

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

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 تحت الارضی 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، فشرده‌گی، 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 دیاپیرسیم نمک تعیین‌کننده مخزنی شدن یا غیرمخزنی شدن سازند است.

واژه‌های کلیدی: سازند دالان، رمپ کربناته، راک تاپ، سنگ مخزن، جزیره کیش.

۱- پیشگفتار

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 (Dehram Group) 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 عمدتاً در زیرپهنه فارس و فراساحل فارس در خلیج فارس واقع شده‌است، 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 (Khuff) شناخته می‌شود (کاشفی، ۱۹۹۲). اسرافی دیزاجی و رحیم پور بناب، ۲۰۰۹). میدان گازی کیش (شکل ۲) 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 فرایندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازند دالان با استفاده از داده‌های مقاطع 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 خردپیبر (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 رخساره‌های 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 قدیمی‌تر می‌داند. ایسالکو و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از اطلاعات تحت الارضی میداین موجود در خلیج فارس و رخنمون‌های ناحیه خلیج فارس، محیط رسوبی و خواص مخزنی سازندهای دالان و کنگان را به تفصیل بررسی کردند. رحیم پور بناب 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 رحیم پور بناب (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 کنی‌های دیاژنزی را بر روی راک‌تایپ‌سازی مخزنی سازند دالان در میدان گازی کیش 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 مقطع 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. رخساره‌های سازند دالان در میدان مورد مطالعه و کمربندهای رخساره‌ای توسط طبقه بندی فولگل (۲۰۱۰) و ویلسون (۱۹۷۵) نامگذاری شده اند. برای تشخیص دولومیت از کلسیت از محلول آلزارین قرمز استفاده شده است. در این مطالعه فرایندهای دیاژنتیکی مختلف رسوبات سازند دالان بالایی مشخص و انواع تخلخل با استفاده از طبقه بندی چوکت و پری (۱۹۷۰) نامگذاری و در نهایت توالی پاراژنتیکی آنها ارایه شده است. پس از تعیین محیط دیاژنتیکی، بر اساس بررسی‌های سنگ نگاری 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 بدست آمده، تاثیر این فرایندها بر کیفیت مخزن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۴- زمین شناسی

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 جزیره ای 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 تندرو 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 دیده می‌شود. بررسی تکتونیک نمک در منطقه نقش بسیار موثری در سازوکار و سن شکل گیری ساختمان کیش دارد (جهانی و همکاران، ۲۰۰۹). سازند دالان که یکی از سازندهای

گروه دهرم می باشد 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 سورمه (۱۱۰ کیلومتری جنوب شیراز) رخنمون دارد. سن سازند دالان توسط باغبانی (۱۳۸۲) گوبرگندینین 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 ته نشینی آنها در محیط‌های دریای باز، سد، تالاب و پهنه جزر و مدی است (زمانی، ۱۳۹۰).



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

۵- بحث

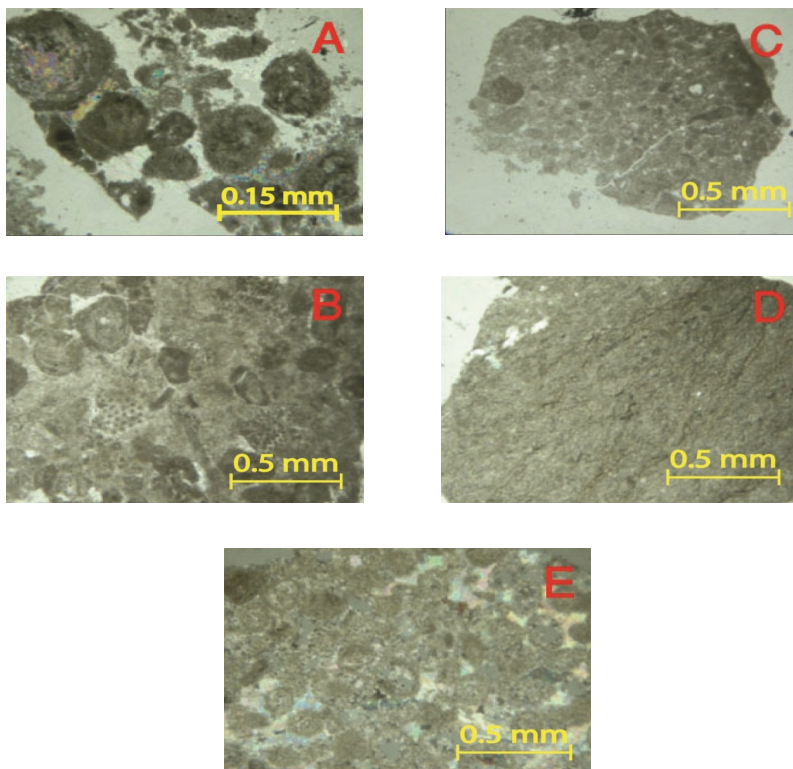
۵-۱- ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی

بدنبال مطالعه مقاطع نازک تهیه شده از خرده‌های حفاری و بررسی خصوصیات فسیل شناسی و بافتی نمونه‌ها اعم از آلومکها (اسکلتی و غیر اسکلتی)، 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 D- مجموعه رخساره‌ای جزرومدی.

۵-۱-۱- ریزرخساره‌های محیط دریای باز

این محیط بر مبنای ۳ ریزرخساره و کستون بیوکلاستی و وکستون پلوییدی دارای خرده فسیل مادستون آهکی آرژیلی شناخته شدند. وکستون 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 کمر بند رخساره‌ای شماره ۱ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۱۸ فلوگل و ویلسون و RMF16 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵، فلوگل، ۲۰۰۴). وکستون پلوییدی دارای خرده فسیل دار در بردارنده اجزای اسکلتی خرد شده مانند دوکفه‌ای می‌باشد. وجود این قطعات فسیلی به صورت خرد شده و با درصد کم حاکی از حمل و نقل توسط امواج از محل اصلی زیست این موجودات یعنی محیط تالابی و مناطق کم عمق به مناطق

نیمه عمیق و دریای باز و رسوبگذاری این قطعات همراه با کم شدن انرژی امواج است. این میکروفاسیس منطبق بر کمربند رخساره ای 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 ارگانسیم های دریایی و محیط عمیق دارد. ضمن آنکه وجود زمینه ای از گلپای همی پلاژیک به همراه آغشتگی به کانیهای رسی حاکی از شرایط رسوبگذاری در عمق خیلی پائین تر از خط اثر امواج و در شرایط کاملا آرام و کمبود اکسیژن دارد (شکل ۲). این میکروفاسیس منطبق بر کمربند رخساره ای شماره ۱ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۳ فلوگل و ویلسون و RMF2 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵، فلوگل، ۲۰۰۴).



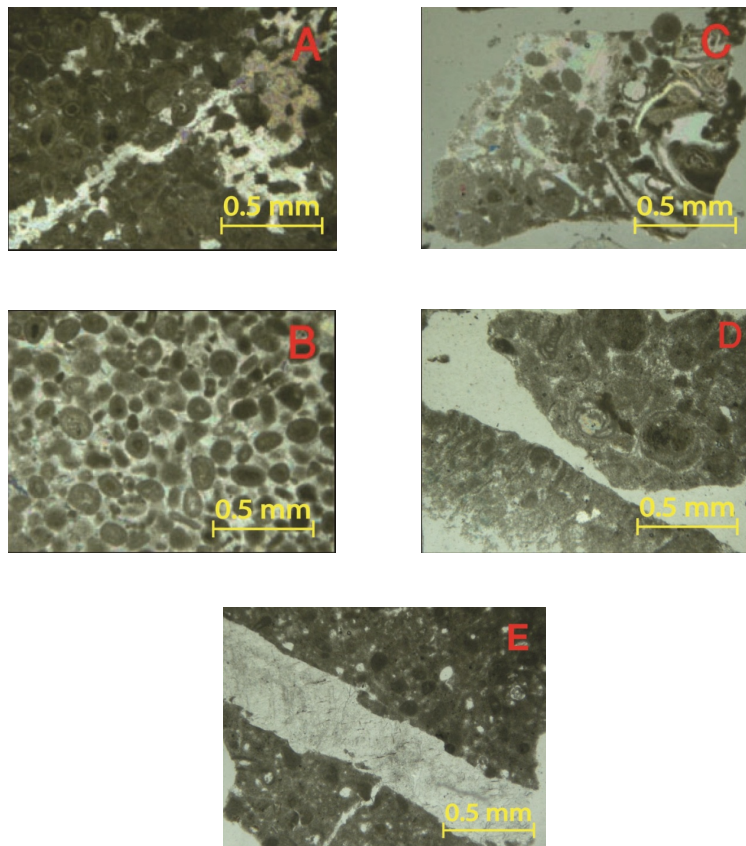
شکل ۲: میکروفاسیس ها (نور پلاریزان، بزرگنمایی 4x): A,B: وکستون بیوکلاستی دریای باز، (چاه کیش ۱، عمق های، ۳۴۳۶ و ۳۵۵۰ متر). C: وکستون پلویدی دارای خرده فسیل، (چاه کیش ۲، عمق ۳۶۶۶ متر). D: مادستون آهکی آرژیلی، (چاه کیش ۲، عمق، ۳۴۴۴ متر). E: گرینستون اییدار همراه با تخلخل قالبی، (چاه کیش ۲، عمق، ۳۶۱۴ متر).

Figure 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).

