenesis of calcite cements of mosaic, another part of physical compression, dissolution and various types of porosity, replacement dolomites and part of cement dolomites have been formed. During the mesogenesis stage and in the burial diagenesis environment, another part of mosaic calcite cements, poikilotopic calcite cements, types of physical and chemical compression, cement dolomites and a part of unselected dissolution and porosity were created by the fabric. Finally, in the telogenesis stage, as a result of the force resulting from the uplift of the Hormuz series and the formation of the Kish reservoir structure, all kinds of fractures and porosities not selected by the fabric as well as calcitic and anhydrite fracture filling cements have been created.

Evaluation of rock types of Dalan Formation:

In Kish 1 and 2 wells, the available information is only gamma and sonic logs and lithology, which has been provided to this research in the form of a rock stratigraphic column. Of course, the well performance test results are also available. If we assign a number to each tested area in Kish 1 and 2 wells (green) and match that area with Kish B2 well, the following results can be followed:

Zone 1: After the productivity test, it was found that this zone has gas, gas condensate and a little water. By comparing this area with the Kish B2 well, it is clear that rock types 1 and 2 (the best reservoir rocks) are also present in the mentioned well, so almost the diagenesis conditions governing this area are the same in both wells, and it can be predicted that in the Kish well B2 is also this part of the formation, the reservoir of gas and gas condensate.

Zone 2: This zone also contains gas, gas condensate and a little water and can be matched by following it towards the Kish B2 well, but the thickness of the rock types suitable for the reservoir in this well (yellow and green colors) is very low, but it can contain be a hydrocarbon. In fact, in this region, the diagenesis prevailing in the Kish B2 well has caused more damage to the reservoir rocks and reduced their quality and quantity. Zone 3 and

4: These zones can be traced and matched in both wells, just like zone 1 and 2.

Conclusion

The study of thin sections of Dalan Formation with Upper Permian age in the underground section of wells 2, 1 and B2 of Kish Island gas field led to the identification of 12 microfacies that were deposited in four environments: open sea, barrier, lagoon and tidal flats. The most extensive microfacies are related to dam and wetland environments. Dalan Formation has been affected by important diagenesis processes such as micriteization, cementation, compaction, dissolution, anhydritization and dolomitization. The main porosity in the Dalan

formation is related to fabric and includes intergranular porosity. The reservoir rocks of Dalan formations are divided into 4 categories (RRTs-1 to RRTs-4) in terms of reservoir quality evaluation. Reservoir quality is divided from category 1 to higher categories into four categories: excellent, good, poor and non-reservoir, as well as the degree of irreducible water saturation and higher capillary pressure, so that in the Dalan formation, category one is the best type of reservoir rock for storing and extracting hydrocarbons. Category 4 is non-reservoir. Mainly, the final diagenesis (along with salt diapirism) determines the reservoir or non-reservoir of this formation.