

# آنالیز ریز رخساره‌ای، شواهد ژئوشیمیایی و پتروگرافی برای تشخیص کانی‌شناسی اولیه کربنات‌های سازند دالان در میدان گازی پارس جنوبی

رقیه فلاح بگتاش\*، محمد حسین آدابی؛

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی

پذیرش ۹۴/۱۲/۱۵

دریافت ۹۳/۱۲/۳

## چکیده

سازند دالان با سن پرمین پسین در ناحیه زاگرس چین‌خورده و خلیج فارس دارای منابع عظیم گازی است به طوری که این سازند به همراه سازند کنگان به سن تریاس در حوضه رسوبی خلیج فارس، حدود ۵۰ درصد از ذخایر گازی را دارند. بر مبنای پژوهش‌های پتروگرافی سازند دالان در چاه شماره X در میدان گازی پارس جنوبی دارای ۳۷۰ متر ضخامت با لیتولوژی غالب دولومیت، آهک دولومیتی و آهک به همراه میان لایه‌های انیدریتی است. شناسایی ترکیب کانی‌شناسی اولیه این کربنات‌ها به دلیل تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی بر اساس بررسی‌های پتروگرافی امری دشوار است، زیرا به مرور زمان آراگونیت و کلسیت دارای منیزیم زیاد به کلسیت کم منیزیم تبدیل شده و باعث تغییر بافت و ترکیب اولیه سنگ می‌شوند. در نتیجه باید از بررسی‌های عنصری به عنوان مکمل پژوهش‌های پتروگرافی یاری جست. مقادیر عناصر اصلی و فرعی در کربنات‌ها به ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها وابسته است و ترکیب کانی‌شناسی نیز به نوبه خود تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنتی تغییر می‌یابد. بررسی عناصر اصلی (Ca, Mg) و فرعی (Mn, Fe, Na, Sr) و مقایسه آن‌ها با نتایجی که محققان مختلف برای ترکیب کانی‌شناسی آراگونیتی ارائه کرده‌اند، و بر اساس شواهد پتروگرافی نظیر تخلخل قالبی اییدی، فراوانی زیاد دوکفه‌ای‌ها، دولومیتی شدن انتخابی، اسپالد ایید، سیمان فیبری هم ضخامت دریایی بیان‌گر ترکیب اولیه آراگونیتی در سازند بررسی شده است. بر اساس پژوهش‌های پتروگرافی و شناسایی ریزرخساره‌ها، تعداد ۱۸ ریزرخساره برای سازند دالان شناسایی شده است. با توجه به ریزرخساره‌های شناسایی شده، این توالی کربنات‌ها روی یک پلاتفرم کربنات‌ها از نوع رمپ هموکلینال نهشته شده است.

**واژه‌های کلیدی:** سازند دالان، رمپ کربنات‌ها، کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی، ژئوشیمی رسوبی.

## مقدمه

سنگ‌های کربنات‌ها سازند دالان به عنوان بزرگ‌ترین مخزن گازدار در منطقه زاگرس و خلیج فارس به شمار می‌رود [۵]. سازند دالان به سن پرمین به همراه سازند کنگان به سن تریاس در حوضه رسوبی خلیج فارس، حدود ۵۰ درصد از ذخایر گازی را دارند [۵]. سازند دالان در نواحی زاگرس چین‌خورده و بخش‌های وسیعی از خلیج فارس به عنوان اصلی‌ترین سازند گازدار به شمار می‌رود [۶]. در این پژوهش یک برش زیرسطحی از سازند دالان در چاه شماره X در

\*نویسنده مسئول rogaye.1262@gmail.com

میدان گازی پارس جنوبی بررسی شده است. هدف از این پژوهش تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه سازند دالان به کمک شواهد ریز رخساره‌ای و بررسی‌های عناصر اصلی و فرعی، تفکیک نمونه‌های دولومیتی از آهکی است. بررسی تغییرات عناصر اصلی و فرعی، مکمل پژوهش‌های پتروگرافی است و در شناسایی هر چه بیش‌تر کانی‌شناسی اولیه سنگ‌های کربناته ما را راهنمایی می‌کند. از تغییرات این عناصر هم‌چنین می‌توان به اطلاعاتی نظیر تغییرات سطح آب دریا، نوع محیط دیاژنزی و روند فرآیندهای دیاژنتیکی حاکم بر کربنات‌ها دست یافت. رسوبات مختلف در محیط‌های مختلف از نظر دمایی و ترکیب کانی‌شناسی اولیه دارای عناصر فرعی مختلفی هستند به طوری که حتی پس از اعمال فرآیندهای دیاژنزی متئوریک یا تدفینی و تبدیل کربنات‌های ناپایدار آراگونیت و کلسیت دارای منیزیم زیاد به کلسیت کم منیزیم این اختلافات حفظ شده و گویای معادل‌های دیرینه آن‌هاست [۱].