۲-۱-۵- ریزرخساره های محیط سد

این محیط بر مبنای ۴ ریزرخساره گرینستون آئید دار همراه با تخلخل قالبی، پکستون پلویدی دارای بیوکلاست، گرینستون پلوید دار و گرینستون اینتراکلاست و بیوکلاست دار همراه با تخلخل بین دانه ای شناسایی شدند (شکل ۳). ریزرخساره گرینستون آئید دار همراه با تخلخل قالبی به عنوان اصلی ترین ریزرخساره مخزنی سازند دالان عمدتا از آئیدهای آراگونیتی انحلال یافته یا جانشین شده تشکیل شده است (بیشتر از ۷۰ درصد کل آلوکمها). در این ریزرخساره می توان به مشارکت خرده های اسکلتی و پلویدها (حداکثر ۲۰ درصد کل آلوکمها) نیز اشاره کرد. این میکروفاسیس منطبق بر کمربند رخساره ای 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 خرده های اسکلتی حمل شده از محیط تالاب به مقدار زیاد (حدود ۵۰

درصد) حاکی از حمل و نقل از محیط تالابی و نزدیک محیط این نهشته ها به محیط تالابی و شرایط کم عمق و تحت تاثیر امواج دریا دارد. وجود مقداری از زمینه میکرایتی (۳۰ درصد) در محیط سدی می تواند بر اثر کم شدن انرژی در محیط یا له شدن و خرد شدن پلویدهای میکرایتی در نتیجه تاثیر عوامل مختلف دیانرژی از جمله فشردگی باشد. این ریزرخساره منطبق بر کمربند رخساره ای شماره ۷ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۱۸ فلوگل و ویلسون و RMF26 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵، فلوگل، ۲۰۰۴). ریزرخساره گرینستون پلویید دار که آلوکم اصلی آن پلویید و دارای جورشدگی خوبی است. همراه پلویدها مقدار کمی از قطعات اسکلتی خرد شده نیز مشاهده می شود که حاکی از شرایط پراثرژی مجاور تالاب است. این ریزرخساره منطبق بر کمربند رخساره ای شماره ۵ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۱۱ فلوگل و ویلسون و RMF30 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵، فلوگل، ۲۰۰۴). ریزرخساره گرینستون اینتراکلاست و بیوکلاست دار همراه با تخلخل بین دانه ای بیانگر رسوبگذاری در پراثرژی ترین بخش تپه های پشته ای سازند دالان است. با نگاهی به ترکیب عناصر اسکلتی می توان دریافت که شرایط رسوبگذاری آن با دیگر رخساره های پشته ای تا حدودی متفاوت است، به طوری که اندازه آلوکمهها و نوع خرده های اسکلتی آن بیانگر محیط پراثرژی و متصل به دریای آزاد است (شکل ۳). این میکروفاسیس منطبق بر کمربند رخساره ای شماره ۶ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۸ فلوگل و ویلسون و RMF26 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵، فلوگل، ۲۰۰۴).

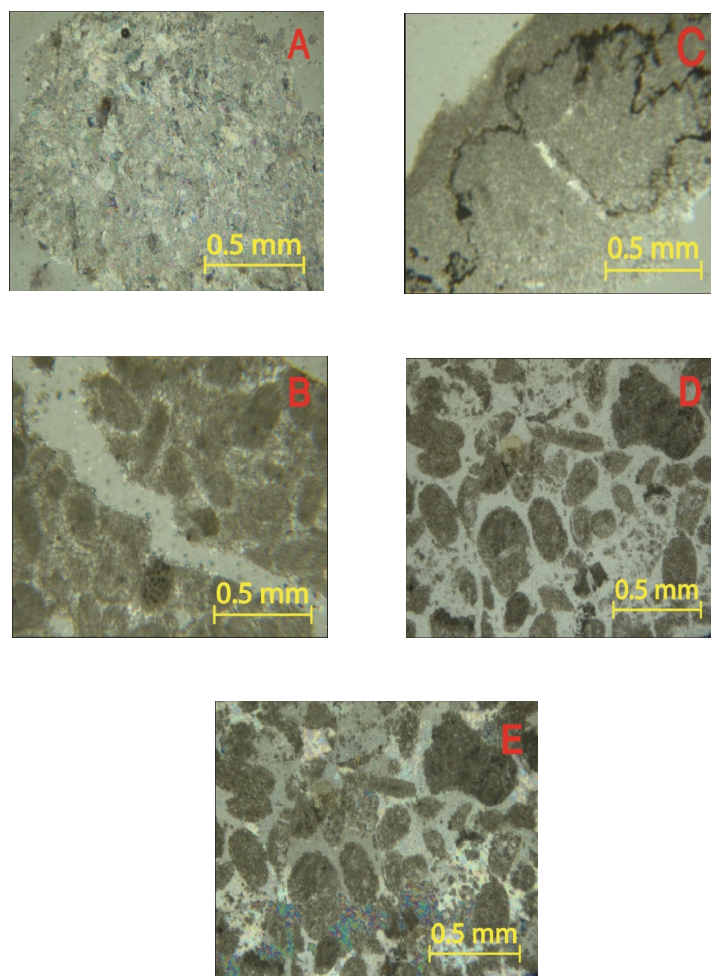


شکل ۳: میکروفاسیس ها (نور پلاریزان، بزرگنمایی 4x): A: پکستون پلوییدی دارای بیوکلاست (چاه کیش ۲، عمق ۳۵۲۶ متر). B: گرینستون پلویید دار (چاه کیش ۲، عمق ۳۶۱۶ متر). C: گرینستون اینتراکلاست و بیوکلاست دار همراه با تخلخل بین دانه ای (چاه کیش ۲، عمق ۳۶۹۸ متر). D: پکستون دارای فرامینیفرهای بنتیک و جلبک سبز (چاه کیش ۲، عمق ۳۵۱۲ متر). E: وکستون پلوییدی دارای بیوکلاست (چاه کیش ۲، عمق ۳۴۳۴ متر).

Figure 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).

۳-۱-۵- ریزرخساره های 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 و جلبک سبز با حضور جلبک سبز از جنس داسی کلاداسه به همراه فرامینیفراهای بنتیک (میلیولید) از خصوصیات بارز زیرمحیط تالابی می باشند. همچنین وجود پلویید به صورت برجها و لکه مانند حاکی از رسوبگذاری در همان محیط تشکیل و عدم حمل شدگی دارد. این ریزرخساره منطبق بر کمربند رخساره ای شماره ۸ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۸ فلوگل و ویلسون و RMF20 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵، فلوگل، ۲۰۰۴). ریزرخساره وکستون پلوییدی دارای بیوکلاست با وجود پلویید همراه با خمیره میکرایتی و فسیل های شاخص محیط تالاب از جمله جلبک سبز و فرامینیفراهای 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 کمربند رخساره ای شماره ۷ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۰ 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 کمربند رخساره ای شماره ۸ ویلسون و میکروفاسیس استاندارد ۱۶ فلوگل و ویلسون و RMF16 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵، فلوگل، ۲۰۰۴).



شکل ۴: میکروفاسیس ها (نور پلاریزه، بزرگنمایی ۴x): A, B: پکستون پلوییدی (چاه کیش ۱، عمق های ۳۵۲۸ 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).

Figure 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 peloidy, (Kish B2 well, depth, 3540 m).

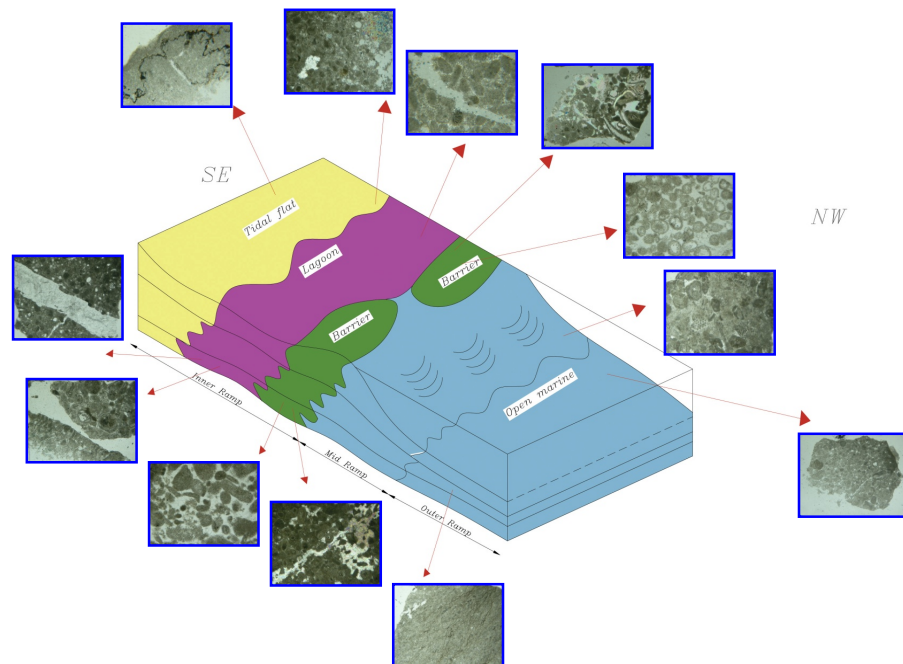
۴-۱-۵- ریزرخساره های محیط جزرومدی

این زیرمحیط بر مبنای ۲ ریزرخساره مادستون دولومیتی همراه با قالب های تبخیری که نشاندهنده غلبه اقلیم گرم و خشک و محدودیت گردش آب در این حوضه است. محیط تشکیل این رخساره عموماً به گودال های کوچک و پهنه های گلی در پهنه های بین جزرومدی نسبت داده می شود. امروزه شبیه به این رخساره در برخی پلاتفرم های کربناته گرم و خشک با تبخیر بالا در بخش سبخای خلیج فارس مشاهده می شود (شیم، ۱۹۹۳ و ۱۹۸۶. فریدمن، ۱۹۹۵. تاکر و رایت، ۱۹۹۰). این ریزرخساره منطبق بر کمربند رخساره ای شماره ۹ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۲۳ فلوگل و ویلسون و RMF25 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵. فلوگل، ۲۰۰۴). ریزرخساره پکستون-گرینستون اینتراکلاستی دارای پلویید که وجود اینتراکلاست ها با اندازه های متفاوت و از منشاء تالابی حاکی از رسوبگذاری در شرایط پهنه های جزرومدی و تغییرات ناگهانی در انرژی محیط در اثر عواملی نظیر طوفان می باشد. این ریزرخساره منطبق بر کمربند رخساره ای شماره ۹ ویلسون و ریزرخساره استاندارد ۲۵ فلوگل و ویلسون و RMF24 فلوگل است (ویلسون، ۱۹۷۵. فلوگل، ۲۰۰۴).

