

# دولومیتی شدن فراگیر و تأثیر آن بر کیفیت مخزنی سازند جهرم در شمال و شمال غرب بندرعباس

افشین زهدی<sup>۱</sup>، سید علی معلمی<sup>۲\*</sup>، سیدرضا موسوی حرمی<sup>۳</sup> و اسداله محبوبی<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

۲- پژوهشکده ازدیاد و برداشت از مخازن نفت و گاز، تهران، ایران

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۳۰

## چکیده

در این تحقیق، به منظور بررسی خصوصیات انواع مختلف دولومیت‌ها و تأثیر آنها در کیفیت مخزنی سازند جهرم، از دو برش تحت‌الارضی در میدان‌های گازی سرخون (چاه ۱۴) و نمک غربی (چاه ۱)، به همراه دو رخنمون سطحی (تاق‌دیس‌های فینو و خوش) استفاده شده است. بخش‌های قاعده‌ای سازند جهرم در اکثر برش‌های منطقه بندرعباس توسط سیالات دولومیت‌ساز شدیداً تحت تأثیر قرار گرفته است. بر اساس شواهد پتروگرافی و استفاده از میکروسکوپ‌های پلاریزان، کاتدولومینسانس و الکترونی، چهار نوع دولومیت، در سازند جهرم تشخیص داده شده است. مطالعات صورت گرفته، بیان می‌کند که سازند جهرم در برش‌هایی می‌تواند به عنوان یک سنگ مخزن مناسب در نظر گرفته شود که در قاعده این سازند فرآیند دولومیتی شدن به میزان گسترده اتفاق افتاده باشد، و به دنبال تأثیر فرآیند دولومیتی شدن، به میزان قابل توجهی تخلخل قالبی حاصل از انحلال فرامینفرهای بنتیک ایجاد گردد.

**کلمات کلیدی:** دولومیتی شدن، کیفیت مخزنی، سازند جهرم، بندرعباس و رخنمون سطحی

## مقدمه

شمار می‌آید [۱]. لذا مطالعات گسترده‌ای بر روی انواع مختلف دولومیت‌ها و ارتباط آنها با خواص مخزنی انجام شده است. در سازند جهرم واقع در منطقه بندرعباس فرآیند دولومیتی شدن مهم‌ترین پدیده دیاژنزی مؤثر بر افزایش تخلخل و نفوذپذیری است. همانند سازند جهرم، توالی‌های کربناته کم عمق که تحت تأثیر فرآیندهای شدید دولومیتی شدن قرار گرفته است در سرتاسر رکوردهای

دولومیت یکی از محصولات دیاژنزی است که در بیشتر مراحل دیاژنز تشکیل می‌شود. دولومیتی شدن به دلیل نقشی که در افزایش حجم فضاهای خالی و برقراری ارتباط هر چه بهتر بین این فضاها دارد، از فرآیندهای مهم دیاژنزی در مخازن کربناته به

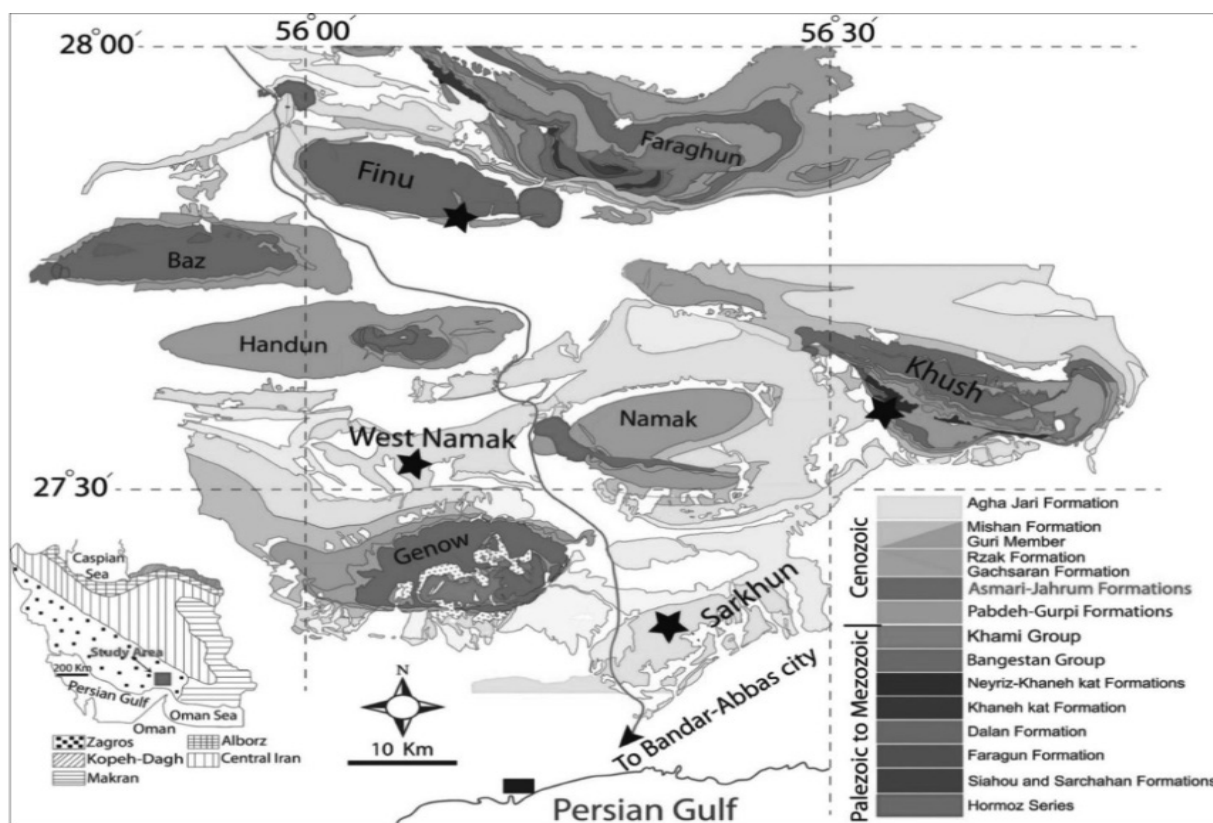
\*مسئول مکاتبات  
آدرس الکترونیکی: moallemisa@gmail.com

مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ بندرعباس، قدیمی‌ترین سنگ‌ها در این منطقه متعلق به سری هرمز است (شکل ۱). لازم به ذکر است که در ناحیه بندرعباس، اکثر تاقیدیس‌ها از سازندهای متعلق به دوران سنوزوئیک تشکیل شده است [۱۰]. به طوری که، نهشته‌های متعلق به ائوسن در برگیرنده سازند کربناته جهرم است که بر روی سازندهای گورپی و پابده قرار گرفته است و در بالا نیز توسط سازندهای رازک و آسماری پوشیده شده است. ضخامت این سازند از شمال به جنوب در منطقه بندرعباس کاهش می‌یابد (شکل ۲). در شمال منطقه بندرعباس سازند جهرم در قاعده دارای ضخامت قابل توجهی از دولومیت فاقد آلوکم و فسیل است (شکل ۳)، حال آنکه به سمت جنوب منطقه، اثری از بخش دولومیتی در قاعده سازند جهرم مشاهده نمی‌گردد. در بخش‌های دولومیتی سازند جهرم، به وضوح آثار آشفستگی زیستی و قالب‌های فسیلی حاصل از انحلال فسیل‌ها (شکل ۳) مشاهده شده است.

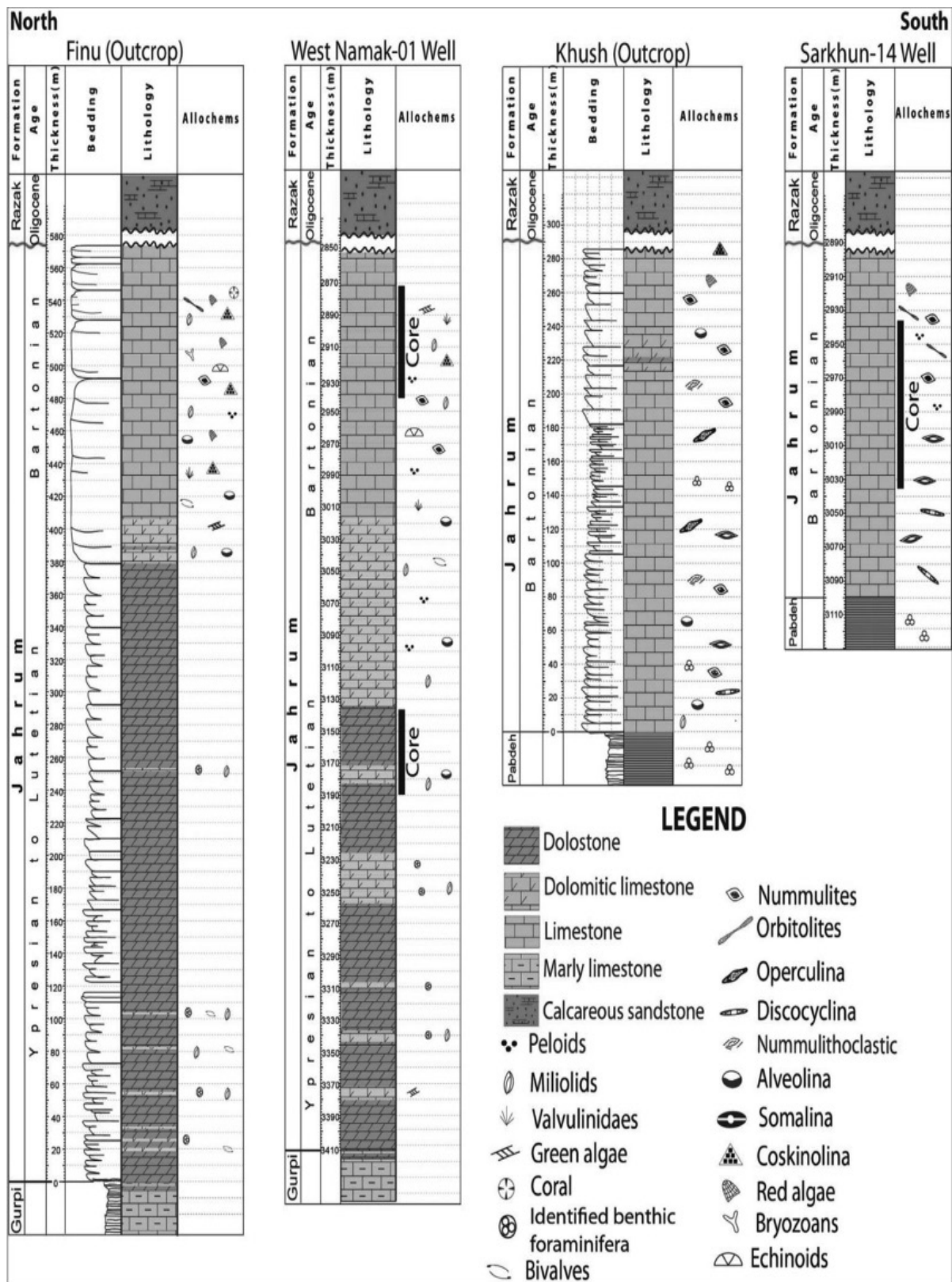
زمین‌شناسی گزارش شده است [۷-۲]. لازم به ذکر است که دولومیتی شدن ثانویه کربنات‌های کم عمق، یکی از انواع رایج دولومیتی شدن بوده اما در عین حال از نظر ژنتیکی به طور کامل هنوز مورد بحث است [۸ و ۹]. زیرا این نوع از دولومیت‌ها، تحت شرایط پیچیده دیاژنتیکی تشکیل شده‌اند. با این وجود، با استفاده از فابریک و ویژگی‌های ژئوشیمیایی می‌توان این نوع از دولومیت‌ها را دسته‌بندی و مدل تشکیل آنها را پیش‌بینی نمود. در این تحقیق سعی بر آن بوده تا با مطالعات پتروگرافی و استفاده از میکروسکوپ‌های پلاریزان، کاتدولومینسانس و الکترونی انواع مختلف دولومیت‌های سازند جهرم شناسایی و تأثیر این فرآیند بر کیفیت مخزنی سازند جهرم مشخص گردد.