### زمین‌شناسی عمومی

میدان پارس جنوبی در موقعیت ۵۲ تا ۵۲/۵ درجه شرقی و ۲۶/۵ تا ۲۷ درجه شمالی، در حدود ۱۰۰ کیلومتری بندرسلویه، ۱۷۵ کیلومتری بندرکیش و ۱۰۵ کیلومتری سواحل قطر به وسعت ۶۰۰۰ کیلومتر مربع است (شکل ۱). آن‌چه در نقشه‌های منطقه قابل مشاهده است، پارس جنوبی (گنبد شمالی قطر) دارای طول تقریبی ۱۵۰ کیلومتر و عرض تقریبی ۷۰ کیلومتر است. این ساختمان در واقع تداومی از پلانچ شمال شرقی ساختمان عظیم گازی گنبدی شکل، در شمال شرق شبه‌جزیره قطر است که تحت عنوان گنبد شمالی قطر<sup>۱</sup> شناخته شده است [۷]. کمان قطر حوضه خلیج فارس را به دو بخش شمال غربی و جنوب شرقی تقسیم کرده و در جهت شمال نیز به کمر بند چین-خوردگی زاگرس که به‌عنوان یک ساختار شناخته شده کوه‌زایی اواخر آلپین، مرکب از تاقدیس‌های عظیم است، محدود می‌شود.

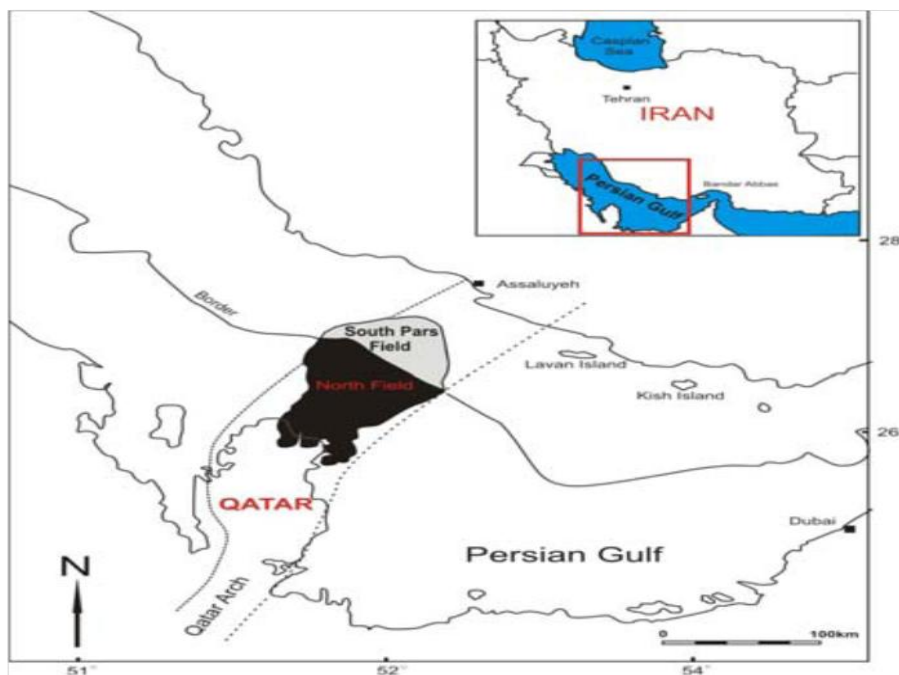
این ساختمان گنبدی از نوع رویشی است و عامل رویش آن برخاستن پی‌سنگ در کمان قطر به‌شمار می‌آید [۸]. وجود نازک‌شدگی در ستیغ و ستبرشدگی یال‌های تاقدیس در سازند دشتک و سازندهای جوان‌تر تا پالئوژن به‌وسیله لرزه‌نگاری مشخص شده است. این ساختار در طی تریاس دچار ریزش شده و در تورونین این رویش شدت یافته و بالاخره در طی نئوژن متوقف شده است. هر چند امکان نسبت دادن آغاز حرکت به پالئوژوئیک هنوز مردود شناخته نشده است [۲].