۲-۵- مدل رسوبی

با توجه به ریزرخساره های شناسایی شده و دسته بندی رخساره ها بر اساس روش فلوگل و ویلسون (ویلسون، ۱۹۷۵. فلوگل، ۲۰۰۴)، می توان محیط رسوبگذاری نهشته های کربناته سازند دالان را در ناحیه مورد مطالعه، 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 رخساره های لاگونی و سدی به ویژه آئیدی در این توالی بیشتری دارد. در شکل ۵ مدل رسوبی بخش بالایی سازند دالان در مقاطع مورد مطالعه با توجه به ریزرخساره های شناسایی شده ارائه گردیده است. گسترش زیاد سدهای زیرآبی، فراوانی رخساره های آئیدی و قالبهای بلورهای تبخیری و تنوع کم فسیل ها دلالت بر وجود آب و هوای گرم و خشک مشابه محیط امروزی خلیج فارس (پورسر، ۱۹۷۳) در طی رسوبگذاری دالان است.



شکل ۵: مدل رسوبی سازند دالان در منطقه مورد مطالعه

Figure 5: Sedimentary model of Dalan Formation in the study area

۶- فرآیند های دیاژنزی

دیاژنز سنگ های کربناته فرآیند های مختلفی را شامل می شود که در محیط های نزدیک به بستر دریا، جوی و تدفین عمیق صورت می گیرند. در این مطالعه ابتدا به توضیح فرآیندهای دیاژنزی مشاهده شده در سازند دالان پرداخته و سپس به دلیل اهمیت تخلخل های موجود در ارتباط با خصوصیات مخزنی، به شرح انواع تخلخل مشاهده شده در مقاطع مورد مطالعه پرداخته و در نهایت توالی پاراژنتیکی ارایه شده است.

۱-۲-۶- 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 جلبک ها پایدار شده اند دیده می شود. البته به مقدار کم این فرآیند در محیط دریایی فعال نیز قابل مشاهده است.

۲-۲-۶- سیمانی شدن: در سنگهای کربناته در مناطق مختلف دیاژنزی (ائوژنتیک، مزوژنتیک و تلوژنتیک)، کلسیت (سیمان کلسیتی) به شکل های گوناگونی تشکیل می شود که تمام آنها به عنوان پرکننده تخلخل و برخی کم کننده تراوایی، نقش ایفا می کنند. در میدان گازی کیش، این کلسیت ها را می توان در دو دسته کلی ذیل شرح داد که هر کدام دارای انواع مختلفی هستند (شکل ۶).

۱- سیمان کلسیتی پرکننده تخلخل بین آلوکم ها و فسیل ها

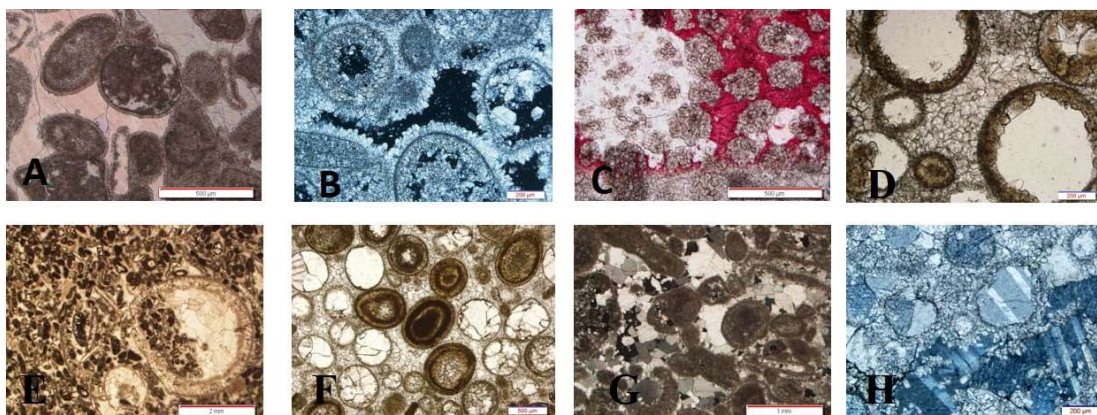
در میدان گازی کیش، سیمان های اسپاری به شکل های مختلف، فضای اولیه موجود بین آلوکم ها و فسیل ها را پر کرده اند: الف- سیمان فیبری و تیغه ای: به نظر می رسد این سیمان اولین سیمان تشکیل شده در سازند دالان باشد (شکل ۶ تصویرهای A, B). این سیمان که معمولاً بعنوان یک سیمان فراتیک دریایی شناخته می شود اطراف آئیدها و فسیل ها را فراگرفته است. حضور این سیمان در اطراف ذرات سبب شده تا این رخساره ها در مقابل تراکم فیزیکی مقاوم شده و در نتیجه تخلخل بین ذره ای در این رخساره ها حفظ شده است.

ب- سیمان های دروزی و فراگیر (پویکیلو توپیک): سیمان دروزی و پویکیلو توپیک نسل های بعدی است که پس از سیمان فیبری/تیغه ای تشکیل شده و فضای بین آلوکمی باقیمانده را پر کرده است. این سیمان ها در طی دیاژنز اولیه و تاخیری بوجود می آیند. از خصوصیات بارز این سیمان افزایش اندازه بلورها به سمت مرکز حفرات است. نوع پویکیلو توپیک به صورت بلورهای درشتی دیده می شود که چندین دانه را دربر می گیرد (شکل ۶).

۲- سیمان کلسیتی پرکننده تخلخل قالبی و شکستگی ها: ایجاد تخلخل قالبی می تواند نشانه غلبه دیاژنز متئوریک و ایجاد تخلخل ثانویه پس از ازبین رفتن تخلخل اولیه باشد و می توان آن را به منطقه ائوژنتیک و تلوژنتیک ربط داد، به شرط اینکه جریان آب زیاد بوده و بطور مداوم آب تحت اشباع از کربنات کلسیم با آلوکم ها و فسیل ها در ارتباط بوده باشد. شکستگی ها معمولاً طی حرکات تکتونیکی رخ داده که در منطقه تلوژنتیک بوقوع می پیوندد.

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

ب- سیمان کلسیتی پرکننده شکستگی ها: در مخازنی که تخلخل بالا و تراوایی پایین دارند شکستگی معمولاً باعث بهبود تراوایی و استحصال بیشتر هیدروکربور می شود و پر شدن این شکستگی ها نیز در کاهش تراوایی مخزن تاثیر زیادی دارند. در سازند دالان در میدان مذکور اکثر این شکستگی ها با انیدریت و دولومیت و مقداری با کلسیت پر شده اند و با بررسی مقاطع نازک بنظر نمی رسد 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.



شکل ۶: انواع سیمان‌های کلسیتی در سازند دالان: A. سیمان اسپاری فیبری / تیغه‌ای در یک گرین‌استون اییدی (فلش) ، فضای بین آلوکیم‌ها توسط انیدریت اشغال شده و فشردگی فیزیکی موجب تماس و انحنای مرز دانه‌ها شده است. B. سیمان اسپاری فیبری / تیغه‌ای در یک گرین‌استون اییدی. فضای سیاه‌رنگ در شکل تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای هستند. C. فضای بین‌ایده‌های کاملاً دولومیتی شده و تخریب شده (دولومیتی شدن انتخابی) توسط سیمان اسپاری پویکیلوتوپیک (قرمز رنگ) اشغال شده است. سیمان پویکیلوتوپیک سفیدرنگ، سیمان انیدریتی است. D. سیمان اسپاری بلوکی (دروزی) که فضای بین‌ایده‌ها 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 اییده‌ها در یک گرین‌استون اییدی (سفیدرنگ). G. سیمان اسپاری موزاییکی (هم‌بعد) پرکننده فضای بین‌ایده‌ها. H. کلسیت اسپاری پرکننده شکستگی و قالب‌های اییدی با یکدیگر در یک گرین‌استون اییدی.

Figure 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 poikilotopic spar cement (red color). White poikilotopic 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.

۳-۲-۶- 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 آاییده‌ها 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.

۴-۲-۶- دولومیتی شدن

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

۱-۴-۲-۶- دولومیت‌های جایگزینی (Replacive dolomites): 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. محققین زیادی بر روی این نوع دولومیت تحقیق کرده و محیط تشکیل آن را سیخا و سکوه‌های محصور می‌دانند که از آن جمله می‌توان به سیبلی 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 پر شده است.

ج- دولومیت نوع ۳ (Rd3): دولومیت موزائیکی 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 به‌شدت مشخصات دیاژنز اولیه و محیط رسوبی را از بین می‌برد.