#### منطقه مورد مطالعه

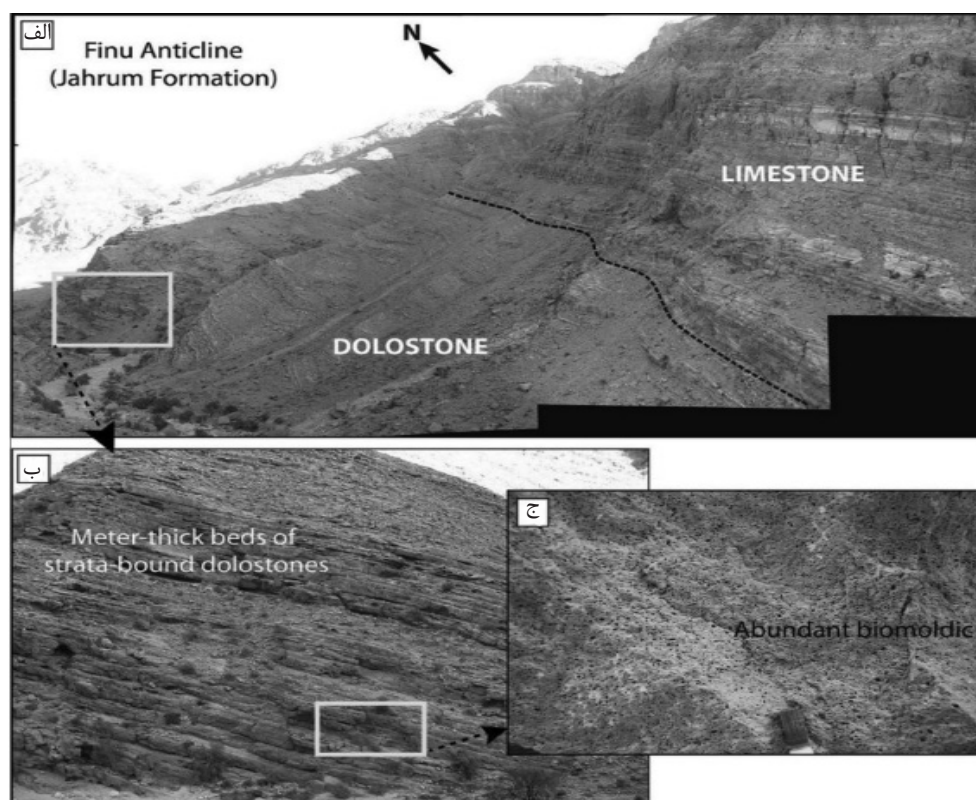
منطقه مورد مطالعه در منتهی‌الیه شرقی بخش فارس داخلی واقع شده است. با توجه به نقشه با



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰، منطقه بندرعباس به همراه تاقیدیس‌های مطالعه شده. (اقتباس با تغییراتی از فخاری [۳۵]).



شکل ۲- تغییرات لیتولوژی سازند جهرم در منطقه بندرعباس



شکل ۳- سازند جهرم در تاق‌دیس فینو واقع در شمال منطقه بندرعباس. (الف) نمایی کلی از بخش‌های دولومیتی و سنگ آهکی سازند جهرم. (ب) نمایی نزدیک‌تر از لایه‌های دولومیتی. (ج) تخلخل‌های حاصل از انحلال فسیل‌ها (بايومولديک).

منظور تعیین کیفیت مخزنی سازند جهرم مقادیر تخلخل نسبت به هلیم و تراوایی نسبت به هوا، در پژوهشگاه صنعت نفت، اندازه‌گیری شد.

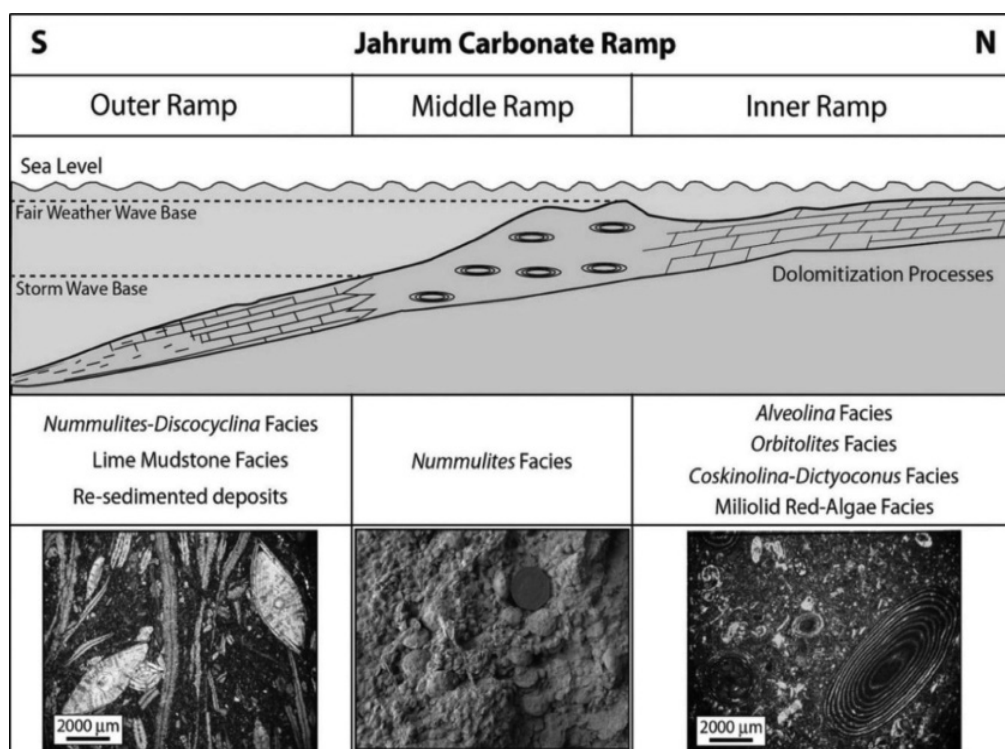
#### رخساره‌ها و محیط رسوبی سازند جهرم

سازند جهرم در برش‌های مورد مطالعه دارای ۸ رخساره میکروسکوپی مربوط به ۳ زیر محیط رمپ داخلی، میانی و خارجی است [۱۲]. رخساره‌های معرفی شده سازند عبارتند از: (۱) پکستون حاوی اربیتولیتس، (۲) پکستون حاوی آلئولینا، (۳) پکستون حاوی کاسکینولینا - دیکتیوکونوس، (۴) گرینستون حاوی میلیولید و جلبک قرمز، (۵) وکستون حاوی نومولیتس، (۶) وکستون حاوی نومولیتس و دیسکوسیکلینا، (۷) مادستون حاوی فرامینیفرهای پلانکتون و (۸) رسوبات دوباره نهشته شده [۱۲]. آنالیز رخساره‌ها نشان می‌دهد که نهشته شدن سازند جهرم در یک پلات‌فرم کربناته از نوع رمپ است [۱۲] (شکل ۴).

#### روش مطالعه

پس از مطالعه نقشه‌ها، در طی چندین عملیات صحرائی سازند جهرم به طور کامل نمونه‌برداری (در حدود ۶۰۰ نمونه دستی) شد. در طی عملیات صحرائی، به خصوصیات نظیر مرز سازندها، ضخامت لایه‌ها و وجود ساختمان‌های رسوبی توجه شده است. مطالعات پتروگرافی تعداد ۵۰۰ مقطع نازک توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. مقاطع میکروسکوپی توسط محلول آلیزارین قرمز (Red-S) به روش دیکسون، رنگ آمیزی شده است [۱۱].