### چینه‌شناسی سازند دالان

در برش بررسی شده سازند دالان به سن پرمین پسین و ضخامت ۳۷۰ متر از لیتولوژی غالب آهک و دولومیت تشکیل شده است (شکل ۲). از نظر خصوصیات مخزنی این سازند به سه واحد مخزنی K3 و K4 (دالان بالایی) و K5 (دالان پایینی) تقسیم می‌شود که زون K4 غنی‌تر از زون‌های دیگر است. بخش انیدریتی نار بین لایه‌های k4 و k5 قرار گرفته و بخش‌های دالان پایینی و دالان بالایی را از هم جدا می‌کند. بخش‌های پایینی و بالایی شامل رسوبات کربناته است که در اثر تغییرات دیاژنزی در حال حاضر از نظر سنگ‌شناسی از ترکیب سنگ آهک، دولومیت و انیدریت تشکیل شده‌اند. در واقع لایه‌های مخزنی k1 و k2 معادل سازند کنگان، k3 و k4 معادل بخش دالان بالایی و k5 معادل بخش

1. Gatar North Dome

غیرمخزنی دالان پایینی هستند. بخش انیدریتی نار بین لایه‌های k4 و k5 قرار گرفته و بخش‌های دالان پایینی و دالان بالایی را از هم جدا می‌کند [۹]. مرز زیرین سازند دالان، از نوع پیوسته و تدریجی و با سازند آواری فراقون است. دالان بالایی به‌وسیله سازند کنگان پوشیده می‌شود. مرز این دو سازند، مرز فرسایشی پرموتریاس است که در بررسی بیواستراتیگرافی، لیتواستراتیگرافی و ایزوتوپی چاه‌های پارس جنوبی به این مسئله اشاره شده است. با بررسی‌های چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی که روی ۲ چاه در این میدان [۱۰] و نیز بر رخنمون‌های کوه دنا و سورمه [۱۱] انجام شده است، آشکوب دوراشامین (بالاترین بخش پرمین) به‌صورت ناپیوستگی در توالی‌های رسوبی مشاهده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی میدان پارس جنوبی [۷]

## روش‌های پژوهش

در این تحقیق تعداد ۸۵۶ عدد مقطع نازک تهیه شده از مغزه‌های حفاری بررسی شده است که این مقاطع با محلول آلزاین رد-اس<sup>۱</sup> و فروسیانید پتاسیم به‌منظور تشخیص کانی کلسیت از دولومیت به‌روش دیکسون [۱۲] رنگ‌آمیزی شده است. نام‌گذاری ریزرخساره‌های کربناته مقاطع نازک میکروسکوپی با استفاده از تقسیم‌بندی دانهام [۱۳] انجام گرفتند. شناسایی، رده‌بندی و تفکیک ریزرخساره‌ها در محیط رسوبی با استفاده از مدل رخساره‌های رمپ فلوگل [۱۴] انجام شد. پس از بررسی دقیق و کامل مقاطع نازک تعداد ۷ نمونه از سنگ‌های آهکی و ۳۱ نمونه دولومیتی برای بررسی آزمایش‌های عنصری انتخاب شدند. نمونه‌هایی نظیر میکریت با حداقل دگرسانی، سیمان دریایی اولیه، اینتراکست یا الیت‌ها، و صدف‌های کلسیت کم منیزیم نظیر فرامینفرهای سنوزوئیک، بلمنیت‌های مزوزوئیک و براکیوپودهای پالئوزوئیک برای نمونه‌برداری بسیار مناسب هستند. پودر این نمونه‌ها با مته دندان‌پزشکی و حداقل امکان از زمینه میکریتی و به دور از رگه‌ها، فسیل‌ها و آلوکم‌های موجود در سنگ تهیه شده و سپس برای تعیین عناصر اصلی

1. Red-S

و فرعی با دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی<sup>۱</sup> در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی آزمایش شده‌اند. مزیت‌های استفاده از دستگاه جذب اتمی این است که از یک محلول چند عنصر اندازه‌گیری می‌شود و حد قرائت آن کم‌تر از ۱۰ پی‌پی‌ام و برای بعضی عناصر در حد پی‌پی‌بی است. در حالی که یکی از محدودیت‌های استفاده از فلورسانس اشعه ایکس، حد قرائت است که تحت شرایط عادی حدود ۱۰۰ پی‌پی‌ام است. در قرائت مقدار Sr دولومیت‌ها که معمولاً مقدار آن کم‌تر از ۱۰۰ پی‌پی‌ام است باید از دستگاه جذب اتمی استفاده کرد.