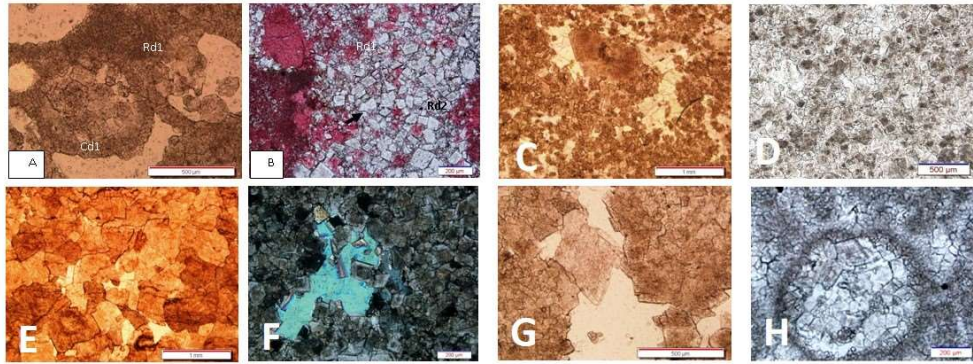
ترتیب تشکیل دولومیت‌های جایگزینی در میدان گازی مذکور به صورت $Rd1 \rightarrow Rd2 \rightarrow Rd3$ است. براساس دولومیت‌زایی وسیع انواع ۲ و ۳ همراه با انیدریت‌زایی وسیع در این سکوی کربناته به ویژه در زیر محیط‌های لاگون و سد، احتمالاً مکانیسم دولومیت‌زایی نشی- بازگشتی (Seepage- reflux) در این سکو موثر بوده است.

۲-۴-۲-۶- 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 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 بلورهایی غیرصفحه‌ای، منحنی‌شکل با خاموشی موحی داشته و دارای ابعاد حدود ۱۵۰ میکرون می‌باشند. اکثر این دولومیت‌ها به‌علت 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 آئیدها در گرین‌استون‌ها رشد می‌کنند.



شکل ۷: انواع دولومیت در سازندهای دالان. A, B. دولومیت Rd1. در سازند دالان این نوع دولومیت در زمینه یک گرین استون آبییدی دیده می‌شود. سیمان دولومیت Cd1 نیز بخشی از فضای داخل آبیدها 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 اشغال شده است. G, H. دولومیت‌های زین اسبی با ساختمانی منحنی‌شکل و با خاموشی موجی که یک شکستگی را و یک آبیید را پر کرده‌اند.

Figure 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 ooids. 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.

۵-۲-۶-انواع تخلخل در سازند دالان

۱-۵-۲-۶-تخلخل اولیه، تحت تاثیر فابریک سنگ

الف-تخلخل بین‌ذره‌ای: در سازند دالان این نوع تخلخل معمولاً بین آلوکم‌های آبییدی و دانه‌های اسکلتی پلوییدی دولومیتی در توالی‌های موجود در K3 و K4 (سازند دالان) همچنین K1 و K2 گسترش یافته است. برپایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳) تخلخل مذکور از نوع بین‌ذره‌ای (IP) بوده و برای تراوایی مخزن بسیار مهم است.

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 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.

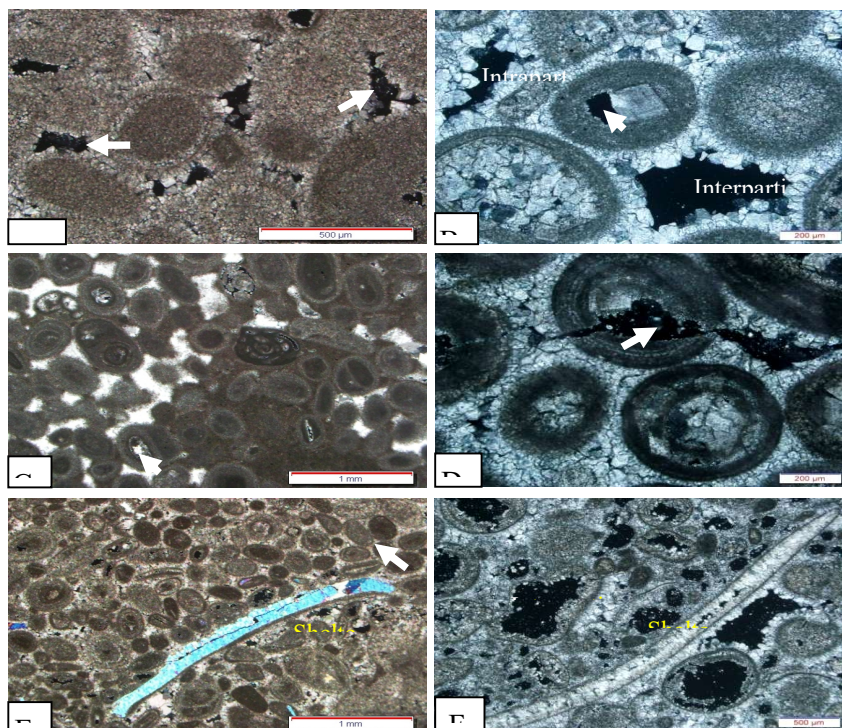
ج-تخلخل پناهگاهی: این نوع تخلخل معمولاً در صدف‌هایی دیده می‌شود که از طرف مقعر خود بر روی رسوبات قرار می‌گیرند. تخلخل مذکور در سازند دالان دیده می‌شود. برپایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل مذکور از نوع حفرات جدا از هم (SV) است.

۲-۵-۲-۵-تخلخل ثانویه، تحت تاثیر فابریک سنگ

الف-تخلخل بین بلوری: 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 مذکور از نوع بین ذره‌ای (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 پرمینیزیم 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 رده بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل مذکور از نوع حفرات جدا از هم (SV) بوده و کمک زیادی به تراوایی مخزن نمی کند.



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 درون دانه‌ای ثانویه است. C, D. تخلخل درون دانه‌ای: از نوع اولیه (فلش‌های سفید) در یک گرین‌استون آبییدی C، و از نوع پس از رسوب‌گذاری و حاصل انحلال در یک گرین‌استون آبییدی D. E, F. تخلخل پناهگاهی: در سازند دالان این نوع تخلخل (فلش سفید) در اثر فضای ایجادشده در زیر یک خرده صدف ایجاد شده E، F این تخلخل با حضور یک صدف دوکفه‌ای ایجاد شده است.

Figure 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.

۳-۵-۲-۶- تخلخل‌هایی که تحت تاثیر فابریک سنگ نیستند

الف- تخلخل شکستگی: شکستگی معمولاً در تمام سازندهای زیرسطحی رخ می دهد و عمدتاً با انحلال همراه است. در سازند دالان تخلخل مذکور بیشتر با انیدریت، دولومیت و کلسیت پُر شده‌اند و با فراوانی کمتر می توان به کانی‌هایی مثل سلسیت و کوارتز نیز اشاره کرد. بر پایه رده بندی 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 می یابد.

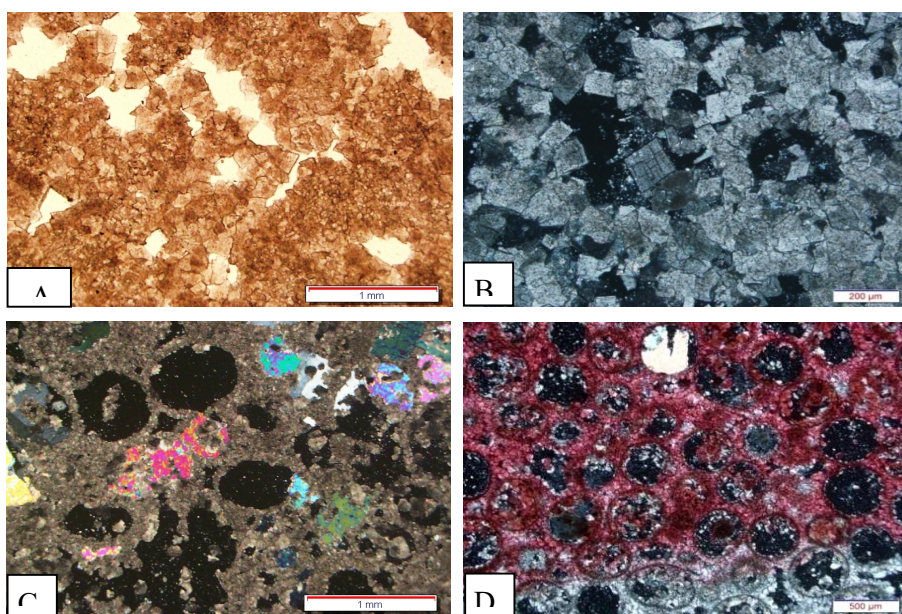
ب- تخلخل کانالی: این نوع تخلخل در سازند دالان فراوان نیست. تخلخل مذکور در این سازند بیشتر در مادستون‌ها و وکستون‌ها رخ داده است. البته تعداد کمی از آنها حفظ شده و مابقی با انیدریت، کلسیت و یا دولومیت پر شده‌اند.

ج- **تخلخل حفره‌ای**: این نوع تخلخل همراه با تخلخل غاری بیشتر با انحلال انواع ناپایدار و نیمه پایدار رسوبات کربناته (آلومکها و فسیل‌ها) ایجاد می‌شود (ایمینهایزر، ۲۰۱۲). در سازند دالان تخلخل مذکور بیشتر در سنگ‌های بلوری دیده می‌شود.

۴-۵-۶- 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 بدنبال 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. برپایه رده‌بندی لوسیا (۱۹۸۳)، تخلخل مذکور از نوع حفرات به هم متصل (TV) است.



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 آئیدها. برخی از تخلخل‌های قالبی در هر دو سازند توسط انیدریت اشغال شده‌اند.