تعداد ۲۰ نمونه از دولومیت‌های سازند جهرم، جهت مطالعه با میکروسکوپ الکترونی (SEM) انتخاب گردید. این مطالعات در مرکز پژوهش متالوژی رازی انجام شد، و به منظور تشخیص زون‌بندی در دولومیت‌ها و تعیین توالی زمانی تشکیل آنها تعداد ۱۵ نمونه جهت انجام مطالعات توسط میکروسکوپ کاتدولومینسانس انتخاب گردید. این مطالعات در پژوهشگاه صنعت نفت تهران انجام گردید. به



شکل ۴- مدل شماتیکی برای کربنات‌های سازند جهرم در منطقه بندرعباس (اقتباس با تغییراتی از زهدی و همکاران [۱۲]).

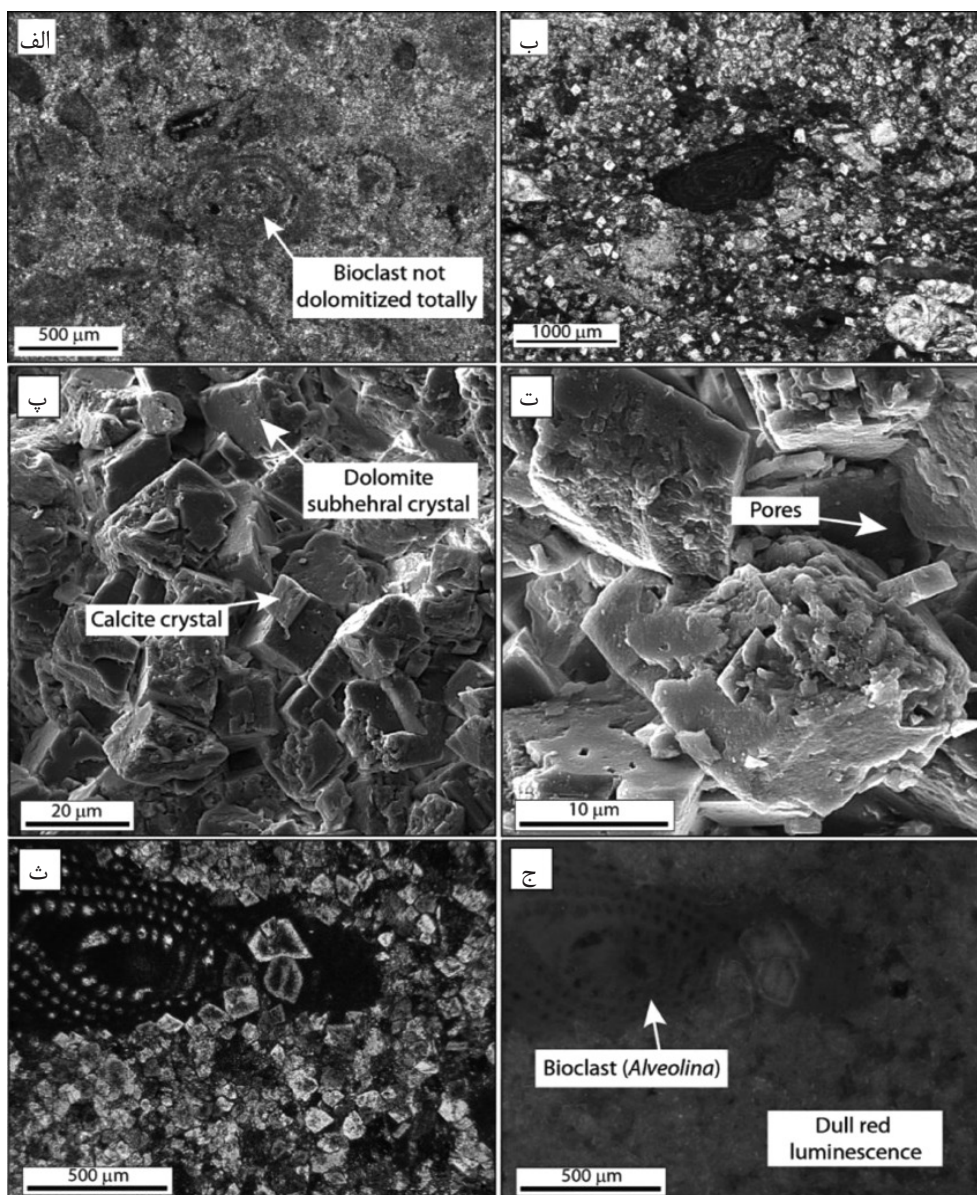
با توجه به نحوه توزیع فرامینفرهای بنتیک بزرگ، می‌توان بیان نمود که در پلتفرم کربناته سازند جهرم، تاقدیس‌های واقع در بخش‌های شمالی‌تر منطقه، همواره در بخش‌های کم عمق‌تر حوضه رسوبی سازند جهرم قرار داشته‌اند و تاقدیس‌های واقع در بخش‌های جنوبی‌تر منطقه، در بخش‌های نسبتاً عمیق‌تر حوضه رسوبی سازند جهرم قرار داشته‌اند [۱۲]. فرآیند دولومیتی شدن سازند جهرم نیز تنها محدود به بخش‌های کم عمق حوضه است (شکل ۴).

یا بلورهای ریز دولومیت با بافت ساب‌هدرال و آن‌هدرال تشکیل شده‌اند، که جانشین سنگ آهک قبلی شده است. آلوکم‌های اسکلتی اولیه به خوبی حفظ شده‌اند (شکل ۵). در این نوع دولومیت، ویژگی‌های رسوبی سنگ آهک اولیه قابل تشخیص است و بر اساس مشاهدات مقاطع نازک مطالعه شده و استفاده از ویژگی‌های رسوبی باقیمانده، می‌توان نتیجه گرفت که رخساره قبل از فرآیند دولومیتی شدن دارای بافت پکستون تا وکستون حاوی آلونولینا بوده است. برخی از بلورهای دولومیت شناور، توسط استیلولیت‌ها قطع شده‌اند، که نشان می‌دهد این نوع دولومیت قبل از تشکیل استیلولیت‌ها شکل گرفته‌اند. بلورهای ریز دولومیت معمولاً در زیر نور کاتد، فاقد لومینسانس هستند، اما بلورهای شکل‌دار بزرگ‌تر به طور آشکار زون‌بندی مشخصی را نشان می‌دهند (شکل ۵). دولومیت نوع اول، در حدود ۱۵٪ کل دولومیت‌های سازند جهرم در منطقه بندرعباس را به خود اختصاص می‌دهد.

مطالعات پتروگرافی دولومیت‌ها بر مبنای درجه دولومیتی شدن سنگ آهک اولیه، اندازه، شکل بلورها و در نهایت خصوصیات و بافت بلورها (طبقه‌بندی سیبلی و گرگ [۱۳])، چهار نوع دولومیت در سازند جهرم شناسایی شده است، که در ذیل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

#### مطالعات پتروگرافی دولومیت‌ها

دولومیت نوع اول (رمبوندراهای دولومیت مجزا و جدا از هم) دولومیت‌های نوع اول از ریبوندراهای شکل‌دار مجزاء



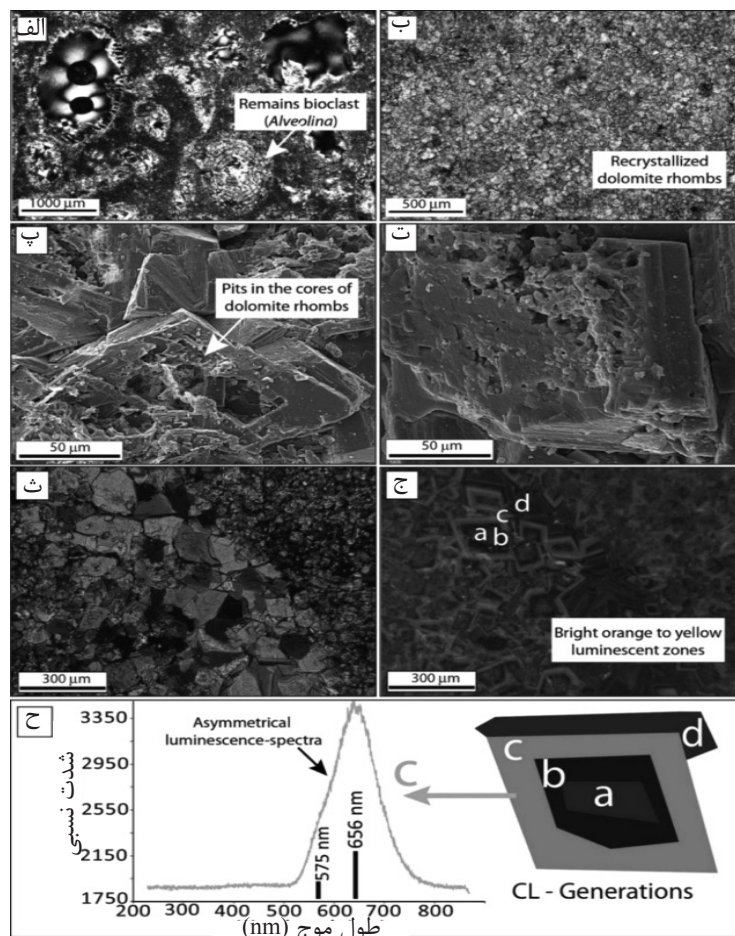
شکل ۵- تصاویر الف تا ج: دولومیت‌های نوع اول سازند چهرم. تصاویر حاصله از میکروسکوپ پلاریزان (الف و ب)، الکترونی (پ و ت)، و کاتدولومینسانس<sup>۱</sup> (ج). این دولومیت‌ها به صورت شکل‌دار و مجزا با بافت ساب‌هدرال و آن‌هدرال تشکیل شده است (ث)،

زون‌بندی مشخصی‌اند که از سمت مرکز به حاشیه، زون‌های لومینسانس به طور فزاینده‌ای به نارنجی روشن و زرد تبدیل می‌شود، و در نهایت توسط یک زون لومینسانس قهوه‌ای تیره پوشیده می‌شود (شکل ۶). طیف سنجی کاتدولومینسانس رنگ نارنجی روشن تا زرد دولومیت‌های نوع دوم، تقریباً نامتقارن بوده، به طوری که در طول موج  $575 \mu\text{m}$  نیز دارای یک نقطه اوج اضافه<sup>۲</sup> می‌باشد (شکل ۶).