روش کار به این ترتیب است که ۰/۲۵ gr از پودر نمونه را در محلول یک مول اسید کلریدریک قرار داده و پس از مدت زمان ۲ ساعت با دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی، مقادیر عناصر اصلی (Ca, Mg) برحسب درصد و عناصر فرعی (Fe, Mn, Na, Sr) بر حسب پی‌پی‌ام اندازه‌گیری شده‌اند. سپس رسوب ته‌نشین شده درون بالن‌های حاوی محلول را خشک کرده، وزن آن را دقیقاً اندازه‌گیری می‌کنیم و این مقدار را از وزن اولیه نمونه کسر کرده تا مواد غیرقابل حل در اسید<sup>۲</sup> تعیین شود. این مقدار را به صورت درصد (IR %) بیان کرده‌ایم. نمونه‌های دارای بیش از ۱۰ درصد مواد غیرقابل حل در اسید حذف می‌شوند.

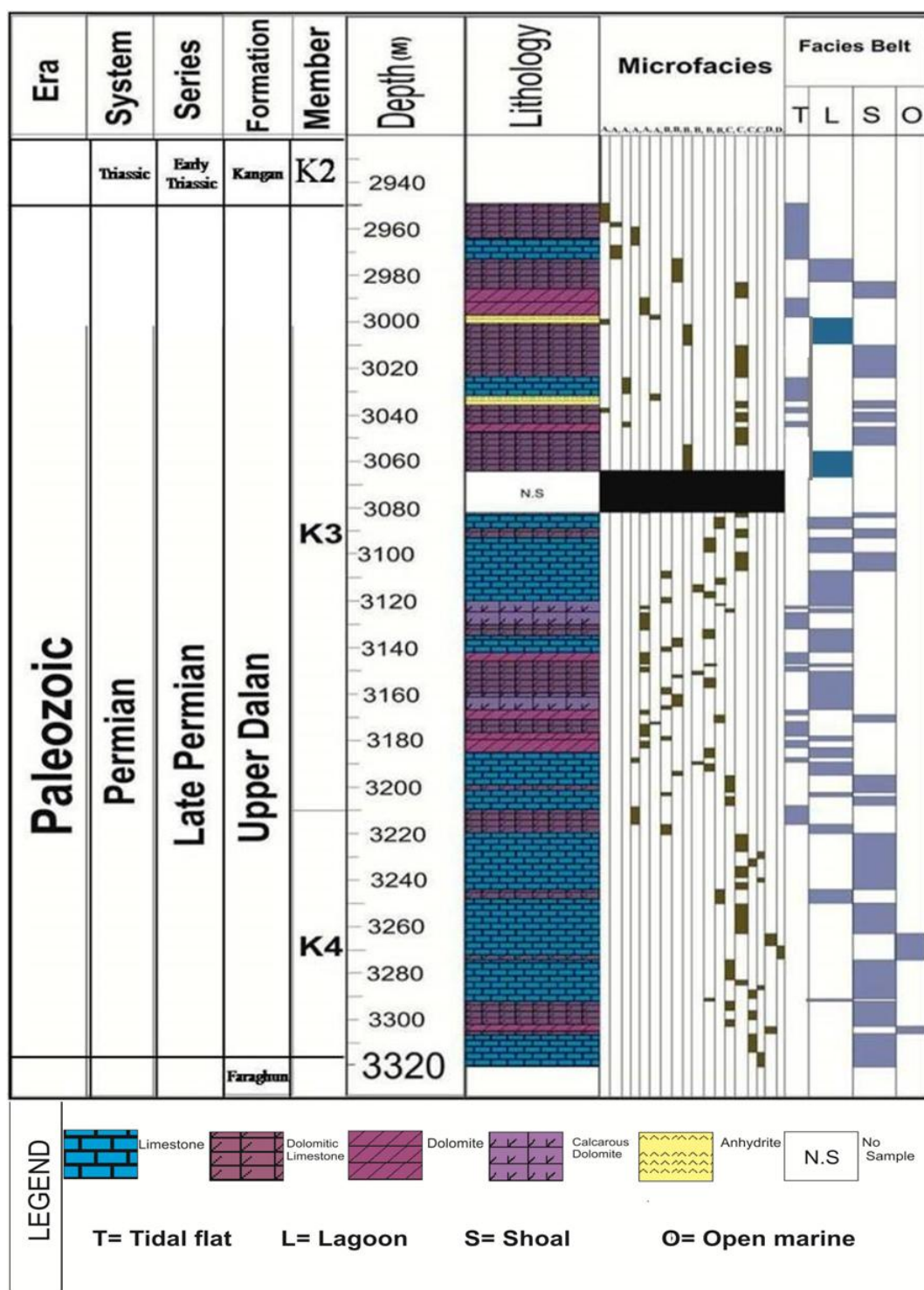
#### الف) ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند دالان