Figure 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 ooids. Some mold pore in both formations are occupied by anhydrite.

۶-۲-۶- انیدریتی شدن سازند دالان

۱-۶-۲-۶- 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 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 بوجود 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 پهنه کشندی بوده (لوسیا، ۲۰۰۷، وارن، ۲۰۰۰) و در میدان گازی 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 سانتی متر 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.

۲-۶-۲-۶-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 محیط کشندی 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 پهنه کشندی تا سیخا بوجود آمده است، هرچند 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 میدان گازی کیش، این بافت طی شرایط گوناگون دیاژنزی و در محیط‌های مختلفی از سیخا (دولومادستون) تا پشته یا شول (گرین‌استون آبی) تشکیل شده است.

د- بافت بی‌نظم: این بافت عموماً درون ساخت نودولی دیده شده (شکل ۱۰ A, B) و شبیه بافت سوزنی‌شکل است با این تفاوت که سوزن‌ها دارای جهت‌یابی مشخصی نمی‌باشند.

ه- بافت فیبری‌شکل: 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.

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 مزوژنتیک در این شکستگی‌ها مشاهده کرد، از جمله بافت‌های بلوری و فیبری (شکل ۱۱ A, B, C).

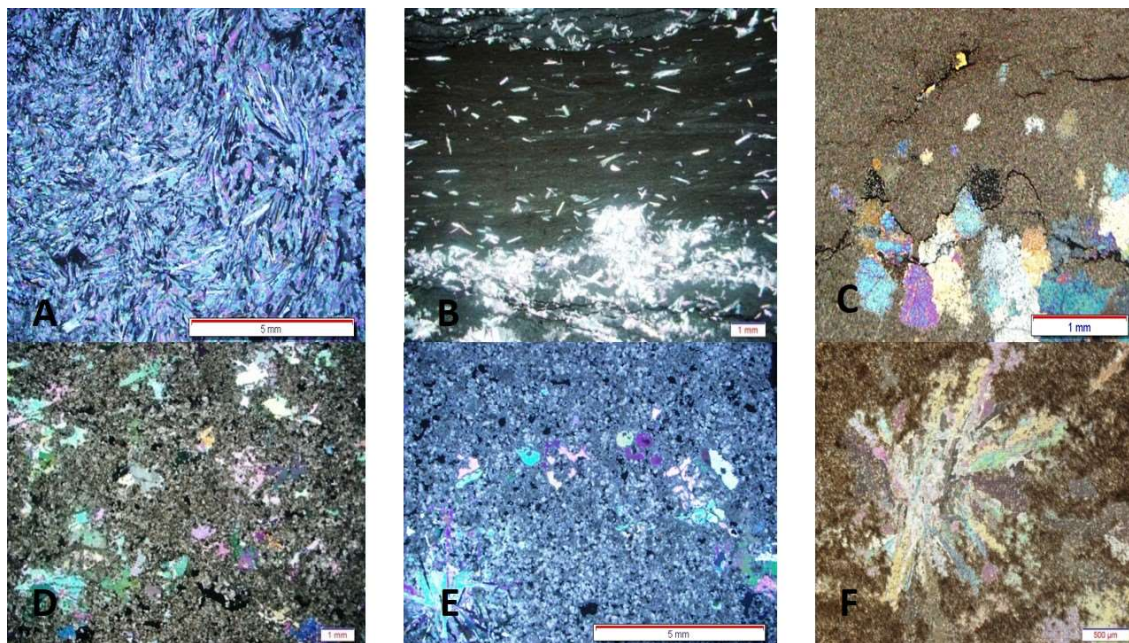
ه- بافت‌های انیدریتی پرکننده حفرات

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

۲- بافت قالبی: این بافت هنگامی تشکیل می‌شود که شوراها یا انیدریت‌ساز درون قالب‌ها را پرکنند. بافت تشکیل شده می‌تواند بلوری، شعاعی و یا فیبری باشد. معمولاً به تمام بافت‌های پرکننده حفرات بین‌ذره‌ای، قالبی و فینسترال، سیمان می‌گویند (اهرنبرگ، ۲۰۰۶، لوسیا، ۲۰۰۷). انیدریت پرکننده حفرات بر روی خصوصیات مخزنی تاثیر مخرب داشته و باعث کاهش تخلخل و تراوایی می‌شود.

توالی تشکیل ساخت‌ها و بافت‌های انیدریتی با افزایش عمق به شرح ذیل می‌باشد:

Nodules → layers → cements



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

Figure 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 dolomastone and coarser crystalline dolomites. Usually these crystals are monochromatic and several different colors are not seen in one crystal. **E, F. Radial texture.**

۷-۲-۶- توالی پارائنتیک

بر مبنای مطالعات پتروگرافیک می‌توان توالی پارائنتیک 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 داده های سنگ‌شناسی، پتروفیزیکی و ژئوشیمی آلی مراحل مختلف دیاژنز را ارزیابی نمودند. میکریتی شدن و سیمان حاشیه ای کم ضخامت نسل اول در محیط دیاژنز دریایی بوجود آمده اند (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۷). فشردگی فیزیکی نیز معمولاً در مراحل اولیه دیاژنز که سیمان کمی وجود دارد به وقوع می‌پیوندد، ولی تا فشردگی مراحل تدفینی نیز می‌تواند امتداد داشته باشد. وجود شواهد استیلولیت نشان‌دهنده تدفین بالای ۶۰۰ متر بوده و سیمان دروزی معمولاً از اطراف حفره های خالی بطرف داخل بوجود می‌آید و از جمله فرایندهای دیاژنتیکی مربوط به محیطهای متئوریک و دفنی می‌باشد (هیاسلی، ۲۰۰۰). فضلی و رضایی پرتو، (۱۴۰۱). سیمان پوکیلوتاپیک از سیمانهایی است که معمولاً در محیط دیاژنز تدفینی و در مرحله مزوژنز بوجود می‌آید (مور، ۲۰۰۱). فرایند انحلال 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 رخساره ها 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 طولانی تر باشد دیاژنز شدیدتر خواهد بود (سبحانی فروشانی و همکاران، ۱۴۰۰). 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 نشستی برگشتی می‌باشد (رحیم پور بناب و همکاران، ۲۰۱۰). در مقاطع مورد مطالعه نیز اکثر دولومیتها احتمالاً در شرایط مشابه در

محیطهای کم عمق دریایی و متئوریک بوجود آمده اند. بخشی از دولومیت‌های Cd1 هم که در ارتباط با استیلولیتها هستند در طی تدفین بوجود آمده اند. دولومیت‌های زین اسبی Cd2 نیز تحت تاثیر دیاژنز تدفینی و درجه حرارت بالاتر از ۶۰ درجه سانتیگراد بوجود می آیند (وارن، ۲۰۰۰) و در خلیج فارس از اعماق ۱۶۰۰ متر به بعد شرایط مساعدی برای تشکیل آن وجود دارد (رحیم پور بناب و همکاران، ۲۰۱۰). انیدریت‌های ریز بلور و انیدریت‌های نودولی هم در محیط‌های سوپراتایدال و سیخا در مراحل اولیه دیاژنز دریایی توسط آب‌های با میزان شوری ۴ تا ۷ برابری نسبت به آب دریا بوجود می آیند (وارن، ۲۰۰۶). بافت‌های بی نظم، سوزنی، شعاعی، متبلور، فیبری و مخلوط در این ندولها دیده می شود. بافت‌های پرکننده حفرات و پویکیلو تاپیک نیز در خلیج فارس معمولاً در شرایط ابتدایی و کم عمق دیاژنز بوجود می آیند (رحیم پور بناب و همکاران، ۲۰۱۰)، از طرف دیگر بیشتر شکستگیها احتمالاً در طی نیروی حاصل از بالا آمدن نمک هرمز و ایجاد ساختار مخزن کیش بوجود آمده اند و رگه های انیدریتی و کلسیتی هم در طی بالا آمدن در داخل شکستگیها بوجود آمده اند (شکل ۱۱).

مراحل دیاژنز	ایوژنتیک		مزوژنتیک	تلوژنتیک
	دریایی	متئوریک	تدفینی	تدفینی
محیطهای دیاژنتیک				
فرایندهای دیاژنتیک				
میکریتی شدن				
سیال شدن	هم شناخت			
	موزائیک دروزی			
	پویکیلو تاپیک			
	رگه ای			
تیز شدن	فیزیکی			
	شیمیایی			
اتحلال				
تخلخل	انتخاب شده فابریک			
	انتخاب نشده فابریک			
تبدیلی شدن	ندولار			
	پویکیلو تاپیک			
	پرکننده رگه ای			
دریایی شدن	Rd1			
	Rd2			
	Rd3			
	Cd1			
	Cd2			
شکستگی				

شکل ۱۱: توالی پاراژنتیک فرایندهای دیاژنتیکی سازند دالان.

Figure 11: Paragenetic sequence of digenetic processes of Dalan Formation.