1. CL-spectroscopy  
2. Extra Peak

### دولومیت نوع دوم (دولومیت‌های جایگزین ماتریکس)

دولومیت‌های نوع دوم از بلورهای آن‌هدرال تا نیمه شکل‌دار تشکیل شده است، که اندازه‌ای بین ۲۰ تا  $100 \mu\text{m}$  دارند (شکل ۶) و فاقد خاموشی موجی‌اند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی به وضوح آثار انحلال در مرکز بلورهای دولومیت را نشان می‌دهد. آثار انحلال در حاشیه بلورهای دولومیت در مقایسه با مرکز بلورها دارای گسترش محدودتری است (شکل ۶). دولومیت‌های نوع دوم در زیر نور کاتد، دارای



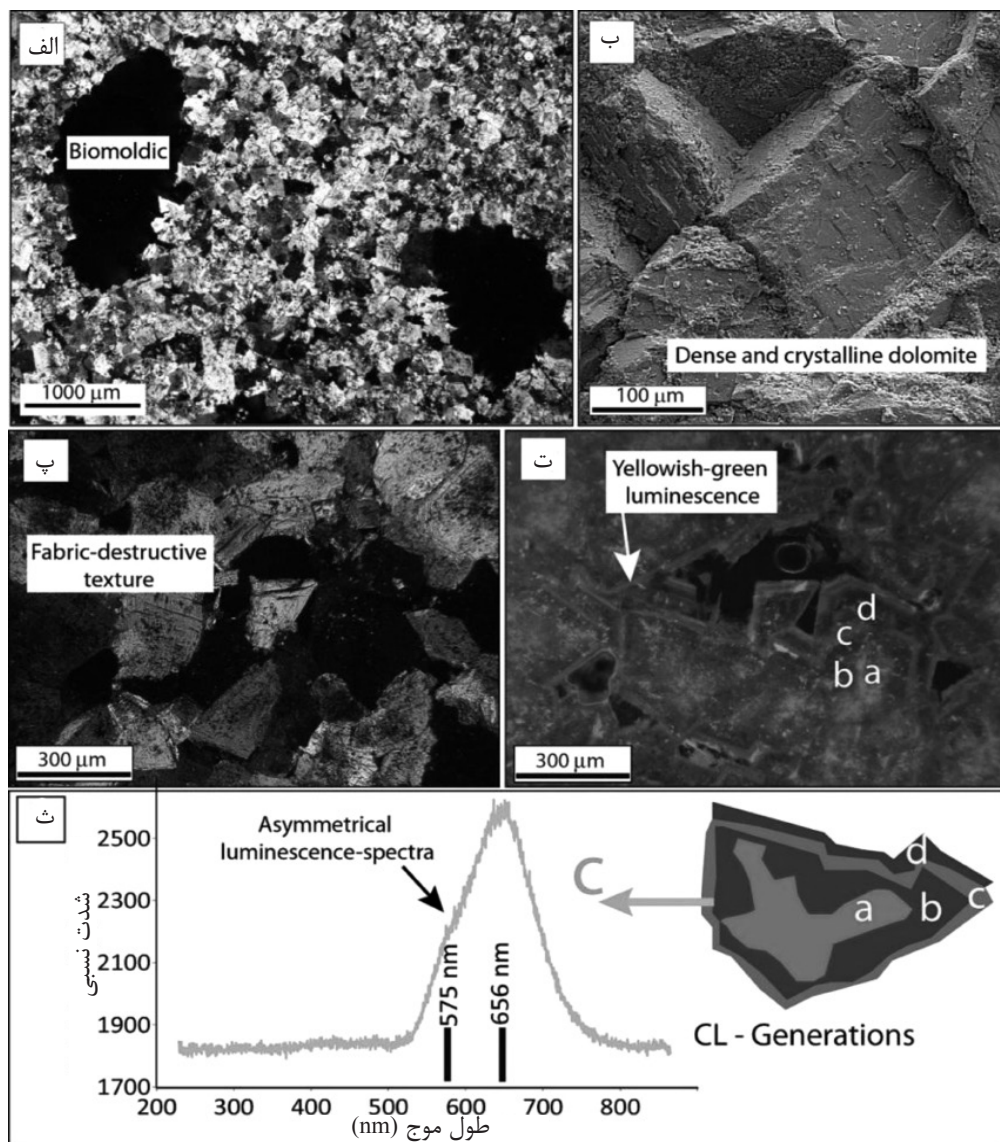
شکل ۶- تصاویر الف تا ج: دولومیت‌های نوع دوم سازند جهرم. این دولومیت‌ها از نظر اندازه در مقایسه با دولومیت‌های نوع اول درشت‌تر بوده (الف و ب) و در داخل بلورهای دولومیت به وفور آثار انحلال قابل مشاهده می‌باشد (پ و ت). در زیر نور کاتدی (ج)، رنگ کاتدی زرد متمایل به سبز در این نوع دولومیت دارای دو قله در طول موج‌های ۵۷۵ و ۶۵۶ می‌باشد (ح)، که قله واقع در طول موج ۵۷۵  $\mu\text{m}$ . احتمالاً بیانگر استقرار یون منگنز به جای کلسیم در ساختار دولومیت است.

می‌تواند به دلیل حضور اذخال‌های کانی‌های ریز بلور در حد چند میکرومتر باشد، البته این بلورها در حاشیه به صورت شفاف و روشن مشاهده می‌شوند. تصاویر کاتدولومینسانس نشان می‌دهد که بلورهای این نوع دولومیت در چهار فاز متوالی و پشت سر هم تشکیل شده‌اند که عبارتند از (الف) قهوه‌ای ناواضح<sup>۱</sup>، (ب) قرمز تیره<sup>۲</sup>، (پ) سبز مایل به زرد یا، نارنجی مایل به زرد که دارای طیف - لومینسانس نامتقارن<sup>۳</sup>، با دو نقطه اوج در طول موج‌های (۵۷۵  $\mu\text{m}$ ) و (۶۵۶  $\mu\text{m}$ ) می‌باشد و در نهایت فاز (ث) که دارای لومینسانس قرمز تا قرمز تیره است (شکل ۷).

### دولومیت نوع سوم (دولومیت‌های متراکم و کریستالین)

در نوع سوم دولومیت‌ها، سنگ آهک اولیه به طور کامل تحت تأثیر فرآیند دولومیتی شدن قرار گرفته است. دولومیت‌های نوع سوم، سبب از بین بردن کلیه اشکال اولیه رسوبی شده است. این نوع دولومیت از نظر بافتی به صورت بلورهای کاملاً متراکم با اندازه‌ای بیش از ۱۰۰  $\mu\text{m}$  قابل مشاهده است (شکل ۷). همانند دولومیت‌های نوع دوم، این نوع دولومیت نیز از نظر اندازه تقریباً یکنواخت بوده و بلورهای دولومیت معمولاً به صورت شکل‌دار و فاقد خاموشی موجی مشاهده می‌شوند (شکل ۷). بلورهای دولومیت، معمولاً کثیف و مه آلودند که

1. Blotchy to Blotchy Brown  
2. Dark-red  
3. Asymmetrical Luminescence-Spectra



شکل ۷- تصاویر الف تا ث: دولومیت‌های نوع سوم سازند جهرم. این دولومیت‌های از نظر اندازه در مقایسه با دولومیت‌های نوع اول و دوم درشت‌تر بوده (الف) و در نتیجه رشد و گسترش بلورهای دولومیتی و فرآیند دولومیتی شدن، اکثر فضاهای خالی در بین بلورهای دولومیت از بین رفته است (ب و پ). در زیر نور کاتدی (ت)، رنگ کاتدی زرد متمایل به سبز در این نوع دولومیت، همانند دولومیت‌های نوع دوم دارای دو قله طول موج‌های ۵۷۵ و ۶۵۶ nm می‌باشد (ث)، که قله واقع در طول موج ۵۷۵ nm احتمالاً بیانگر استقرار یون منگنز به جای کلسیم در ساختار دولومیت است. البته رنگ سبز مشاهده شده در زیر نور کاتدولومینسانس می‌تواند تأییدی بر حضور سیالات گرم و شور حاصل از گنبد‌های نمکی موجود در منطقه باشد.

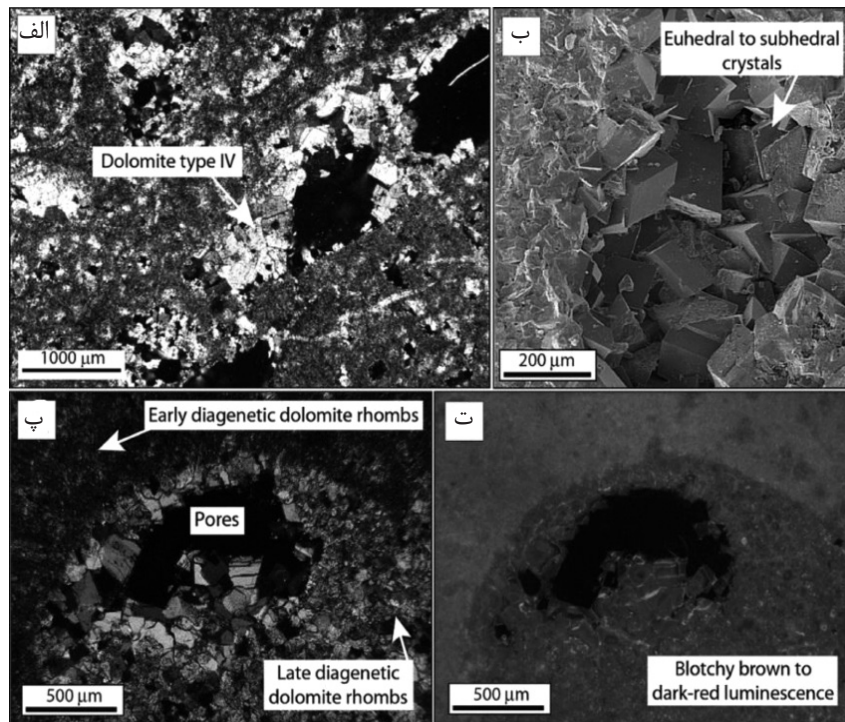
به دلیل داشتن ادخال به صورت کدر و کثیف در مقاطع مورد مطالعه مشاهده می‌شوند. این بلورها همانند دولومیت‌های نوع دوم و سوم، فاقد خاموشی موجی‌اند، و در زیر نور کاتدولومینسانس زون‌بندی‌های مشابه با دولومیت‌های نوع دوم و سوم نشان می‌دهند (شکل ۸)، اما در مقایسه با انواع قبلی بلورهای دولومیت، از نظر اندازه بزرگ‌تر و شکل‌دار ترند.