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 رحیم پور بناب، ۲۰۱۳. میرزایی محمودآبادی، ۱۴۰۰). محققین زیادی بر روی راک تاپ‌سازی مخازن کربناته و کربناته-آواری کار کرده‌اند که از آن میان می‌توان به گرانیر (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 شکستگی ها در بهبود کیفیت مخزن و فرایندهایی نظیر فشردگی فیزیکی و شیمیایی و سیمانی شدن موجب کاهش کیفیت مخزن می شود (دهکار و همکاران، ۱۳۹۹. عباسپور

و همکاران، ۱۴۰۱). رخساره های رسوبی توسعه مخازن با کیفیت بالا و پایین را کنترل می کنند اما تأثیر کمی بر خواص فیزیکی مخازن با کیفیت متوسط دارند (لی، ۲۰۲۲). دو روش کلی راکتایپ سازی استاتیکی و راکتایپ سازی دینامیکی برای تعیین راکتایپ های مخزنی وجود دارد که در این پژوهش تعیین راکتایپ ها با استفاده از روش استاتیکی انجام شده است. براساس میزان اشباع شدگی سنگ های مخزنی و همچنین میزان تراوایی آنها (جدول ۱)، چهار راکتایپ مخزنی متفاوت برای سازند دالان شناسایی شد که عبارتند از:

جدول ۱: میانگین مقادیر اشباع شدگی (Sw_i)، تراوایی (K) و تخلخل (PHI, P) در سنگ های 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.

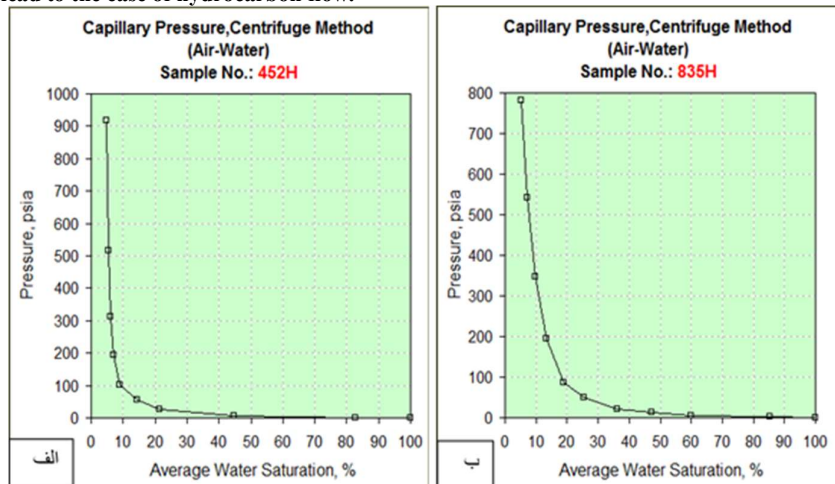
۷-۱- راکتایپ مخزنی ۱ (RRTs-1)

گرین استون آئیدی: این راکتایپ از خرده های اسکلتی و شبه آثار آئیدها همراه با تخلخل برشی تشکیل شده است (شکل ۱۲ A,B). بافت پویکیلوتوپیک انیدریت هم دیده می شود (شکل ۱۲ A). پس از سیمانی شدن، سنگ برشی شده و باعث ایجاد تراوایی خوبی برای جریان سیال شده است. سنگ مذکور دارای اشباع شدگی اندک و تراوایی بسیار زیادی می باشد (شکل ۱۲ و نمودار ۱).

دولومیت (دولوستون، کریستالین): این راکتایپ از دولومیت های صفحه ای خود شکل با بافت دانه شکری تشکیل شده و دارای تخلخل بین بلوری بسیار خوبی است (شکل ۱۲ C,D). این سنگ دارای اشباع شدگی بسیار کم و بیشترین تراوایی است (شکل ۱۲ و نمودار ۱ ب). از این رو بهترین نوع تخلخل برای عبور هیدروکربور (نفت و گاز) می باشد.

نمودار ۱: میزان خروج آب اشباع شده درون تخلخل سنگ‌های مخزنی تیپ ۱ در مقابل مقدار فشار موئینه. الف، ب. همانطور که در این نمودارها دیده می‌شود با افزایش فشار موئینه 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.



The figure consists of four photomicrographs arranged in a 2x2 grid, labeled A, B, C, and D. Each image shows a different rock texture. A and B show blue-tinted textures with dark, irregular shapes. C and D show brown-tinted textures with lighter, more crystalline areas. Each image includes a scale bar in the bottom right corner.

شکل ۱۲: راکتایپ ۱. خرده‌های اسکلتی و شبه آثار آئیدها همراه با تخلخل پرشی 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 شکری را بوجود آورده است. اکثر بلورهای دولومیت موجود از نوع Rd2 هستند.

Figure 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.

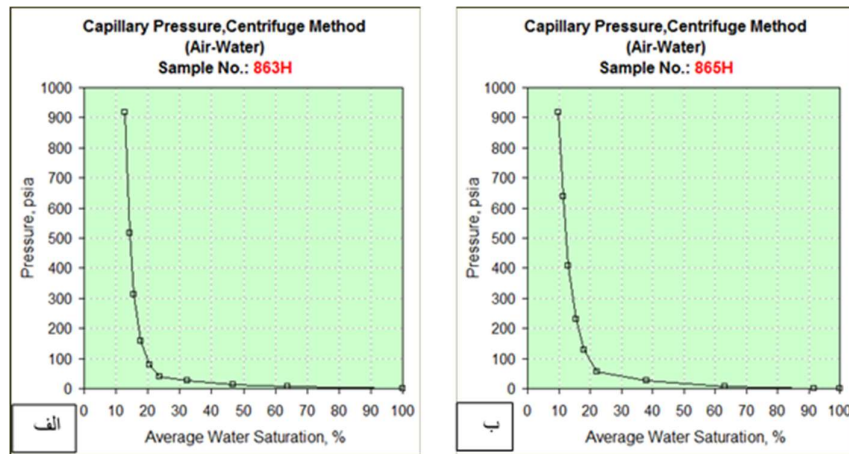
۲-۷- راک تایپ مخزنی ۲ (RRTs-2)

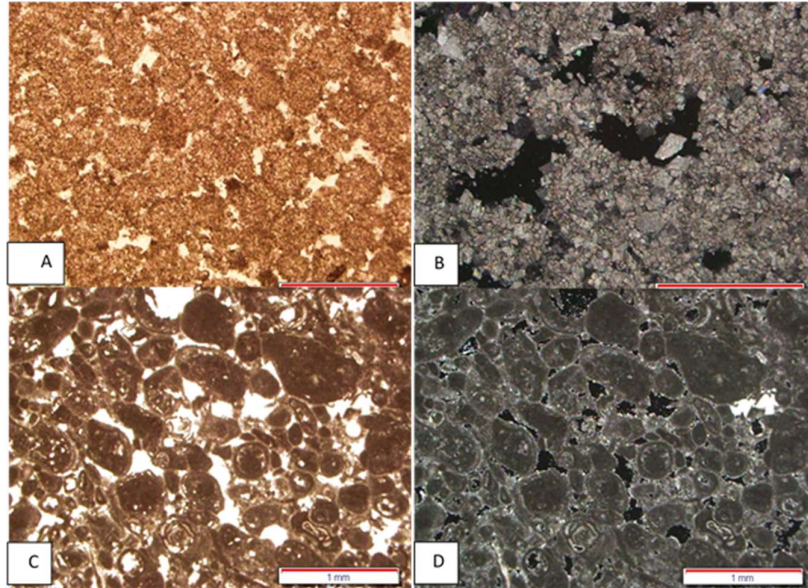
دولو-گرین استون: این نوع سنگ از آثار آئید و دولومیت های نئومورفی با تخلخل های بین بلوری و کانالی تشکیل شده است (شکل ۱۳ A,B). اکثر بلورهای دولومیت از نوع صفحه ای نیمه شکل دار و بی شکل هستند (Cd1) و منافذ درون آئیدها و قالب های آنها را پر کرده اند. این سنگ دارای اشباع کم و تراوایی زیاد است (نمودار ۱ الف) و برای مخزن مناسب است.

دولو-گرین استون: این راک تایپ متشکل از خرده های اسکلتی، جلبک، و آثاری از آئید و همچنین تخلخل های بین ذره ای، درون ذره ای و قالبی می باشد (شکل ۱۲ C,D). این سنگ دارای اشباع شدگی کم و تراوایی زیاد است (نمودار ۱ ب) و برای ایجاد مخزن و انتقال سیال مناسب است.

نمودار ۲: میزان خروج آب اشباع شده درون تخلخل سنگ های مخزنی تیپ ۲ در مقابل مقدار فشار مویینه. الف، ب. همانطور که در این نمودارها دیده می شود با افزایش فشار مویینه تا ۹۰ درصد از آب اشباع شده درون تخلخل سنگ مخزن خارج می شود. این خود نشان دهنده تراوایی بالا سنگ های مخزنی تیپ ۲ می باشد 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: راکتایپ ۲. A, B. دولوگرین استون با تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و کانالی (فلش). آثار آئیدی (قالب‌ها) توسط دولومیت Cd1 اشغال شده‌اند. C, D. دولوگرین استون با تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، و قالبی (فلش). کمی از تخلخل‌ها با سیمان انیدریتی پر شده‌اند.