#### دولومیت نوع چهارم (دولومیت‌های پرکننده حفرات)

دولومیت‌های نوع چهارم، به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با اندازه‌ای در حدود  $200 \mu\text{m}$  مشاهده می‌شوند، که سبب پر شدن، منافذ و حفرات ثانویه‌ای شده است که در نتیجه فرآیند انحلال آلوم‌های اسکلتی حاصل شده است (شکل ۸). بلورهای تشکیل دهنده سیمان دولومیتی، در اغلب موارد به صورت شفاف و روشن<sup>۱</sup> و در مواردی

1. Limpid



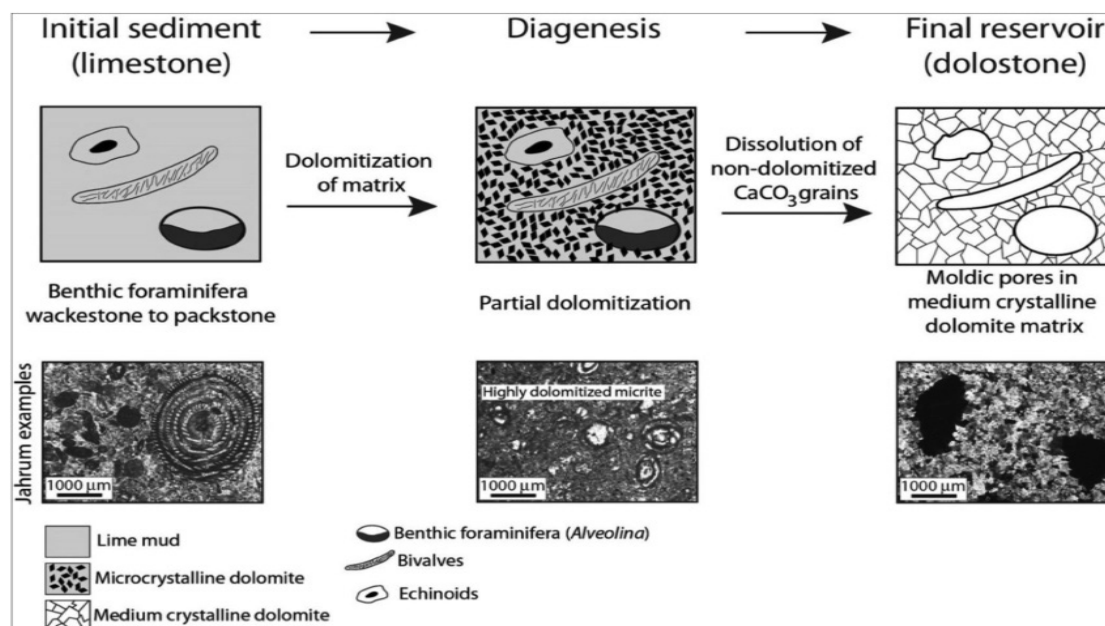


شکل ۸- تصاویر الف تا ت: دولومیت‌های نوع چهارم و پرکننده حفرات (سیمان دولومیتی) در سازند جهرم در منطقه بندرعباس

### تفسیر دولومیت‌های سازند جهرم

دولومیت‌های جهرم دارای مرزهای بلوری مسطحی هستند، این بلورها دارای حاشیه‌های روشن و مرکز کدر و مه آلود هستند و در زیر نور کاتودولومینسانس زون‌بندی‌های مشخص را نشان می‌دهند (شکل‌های ۵ و ۶). با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط سیبلی و گرگ [۱۳] و وارن [۱]، این حالت معرف دماهای پایین تا متوسط در طی تدفین کم عمق است. هسته مه آلود در این حالت در مراحل اولیه دیاژنز تشکیل شده است و با رشد مداوم بلورهای دولومیت در طی تدفین حاشیه‌های روشن آنها نیز در مرحله بعد شکل می‌گیرد [۱۸]. این بافت خاص در سیمان‌های دولومیتی که در دماهای پایین و مراحل اولیه دیاژنز و تدفین کم عمق تشکیل شده‌اند، نیز گزارش شده است [۱۹ و ۲۰]. دولومیت‌های درشت بلور با داشتن فابریک بی‌شکل، مرزهای بلورهای غیر مسطح و خاموشی موجی در طی مراحل مختلف تدفین تشکیل شده‌اند.

دولومیت‌های جانشین ماتریکس و دولومیت‌های متراکم و بلورین، که از اختصاصات سازند جهرم است، در دیگر توالی‌های دولومیتی شده ائوسن دنیا گزارش شده است [۱۷-۱۴]. لازم به ذکر است که دولومیت‌های سازند جهرم حاصل جانیشینی از یک سنگ آهک اولیه با بافت پکستون تا وکستون حاوی فرامینیفرهای بنتیک بزرگ است، که در طی زمان و تأثیر سیالات دولومیت‌ساز غنی از منیزیم در محیط‌های دیاژنتیکی، ابتدا سنگ آهک اولیه (شکل ۹) به سنگ آهک دولومیتی تبدیل شده است در نهایت دولومیت خالص تشکیل شده است و در این حالت بلورهای درشت شکل‌دار دولومیت حجم اعظم سنگ را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۹) و اثری از بافت اولیه سنگ آهک مشاهده نمی‌شود. روند تکاملی تشکیل سنگ‌های دولومیتی از سنگ آهک اولیه که در یک محیط لاگونی نهشته شده است، به صورت شماتیک در شکل ۹ ارائه شده است.



شکل ۹- مراحل تشکیل تخلخل قالبی و روند تکاملی تشکیل دولومیت از سنگ آهک‌های سازند جهرم در منطقه بندرعباس. نظیر چنین روندی توسط معلمی [۲۷] نیز در دولومیت‌های سازند جهرم واقع در منطقه فارس ساحلی گزارش شده است.

کاتدولومینسانس می‌تواند سبب تولید رنگ‌های زرد متمایل به سبز گردد (نظیر آنچه که در تعدادی از دولومیت‌های سازند جهرم شناسایی شده است، شکل ۷). نامتقارن بودن منحنی طیف سنجی کاتدی این رنگ (زرد متمایل به سبز)، بیانگر استقرار زیاد یون منگنز در موقعیت کلسیم (طول موج  $575 \mu\text{m}$ ) در ساختار دولومیت است. گیلپوس و همکاران [۲۰] نیز، این رنگ کاتدی، را برای دولومیت‌هایی که تحت نفوذ مایعات شور حاصل از گنبد‌های نمکی تشکیل شده‌اند، گزارش کرده‌اند. صعود سیالات شور غنی از منیزیم، نایستی با آب‌های منفذی تبخیر شده اشتباه گرفته شود، از آنجایی که در سازند جهرم، کانی‌های تبخیری شناسایی نشده است [۱۲].

#### توالی پاراژنزی سازند جهرم

مطالعه فرآیندهای دیاژنزی سازند جهرم نشان می‌دهد که این فرآیندها از زمان رسوب‌گذاری تا اعماق تدفین و حتی پس از بالا آمدگی به دفعات نهشته‌های سازند جهرم را تحت تأثیر قرار داده‌اند و وقوع هر یک بر وقوع فرآیند دیگر تأثیر داشته است.

دولومیت‌های سازند جهرم در زیر نور کاتدولومینسانس الگوی پیچده‌ای از زون‌بندی را نشان می‌دهند. بسیاری از دولومیت‌های پالئوزن، در زیر میکروسکوپ کاتدولومینسانس ظاهری قرمز رنگ دارند و در داخل آن می‌توان رنگ نارنجی متمایل به زرد را نیز مشاهده نمود [۱۹ و ۲۱]. ویژگی‌های مشابهی نیز در دولومیت‌های سازند جهرم مشاهده شده است. با این وجود، نمی‌توان تأثیر سیالات غنی از منیزیم، شور و گرم حاصل از گنبد‌های نمکی را که در امتداد نقاط ضعف لایه‌ها به صورت صعودی به سمت لایه‌های جوان‌تر حرکت کرده‌اند، در فرآیند دولومیتی شدن سازند جهرم در منطقه بندرعباس نادیده گرفت. شواهد برای این مطلب، حضور نور زرد متمایل به سبز با دو قله در منحنی طیف‌سنجی کاتدی است (شکل ۷). وجود رنگ کاتدولومینسانس زرد - قرمز در دولومیت‌ها به توزیع یون منگنز در موقعیت کلسیم (طول موج  $575 \mu\text{m}$ ) و منیزیم (طول موج  $660 \mu\text{m}$ ) در ساختار دولومیت نسبت داده می‌شود [۲۲ و ۲۳]. اگرچه این طول موج‌ها، به ترتیب بیانگر رنگ‌های کاتدی زرد و قرمز می‌باشند، مشاهدات بصری در زیر نور

دیاژنز تشکیل شده‌اند، وجود رنگ کاملاً تیره زون (d) (شکل ۶ ج) در خارج از رمبوترهای دولومیتی می‌تواند ناشی از حضور یون بازدارنده آهن دو ظرفیتی و نشانگر تشکیل این زون در مرحله دیاژنز تدفینی باشد. این دولومیت‌ها سبب کاهش تخلخل بین بلوری و پایین آمدن کیفیت مخزنی سازند جهرم شده است. در اثر بالا آمدن سنگ‌های آهکی، رگه‌های کلسیتی، شکستگی‌ها، گسل‌ها و بخش‌هایی از پدیده‌های انحلال در سنگ‌های آهکی تشکیل شده است. این فرآیندها عمدتاً تحت تأثیر محیط دیاژنز متائوریک بوجود آمده است.

### انحلال کلسیت و ارتباط آن با فرآیند دولومیتی شدن

فرآیند انحلال در سازند جهرم سبب ایجاد خلل و فرج فراوانی شده است. در نتیجه تأثیر این فرآیند تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای قابل ملاحظه‌ای ایجاد شده است. با بررسی گسترش فرآیند انحلال و ایجاد تخلخل قالبی می‌توان دو فرضیه را در نظر گرفت. فرض اول این است که فرآیند انحلال سبب ایجاد فضاهای خالی از طریق از بین بردن کانی‌های ناپایدار قبلی شده است. نظر دیگر بدین صورت است که لایه‌های آهکی سرشار از فرامینیفرهای بنتیک بزرگ تحت تأثیر فرآیند دولومیتی شدن قرار گرفته و زمینه میکریتی، دولومیتی شده است. در مرحله دیگر به دلیل قرار گرفتن لایه‌ها در شرایط تحت اشباع، منجر به ایجاد تخلخل قالبی شده است. انحلال کلسیت و تغییرات مرتبط با آن در ایجاد تخلخل قالبی در سازند جهرم به طور مستقیم به فرآیند دولومیتی شدن مرتبط می‌شود (شکل ۹). با توجه به مطالعات مشابه که بر روی دولومیت‌های سازندهای جهرم منطقه بوشهر [۲۷]، دولومیت‌های دونین کانادا [۲۸] و دولومیت‌های سیلورین و دونین آمریکا [۲۹] صورت گرفته است، و بر پایه مستندات که در اینجا ارائه می‌شود، در ارتباط با سازند جهرم می‌توان بیان نمود که

بنابراین علاوه بر شناخت این فرآیندها در مخزن، شناخت توالی یا تقدم و تأخر آنها نیز موضوع مهمی در بازسازی شرایط مخزن و ارتباط آن با زمان مهاجرت هیدروکربور به داخل آن است [۲۴]. در محیط فریاتیک دریایی، فرآیندهای زیستی نظیر میکریتی شدن رسوبات سازند جهرم را تحت تأثیر قرار داده است. سیمان هم ضخامت حاشیه‌ای به عنوان اولین نسل سیمان [۲۵]، پس از میکریتی شدن تشکیل شده است. در ادامه، سیمان‌های اسپاری، بخش قابل توجهی از فضاهای بین دانه‌ای و درون دانه‌ای را پر کرده است. سیمان کلسیتی رورشدی حاشیه‌ای، عمدتاً فاقد اینکلوزیون و به حالت شفاف است، که مؤید تشکیل آنها در محیط‌هایی با عمق تدفین کم و فریاتیک دریایی است [۲۶].

هم‌زمان با نوسانات سطح آب دریا در حین و بعد از ته نشست سازند جهرم، آب‌های متائوریک وارد سیستم کربناته سازند جهرم می‌شوند و سبب تغییرات قابل ملاحظه‌ای در طی تدفین کم عمق می‌شود. در این مرحله تحت تأثیر نفوذ آب‌های متائوریک، بخشی از اجزاء اسکلتی حل می‌شود. در این مرحله در پی اختلاط آب‌های متائوریک و آب‌های دریایی و همچنین سیالات شور و گرم غنی از منیزیم حاصل از گنبد‌های نمکی که در امتداد گسل‌ها وارد زون‌های دیاژنزی سازند جهرم شده‌اند، فرآیند دولومیتی شدن در سازند جهرم رخ می‌دهد. لذا مهم‌ترین فرآیند دیاژنزی در این محیط، شامل انحلال و دولومیتی شدن تقریباً هم‌زمان و تشکیل تخلخل‌های ثانویه است.

ایجاد درزه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها نیز در محیط دیاژنزی تدفین نیمه عمیق اتفاق افتاده است، که در مواردی سبب قطع شدن دولومیت‌ها شده است. دولومیت‌های نوع سوم سازند جهرم که با فابریک بی‌شکل، اندازه بیشتر از  $200 \mu\text{m}$  و مرزهای بلوری غیر مسطح مشخص می‌شوند، در مراحل انتهایی

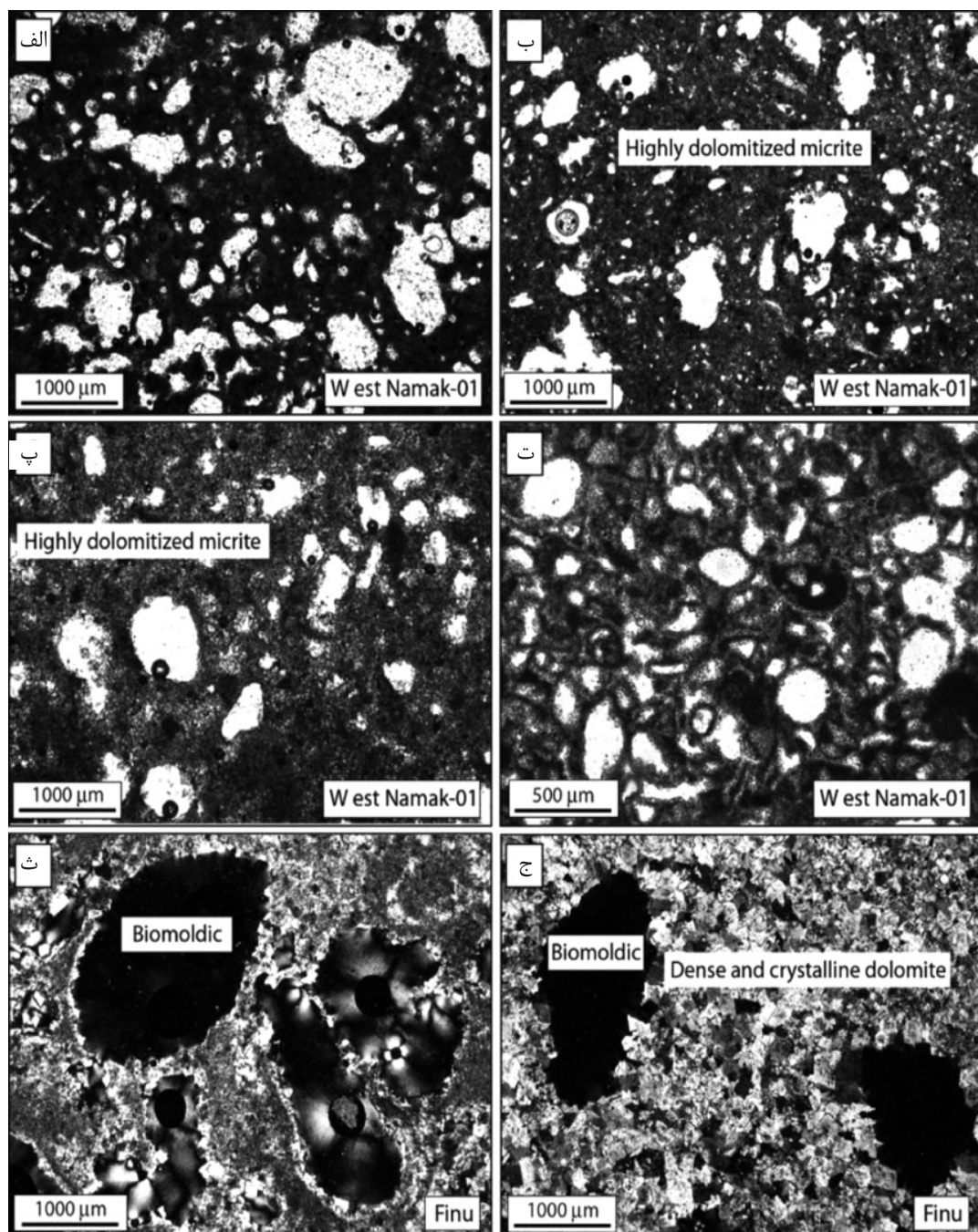
حدود ۷۵٪ حجم کل دولومیت‌های سازند جهرم را دولومیت‌های نوع دوم با فراوانی قابل ملاحظه‌ای از تخلخل‌های قالبی تشکیل می‌دهد (شکل ۱۰)، می‌توان بیان نمود که فرآیند دولومیتی شدن سبب افزایش تخلخل در سازند جهرم گردیده است. ودی و همکاران [۳۲]، نشان دادند که با افزایش تخلخل در مخازن دولومیتی، میزان نفوذپذیری در دولومیت‌های با مرزهای بلورین مسطح و شکل‌دار به نسبت دولومیت‌های دارای مرزهای بلورین نیمه مسطح و بی‌شکل، بیشتر افزایش می‌یابد. به علاوه، رابطه بین تخلخل و نفوذپذیری در دولومیت‌های با بلورهای دارای مرزهای مسطح بسیار مشخص‌تر از دولومیت‌های با بلورهای دارای مرزهای غیر مسطح است، در نمونه‌های سازند جهرم، بلورهای دولومیت عمدتاً شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار است، که این حالت سبب افزایش میزان نفوذپذیری در بین بلورهای دولومیت، همزمان با افزایش تخلخل در طی تأثیر فرآیند دولومیتی شدن می‌گردد. مشابه این نوع تخلخل قالبی حاصل از انحلال فرامینفرهای بنتیک با پوسته‌های کلسیتی، توسط معلمی [۲۷]، در لایه‌های سازند جهرم در منطقه فارس ساحلی و بوینگتون پنی و همکاران [۳۳]، در سازند الگاریا در شمال شرق لیبی گزارش شده است، که سبب ایجاد مخازن هیدروکربوری مناسب شده است.