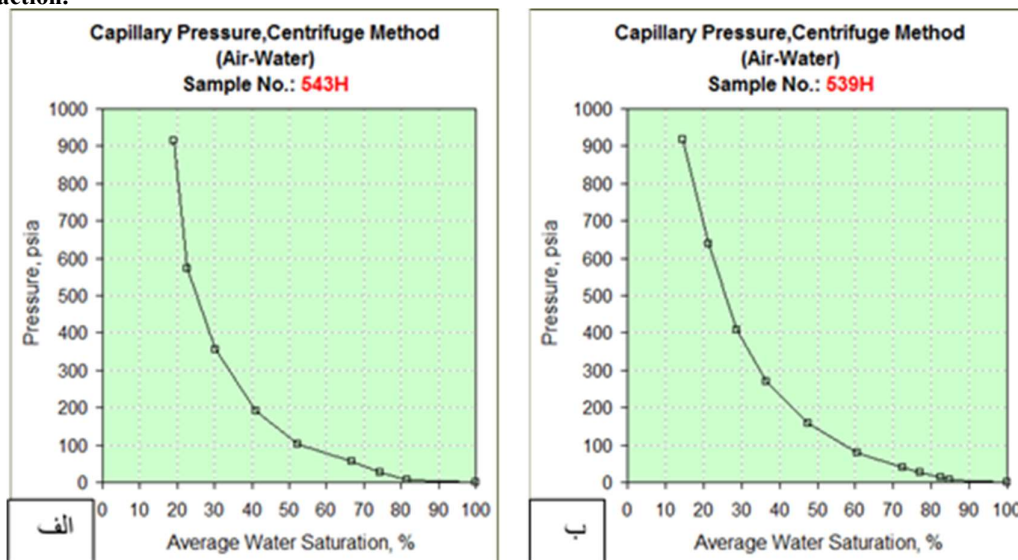
Figure 13: Rock-type 2. A, B. Dolograins with intergranular and channel porosities (arrow). Ooid traces (moulds) are occupied by Cd1 dolomite. C, D. Dolograins with intergranular, intragranular, and mold porosity (arrow). Some of the pores are filled with anhydrite cement.

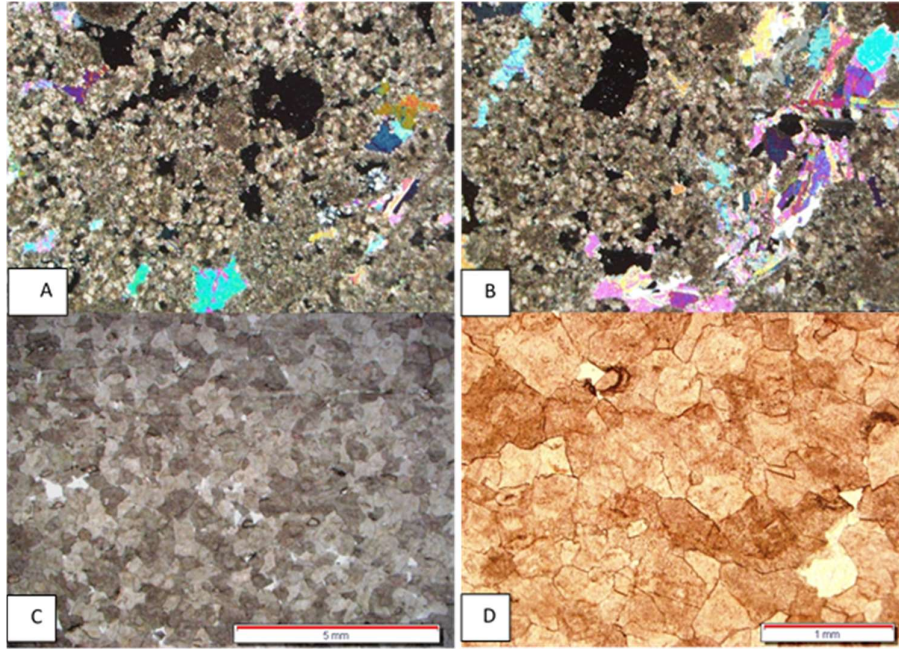
۳-۷-۲- راکتایپ مخزنی ۳ (RRTs-3)

دولوگرین استون: 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). 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).

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: راکتایپ ۳. دولوگرین استون 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 بین‌رفته است. دولومیت‌ها Rd3 هستند (C,D).

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

۴-۷- راکتایپ مخزنی ۴ (RRTs-4)

گرین استون بایوکلسیتی-آییدی: 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 الف).

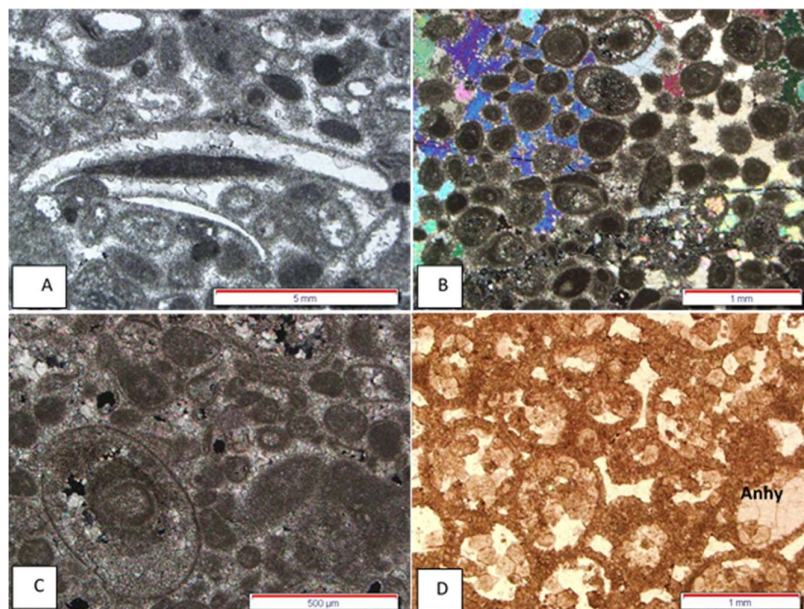
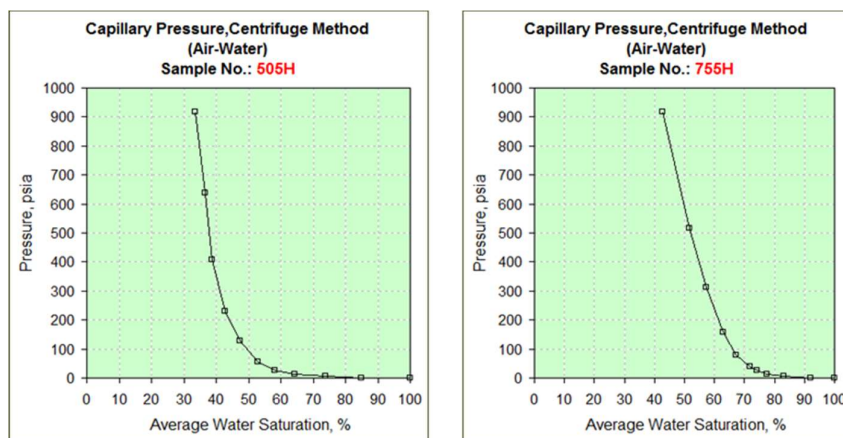
گرین استون آییدی: یک گرین استون با تخلخل‌های بین‌ذره‌ای، درون‌ذره‌ای و قالبی که تمامی آنها با انیدریت پر شده‌اند (شکل ۱۵ B). آئیدها فشرده بوده و جورشدگی خوبی ندارند و تعدادی از آنها دچار دگرریختی و پهن شده‌اند. سنگ مذکور دارای بیشترین اشباع‌شدگی و کمترین تراوایی است.

گرین استون آییدی-بایوکلسیتی: در این گرین استون، اکثر تخلخل‌های بین‌ذره‌ای و درون‌ذره‌ای 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.

گرین استون آییدی: گرین استونی با آئیدهای با جورشدگی ضعیف که باعث ایجاد تخلخل‌های قالبی و بین‌ذره‌ای شده است (شکل ۱۵ D). اغلب قالب‌های آییدی با Cd1 و تعدادی با انیدریت و مقداری از فضای منفذی بین‌ذره‌ای با Rd1 اشغال شده‌اند. سنگ مذکور دارای بیشترین اشباع‌شدگی و کمترین تراوایی است. این سنگ نمی‌تواند سنگ مخزن شود.

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. گرین‌استون با اییدهای ضعیف جور شده، و صدف‌های دوکفه‌ای همراه با تخلخل قالبی و کمی تخلخل بین‌دانه‌ای. سنگ فشردگی مکانیکی را تحمل کرده و برخی از اییدها دگر ریخت و پهن شده‌اند. B. گرین‌استون با تخلخل‌های بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، و قالبی، تمام تخلخل‌ها با انیدریت پر شده‌اند. اییدها جورشدگی ضعیف داشته و بهم فشرده هستند. C. گرین‌استون با جورشدگی ضعیف اییدها و خرده فسیل‌ها. اکثر منافذ سنگ اعم از تخلخل‌های بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای با سیمان کلسیتی اشغال شده‌اند. D. گرین‌استون با تخلخل‌های قالبی و بین‌دانه‌ای. اکثر منافذ با دولومیت‌های Cd1 و Rd1، و کمی با انیدریت پر شده‌اند.

Figure 15: Rock-type 4. A. Grainstone with poorly arranged ooides, 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 ooides 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.