در میدان گازی سرخون، سازند جهرم از سنگ آهک تشکیل شده است و فرآیند دولومیتی شدن حتی به میزان ناچیز نیز مشاهده نشده است. ترسیم نمودار تخلخل و نفوذپذیری در نمونه‌های سنگ آهکی سازند جهرم در میدان گازی سرخون و چاه شماره ۱۴ (شکل ۱۱) بیان‌گر رابطه مثبتی بین داده‌های تخلخل و نفوذپذیری سازند جهرم در این چاه است، اما با وجود این رابطه مستقیم، می‌توان بیان نمود که میزان تخلخل و نفوذپذیری محاسبه شده در سازند جهرم واقع در میدان گازی سرخون بسیار ناچیز است و این میزان تخلخل پایین سبب پایین بودن کیفیت مخزنی سازند جهرم در این میدان شده است.

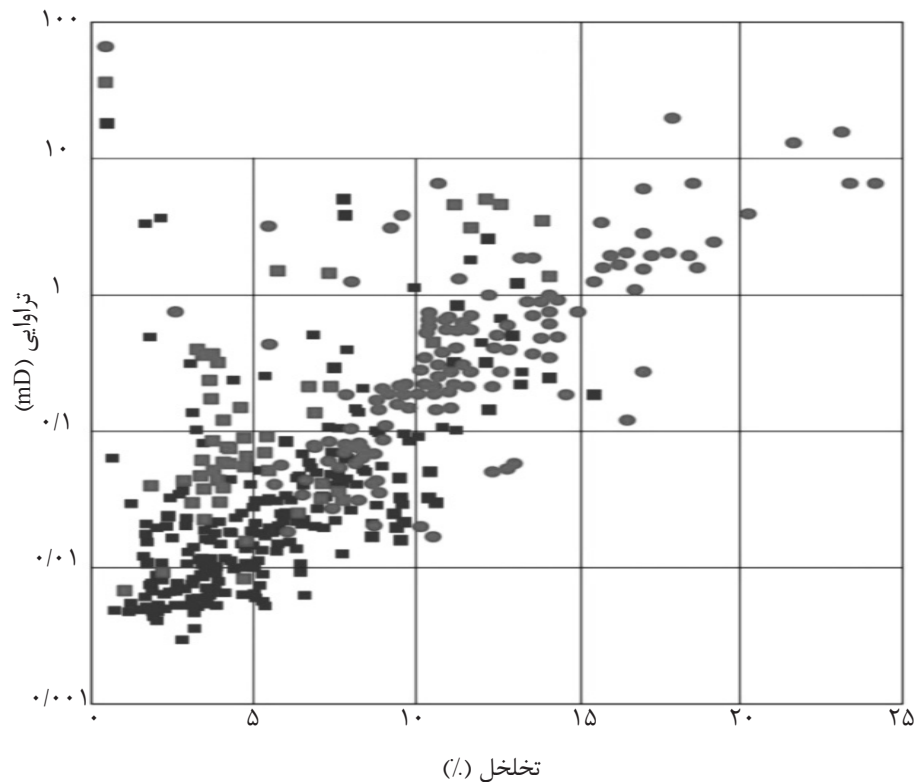
انحلال دانه‌های اسکلتی قبل و یا در حین فرآیند دولومیتی شدن رخ داده است. مهمترین دلیل، تشکیل تخلخل‌های قالبی حاصل از انحلال بایوکلست‌های کلسیتی در مقیاس وسیع تنها در بخش‌های دولومیتی سازند جهرم می‌باشد، حال آن که در بخش‌های سنگ آهکی سرشار از فسیل این سازند، هیچ‌گونه شواهدی از انحلال آلوکم‌های اسکلتی با ترکیب کانی‌شناسی کلسیت، مشاهده نشده است. شاهد دوم که بیانگر تشکیل تخلخل‌های قالبی، قبل و در حین فرآیند دولومیتی شدن است، را می‌توان در نبود سیمان‌های کلسیتی قبل از فرآیند دولومیتی شدن در داخل تخلخل‌های قالبی در نظر گرفت. وجود سیمان دولومیتی در داخل تخلخل‌های قالبی ایجاد شده در داخل دولومیت، نشان می‌دهد که انحلال فرامینفرهای بنتیک بزرگ در ارتباط با فرآیند دولومیتی شدن بوده است. گاسویرت و همکاران [۳۰]، نظیر چنین اتفاقی را از سنگ‌های دولومیتی ائوسن منطقه فلوریدا، گزارش کرده‌اند، که در آن منطقه نیز، قبل و حین فرآیند دولومیتی شدن تخلخل‌های قالبی در نتیجه انحلال فرامینفرهای بنتیک بزرگ ایجاد شده است.

### تأثیر فرآیند دولومیتی شدن در کیفیت مخزنی سازند جهرم

بسیاری از مخازن نفتی و گازی دنیا از دولومیت‌هایی با منشأ متفاوت تشکیل شده‌اند [۱ و ۳۱]. در دولومیتی شدن کربنات‌ها، تخلخل می‌تواند به میزان قابل ملاحظه‌ای گسترش یابد. در صورتی که این تخلخل در مراحل بعدی دیاژنز، توسط سیمان پر نشود، تخلخل مخزنی مناسبی ایجاد می‌شود. در سازند جهرم، ارتباط جالبی بین فرآیند دولومیتی شدن و تشکیل تخلخل مشاهده می‌شود. به طوری که، در این سازند در ابتدا با شروع فرآیند دولومیتی شدن، میزان تخلخل افزایش می‌یابد، ولی با افزایش فرآیندهای دولومیتی شدن، میزان تخلخل‌های دیاژنزی کاهش می‌یابد، ولی از آنجایی‌که، در



شکل ۱۰- تصاویر الف تا ج: تخلخل‌های پر نشده توسط سیمان در بخش‌های دولومیتی سازند چهارم



شکل ۱۱- تغییرات تخلخل و نفوذپذیری در سنگ آهک‌ها و دولومیت‌های سازند جهرم

منیزیم‌دار بر روی سنگ‌های سازند جهرم، به میزان قابل توجهی تخلخل قالبی در زمینه دولومیتی ایجاد گردد (شکل ۱۰). ترسیم نمودار تخلخل و نفوذپذیری در نمونه‌های دولومیتی سازند جهرم در میدان گازی نمک غربی و چاه شماره ۱- (شکل ۱۱) بیانگر رابطه مثبتی بین داده‌های تخلخل و نفوذپذیری در دولومیت‌های سازند جهرم است و این میزان تخلخل و نفوذپذیری بیانگر توانایی تشکیل شدن یک سنگ مخزن مناسب در سازند جهرم است. لازم به ذکر است که در منطقه بندرعباس اکثر تاق‌دیس‌هایی که در آنها، قاعده سازند جهرم تحت تأثیر فرآیند دولومیتی شدن قرار گرفته است، این سازند در سطح رخنمون پیدا کرده است و ارزش مخزنی خود را از دست داده است. تنها در تعداد معدودی از تاق‌دیس‌های منطقه، قاعده سازند جهرم تحت تأثیر فرآیند دولومیتی شدن قرار گرفته و در سطح زمین نیز رخنمون پیدا نکرده‌اند، این سازند دارای کیفیت مخزنی مناسبی است. از این رو می‌توان بیان نمود که برخلاف زون دزفول، که سازند جهرم همراه با سازند آسماری یکی از مخازن

با توجه به مطالعات رسوب‌شناسی سازند جهرم در برش‌های مورد مطالعه، می‌توان بیان نمود که یکی از عوامل اصلی که سبب کاهش تخلخل در سازند جهرم واقع در میدان گازی سرخون شده است، نبود دولومیت در بخش‌های قاعده‌ای سازند جهرم در چاه‌های این میدان و همچنین تشکیل نشدن تخلخل‌های قالبی حاصل از انحلال بایوکلس‌ها در نتیجه گسترش فرآیندهای دولومیتی شدن است و از طرف دیگر مطالعه مقاطع نازک نشان می‌دهد که اکثر تخلخل‌های اولیه و درون دانه‌ای پر شده‌اند، اگر چه وجود تخلخل‌های اولیه درون دانه‌ای پر نشده در داخل پوسته‌های نومولیتی سازند سیب به سن ائوسن میانی در عمان اصلی‌ترین عامل در افزایش کیفیت مخزنی در زمان ائوسن در خاورمیانه می‌باشد [۳۴].

با توجه به مطالعات رسوب‌شناسی و دیانزنی، می‌توان بیان نمود که سازند جهرم در تاق‌دیس‌هایی می‌تواند به عنوان یک سنگ مخزن مناسب در نظر گرفته شود که در قاعده این سازند فرآیند دولومیتی شدن اتفاق افتاده باشد، و به دنبال تأثیر سیالات

دولومیتی شدن مهمترین پدیده دیاژنزی افزایش دهنده تخلخل و نفوذپذیری در این سازند است و این فرآیند در طی تدفین، سبب افزایش تخلخل به میزان قابل توجهی در سازند جهرم شده است و کیفیت مخزنی این سازند را در منطقه بندرعباس به میزان چشم‌گیری بهبود بخشیده است.

یکی از عوامل اصلی که سبب کاهش تخلخل در سازند جهرم واقع در میدان گازی سرخون شده است، نبود دولومیت در بخش‌های قاعده‌ای سازند جهرم در چاه‌های این میدان و همچنین تشکیل نشدن تخلخل‌های قالبی حاصل از انحلال بایوکلست‌ها در نتیجه گسترش فرآیندهای دولومیتی شدن در مقیاس وسیع و گسترده در این میدان است.

### تشکر و قدردانی

مؤلفین این مقاله از پژوهشگاه صنعت نفت و شرکت نفت مناطق مرکزی ایران به خاطر استفاده از امکانات و همکاری‌های صمیمانه مسئولین شرکت سپاس‌گزاری می‌نمایند.

اصلی هیدروکربوری را تشکیل می‌دهند، در بخش‌های جنوب شرق حوضه رسوبی زاگرس این سازند پتانسیل تشکیل یک سنگ مخزن مناسب را تنها در تعداد معدودی از تاق‌دیس‌ها (نظیر نمک غربی) دارا است.

### نتیجه‌گیری

بر مبنای درجه دولومیتی شدن سنگ آهک اولیه، اندازه و شکل بلورهای دولومیت، چهار نوع دولومیت در سازند جهرم شناسایی شده است که عبارتند از دولومیت نوع اول (رمبوند‌های دولومیت مجزا)، دولومیت نوع دوم (دولومیت‌های جایگزین ماتریکس)، دولومیت نوع سوم (دولومیت‌های متراکم)، دولومیت نوع چهارم (دولومیت‌های پرکننده حفرات).

مقایسه مقادیر متوسط و حداکثر تخلخل و نفوذپذیری در افق‌های دولومیتی (میدان گازی نمک غربی - چاه ۰۱) با افق‌های آهکی (میدان گازی سرخون - چاه ۱۴) نشان می‌دهد که فرآیند

### منابع

- [1]. Warren J., "Dolomite: Occurrence, evolution and economically important associations," Earth-Sci. Rev., Vol. 52, pp. 1-81, 2000.
- [2]. Bosence D. W. J., Wood J. L., Rose E. P. F., and Qing H., "Low- and high-frequency sea-level changes control peritidal carbonate cycles, facies and dolomitization in the Rock of Gibraltar (Early Jurassic, Iberian Peninsula)," J. Geol. Soc., London, Vol. 157, pp. 61-74, 2000.
- [3]. Jones B., "Inside-out dolomite," J. Sediment Res., Vol. 77, pp. 539-551, 2007.
- [4]. Zentmyer R. A., Pufahl P. K., James N. P., and Hiatt E. E., "Dolomitization on an evaporitic paleoproterozoic ramp: widespread syndimentary dolomite in the denault formation, labrador trough, Canada," Sediment Geol, Vol. 238, pp. 116-131, 2011.
- [5]. Geske A., Zorlu J., Richter D. K., Buhl D., Niedermayr A., and Immenhauser A., "Impact of diagenesis and low grade metamorphism on isotope ( $\delta^{26}\text{Mg}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) and elemental (Ca, Mg, Mn, Fe and Sr) signatures of Triassic sabkha dolomites," Chem. Geol., Vol. 332-333, pp. 45-64, 2012.
- [6]. Zhao H. and Jones B., "Origin of island dolostones, a case study from the Cayman Formation (Miocene)," Cayman Brac, British West Indies, Sediment Geol., Vol. 243-244, pp. 191-206, 2012.

- [7]. Meister P., McKenzie J. A., Bernasconi S. M., and Brack P., "Dolomite formation in the shallow seas of the alpine triassic," *Sedimentology*, Vol. 60, pp. 270-291, 2013.
- [8]. Budd D. A., "Cenozoic dolomites of carbonate islands: their attributes and origin," *Earth-Sci. Rev.*, Vol. 42, pp. 1-47, 1997.
- [9]. Coniglio M., Zheng Q., and Carter T. R., "Dolomitization and recrystallization of middle Silurian reefs and platform carbonates of the Guelph Formation," *Michigan Basin, Southwestern Ontario, B. Can. Petrol. Geol.*, Vol. 51, pp. 177-199, 2003.
- [۱۰]. آقانباتی ع., زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳.
- [11]. Dickson J. A. D., "A modified staining technique for carbonate in thin section," *Nature*, Vol. 205, pp. 587, 1965.
- [12]. Zohdi A., Mousavi-Harami R., Moallemi S. A., Mahboubi A., and Immenhauser A., "Evolution, palaeo-ecology and sequence architecture of an eocene carbonate ramp, Southeast Zagros Basin, Iran," *GeoArabia*, Vol. 18, No. 4, pp. 49-80, 2013.
- [13]. Sibley D. F. and Gregg J. M., "Classification of dolomite rock textures," *J: Sediment Petrol.*, Vol. 57, pp. 967-975, 1987.
- [14]. Gaswirth S. B., Budd D. A., and Farmer G. L., "The role and impact of freshwater-seawater mixing zones in the maturation of regional dolomite bodies within the proto-Floridan Aquifer," *USA, Sedimentology*, Vol. 54, pp. 1065-1092, 2007.
- [15]. Salad Hersi O., "Lithologic and diagenetic attributes of the Sharwayn (Maastrichtian) and Umm ErRadhuma (late Paleocene-Eocene) formations and their significance to the K-T unconformity, Jabal Samhan area, Dhofar, Sultanate of Oman," *Arab J. Geosci.*, Vol. 4, pp. 147-160, 2011.
- [16]. Maliva R. G., Budd D. A., Clayton E. A., Missimer T. M., and Dickson J. A. D., "Insights into the dolomitization process and porosity modification in sucrosic dolostones," *Avon Park Formation (Middle Eocene), East-central Florida, U.S.A, J Sediment Res.*, Vol. 81, pp. 218-232, 2011.
- [17]. El Ayyat A. M., "Sedimentology, sequential analysis and clay mineralogy of the lower Eocene sequence at Farafra Oasis area, Western Desert of Egypt," *J. Afr. Earth Sci.*, Vol. 78, pp. 28-50, 2013.
- [18]. Machel H. G., "Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal," in: Braithwaite C., Rizzi G., Drake G. (Eds.), *The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs*, *Geol Soc London Spec. Pub.*, Vol. 235, pp. 7-63, 2004.
- [19]. Choquette P. W. and Hiatt E. E., "Shallow-burial dolomite cement: a major component of many ancient sucrosic dolomites," *Sedimentology*, Vol. 55, pp. 423-460, 2008.
- [20]. Gillhaus A., Richter D. K., Götte T., and Neuser R. D., "From tabular to rhombohedral dolomite crystals in Zechstein 2 dolostones from Scharzfeld (SW Harz/Germany): A case study with combined CL and EBSD investigations," *Sediment Geol.*, Vol. 228, pp. 284-291, 2010.
- [21]. Li Z., Goldstein R. H., and Franseen E. K., "Ascending freshwater-mesohaline mixing: a new scenario for dolomitization," *J. Sediment Res.*, Vol. 83, pp. 277-283, 2013.
- [22]. El Ali A., Barbin V., Calas G., Cervelle B., Ramseyer K., and Bouroulec J., "Mn<sup>2+</sup> activated luminescence in



*dolomite, calcite and magnesite: quantitative determination of manganese and site distribution by EPR and CL-spectroscopy,* Chemical Geology, Vol. 104, pp. 189-202, 1993.

[23]. Habermann D., Neuser R. D., and Richter D. K., "Hochauflösende Spektralanalyse der Kathodolumineszenz (KL) von Dolomit und Calcit: Beispiele der Mn- und SEEaktivierten KL in Karbonatsedimenten," Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil, I (1/2), pp. 145-157, 1996.

[24]. Wilson M. E. J., Lewis D., Yogi O, Holland D., Hombo L., and Goldberg A., "Development of a Papua New Guinean onshore carbonate reservoir: A comparative borehole image (FMI) and petrographic evaluation," Marine Petrol. Geol., Vol. 44, pp. 164-195, 2013

[25]. Madden R. H. C. and Wilson M. E. J., "Diagenesis of a SE Asian Cenozoic carbonate platform margin and its adjacent basinal deposits," Sediment Geol., Vol. 286-287, pp. 20-38, 2013.

[26]. Flugel E., "Microfacies of carbonate rocks, analysis, interpretation and application," Springer, 976 p, 2010.

[۲۷]. معلمی ع., "محیط رسوبی و تأثیر عوامل دیاژنزی بر کیفیت مخزنی سازندهای جهرم - آسماری در شرق گسل قطر- کازرون (غرب فارس ساحلی)، پایان نامه دکترای زمین‌شناسی"، رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۱۳۸۸.

[28]. Wendte J., "Origin of molds in dolostones formed by the dissolution of calcitic grains: Evidence from the Swan Hills Formation in west-central Alberta and other Devonian formations in Alberta and northeastern British Columbia," B Can. Petrol. Geol., Vol. 54, pp. 91-109, 2006.

[29]. Davies G. R. and Smith L. B., "Structurally controlled hydrothermal dolomite reservoir facies: an overview," AAPG Bull. Vol. 90, pp. 1641-1690, 2006.

[30]. Gaswirth S. B., Budd D. A., and Farmer G. L., "The role and impact of freshwater-seawater mixing zones in the maturation of regional dolomite bodies within the proto-Floridan Aquifer," USA. Sedimentology, Vol. 54, pp. 1065-1092, 2007.

[31]. Sun S. Q., "Dolomite reservoirs; porosity evolution and reservoir characteristics," AAPG Bull., Vol. 79, pp. 186-204, 1995.

[32]. Woody R. E., Gregg J. M., and Koederitz L. F., "Effect of texture on petrophysical properties of dolomite: evidence from the Cambrian-Ordovician of southeastern Missouri," AAPG Bull, Vol. 80, pp. 119-132, 1996.

[33]. Beavington-Penney S. J., Nadin P., Wright V. P., Clarke E., McQuilken J., and Bailey H. W., "Reservoir quality variation on an Eocene carbonate ramp, El Garia Formation, offshore Tunisia: Structural control of burial corrosion and dolomitisation," Sediment Geol., Vol. 209, pp. 42-57, 2008.

[34]. Beavington-Penney S. J., "Characterisation of selected Eocene Nummulites accumulations," PhD thesis, University of Wales, Cardiff. UK, 2002.

[۳۵]. فخاری م., نقشه زمین‌شناسی چهار گوشه بندرعباس، ۱:۲۵۰۰۰۰، شماره ۱-۱۳، شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۷۴.