۵-۷- ارزیابی راک تایپ‌های سازند دالان در ستون چینه‌شناسی

در مخازن هیدروکربوری کربناته بدلیل وجود تغییرات در شدت و نوع فرآیندهای دیاژنری، تغییرات کیفیت مخزنی حتی در یک رخساره رسوبی معین بسیار متغیر است. بنابراین، انتظار داشتن کیفیت مخزنی یکسان از هر رخساره رسوبی در محدوده افقی و عمودی مخازن کربنات غیر منطقی است (جمیل پور و همکاران، ۱۴۰۰). پس از تعیین راک‌تایپ‌های مخزنی 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 باکیفیت‌ترین سنگ‌های مخزنی 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 مخزن در سازند دالان بالایی بیشتر در این زون قرار گرفته و حدود ۴۲ متر ضخامت دارد. سنگ‌های مربوط به راک‌تایپ‌های مخزنی دیگر هم در این زون و به صورت میان‌لایه با این سنگ‌ها وجود دارند که هر دو راک‌تایپ دیگر را دربرمی‌گیرد (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 مخزنی بیشتر از سنگ‌های دولومیتی کریستالین و گرین‌استون پرشی شده تشکیل شده است و دولومیتی شدن و پرشی شدن (می‌تواند ناشی از تکتونیسیم نمک باشد) توانسته نقش بسیار مهمی در ایجاد شرایط مخزنی بازی کند. لازم به ذکر است که سنگ‌های دولو گرین‌استون با تخلخل بین‌دانه‌ای و کانالی، و دولو گرین‌استون 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 مخزن با غیرمخزنی هستیم که البته در این قسمت، راک‌تایپ‌های ۳ و ۴ که کیفیت مخزنی ندارند فراوان‌تر هستند. با نگاه دقیق‌تر به توالی سنگی عضو بالایی سازند دالان مشخص می‌شود که سنگ‌های با کیفیت مخزنی (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 مخزنی با کیفیت (زرد و سبزرنگ) و غیرمخزنی (آبی و مشکی) وجود دارد که در صورت وجود هیدروکربور می‌تواند تولید خوبی داشته باشد. همانطوریکه ذکر شد تناوب سنگ‌های غیرمخزنی با انواع مخزنی، 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 مخزنی 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 مخزن 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 مخزنی ندارد، انواع گرین‌استون (آبی رنگ) و سپس مادستون (گل‌بهی رنگ) است که هرکدام 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 ادعان داشت در سنگ‌هایی که دولومیتی شده‌اند، محیط تشکیل و توالی تشکیل دهنده محیط رسوبی نمی‌توانند مهیا کننده شرایط لازم برای ایجاد سنگ‌های با کیفیت مخزنی باشند بلکه عمدتاً دیاژنز نهایی (همراه با دیاپیریسیم نمک) است که تعیین‌کننده مخزنی شدن یا غیرمخزنی 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. البته نتایج آزمایش بهره‌دهی چاه نیز موجود می‌باشد. چنانچه به هر منطقه آزمایش شده در چاه کیش ۱ و ۲ (سبزرنگ) یک عدد اختصاص داده و آن منطقه را با چاه کیش B2 تطابق دهیم، نتایج ذیل قابل پیگیری خواهد بود:

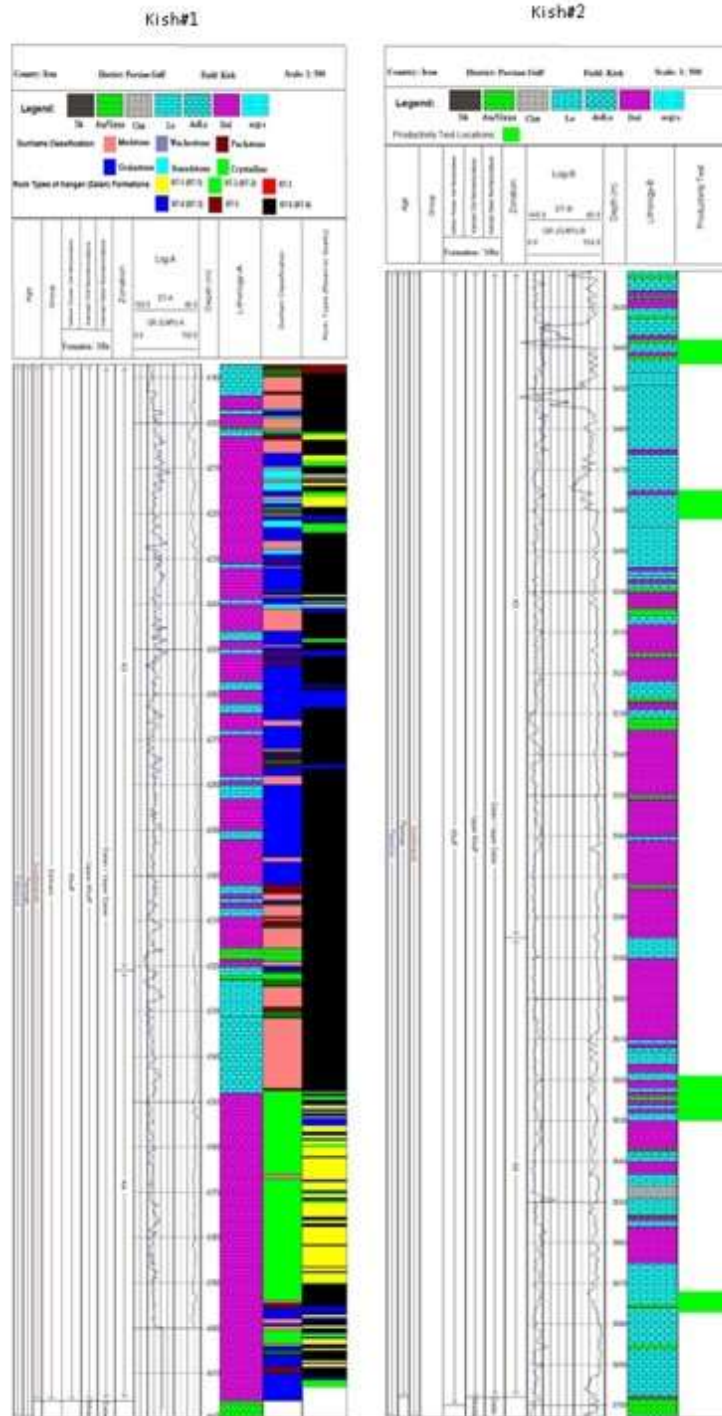
منطقه ۱: پس از آزمایش بهره‌دهی مشخص شد که این منطقه دارای گاز، میعانات گازی و کمی آب می‌باشد. با تطابق این منطقه با چاه کیش B2 مشخص می‌شود که راک‌تایپ‌های ۱ و ۲ (بهترین سنگ مخزن‌ها) نیز در چاه نامبرده شده وجود دارد، پس تقریباً شرایط دیاژنزی حاکم بر این منطقه در هر دو چاه یکسان بوده و می‌شود پیش‌بینی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

مطالعه مقاطع نازک سازند دالان با سن پرمین بالایی در مقطع تحت الارضی 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 شده اند گردید. گسترده ترین ریزرخساره مربوط به محیط های سدی و تالاب می باشد. 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 بین دانه ای است. سنگ‌های مخزنی سازندهای دالان از نظر ارزیابی کیفیت مخزنی به ۴ رده (RRTs-1 to RRTs-4) تقسیم شده اند. 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 دی‌پیریسیم نمک) تعیین کننده مخزنی شدن یا غیرمخزنی بودن این سازند است.



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 دانهام 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.

Figure 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.

- 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*, Volume 10, Number 19. (In persian). <https://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 Shahrizad area, north Semnan, central Alborz, Iran. *Carbonates Evaporites*, 25, 177–191. <https://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. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00120-8](https://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*, Vol. 51, pp.1029–1051. <https://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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00908.x>.
- Cunningham, K.J., Sukop, M.C., Curran, H.A., 2012. Carbonate aquifers, *Developments in Sedimentology*, 64, 869-896. <https://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. <https://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*, Volume 8, Number 15. (In persian). <https://doi.org/10.22084/PSJ.2020.20110.1221>.
- Ehrenberg, S.N., 2006, Porosity destruction in carbonate platforms. *Journal of Petroleum Geology*, 29, 41-52. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2006.00041.x>.
- Fazli, L. Rezaeeparto, K. 2022. Analysis of Microfacies, Sedimentary Conditions and Diagenetic processes of the Asmari Reservoir in Qaleh Nar Field facies. *Applied Sedimentology*, Volume 10, Number 19. (In persian). <https://doi.org/10.22084/PSJ.2022.25782.1340>.
- 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. <https://doi.org/10.1306/212F91E2-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- Hesley, 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. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(99\)00057-4](https://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. <https://doi.org/10.4236/ojg.2016.66035>.
- Jahani, S., Callot, J. P., Letouzey, J. 2009, The eastern termination of the Zagros Fold-Thrust Belt (Iran): structures, evolution and relationships between salt plugs, folding and faulting. *TECTONICS*, 28, TC6004, <https://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*, Volume 9, Number 18. (In Persian). <https://doi.org/10.22084/PSJ.2021.23544.1270>.
- Li, B. Goldbergb, K. 2022. Diagenesis and reservoir quality of Cambrian carbonates in the Tarim Basin, northwestern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, vol 223. <https://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 reservoirs in the Eocene Shahejie Formation, Chezheng Sag, Bohai Bay Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol 211. <https://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*, Vol 195. <https://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. <https://doi.org/10.2118/10073-PA>.
- 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. <https://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*, Volume 9, Number 18. (In persian). <https://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. <https://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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2004.00629.x>.
- Qamar UZ, 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. <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01415-8>.
- Rahimpour Bonab, H., Esrafil-Dizaji, B., Tavakoli, V., 2010. Dolomitization and Anhydrite Precipitation in Permo-Triassic Carbonates at the South Pars Gasfield, Offshore Iran: Controls on Reservoir Quality. *Journal of Petroleum Geology*, 33(1), 43-66. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2010.00463.x>.
- Sibly, D. F. and Gregg, J. M., 1987, Classification of Dolomite Rock Textures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57, 6, 967-975. <https://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. <https://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*, Volume 9, Number 18. (In persian). <https://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. <https://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. <https://doi.org/10.1306/212F7766-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- Warren, J., 2000, Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. Elsevier, 52, 1-81. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00022-2).
- Warren, J.K., 2006. *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Springer-Verlog, Heidelberg Newyork, 1035. <https://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 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*, Vol 140. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105665>.

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*}, 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

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 (Perepermian 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) (Kashefi, 1992. Asrafi Dizaji and Rahimpour Bonab, 2009). Kish gas field (Fig. 2), 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 diagonal 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.