پژوهش‌های میکروسکوپی منجر به شناسایی ۴ مجموعه رخساره‌ای با حروف اختصاری A, B, C, D شده است که این مجموعه‌های رخساره‌ای از نظر محیط رسوب‌گذاری به ۴ کمربند رخساره‌ای<sup>۳</sup> تعلق دارند به طوری که مجموعه رخساره‌ای A در محیط جزرومدی<sup>۴</sup>، مجموعه رخساره‌ای B در محیط لاگون<sup>۵</sup>، مجموعه رخساره‌ای C در محیط پشته کربناته<sup>۶</sup> و مجموعه رخساره‌ای D در محیط دریای باز<sup>۷</sup> برجای گذاشته شده‌اند. کمربندهای رخساره‌ای ذکر شده نشان دهنده پلاتفرم کربناته کم عمق از نوع رمپ هموکلینال هستند. در ادامه در جدول ۱ و شکل ۳ ریزرخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده در سازند دالان در چاه شماره X در میدان گازی پارس جنوبی به همراه آلوکوم‌های اصلی (اسکلتی و غیراسکلتی) و فرآیندهای دیاژنتیکی غالب آورده شده است.

#### ۱. مشخصات رسوب‌شناسی و محیط رسوب‌گذاری مجموعه رخساره A

ریزرخساره‌های دولومادستون با فابریک فنسترال، بایندستون استروماتولیتی با فابریک فنسترال، پلوئیدال اینتراکلیست مادستون/وکستون، دولومادستون با بلورها و قالب‌های پراکنده انیدریت، دولومادستون با ندول‌های انیدریت و انیدریت متبلور (لایه‌ای) در کمربند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی تشکیل شده‌اند. جای‌گاه رسوبی پهنه جزر و مدی، جای‌گاهی است که تولید کربنات در آن به طور اساسی با فعالیت‌های زیستی شدید کنترل می‌شود. از ریزرخساره‌های متداول در چنین جای‌گاهی می‌توان نهشته‌های زیستی و بایندستون‌ها را نام برد [۱۵]. وجود فابریک فنسترال، همراهی با ریزرخساره‌های ترومبولیت و استروماتولیتی، دولومیت دانه‌ریز از شواهد ریزرخساره‌های بین جزر و مدی امروزی است [۱۶]، [۱۷]، [۱۴].

1. AAS
2. Insoluble Residue
3. Facies Belt
4. Tidal Flat
5. Lagoon
6. Shoal
7. Open Marine



شکل ۲. توالی رسوبی سازند دالان به همراه کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده در چاه شماره X. در این شکل، نحوه توزیع مجموعه‌های رخساره‌ای در توالی قائم نشان داده شده است

معمولاً در محیط‌های بالای جزر و مدی و در نزدیکی خشکی، مادستون‌هایی که گاه حاوی روزنه‌ها و حفراتی هستند، تشکیل می‌شود. این حفره‌ها معمولاً منشأ هم‌زمان با رسوب‌گذاری یا کمی بعد از رسوب‌گذاری دارند. این حفره‌ها یا در اثر خروج گاز دی‌اکسید کربن و یا انحلال ایجاد می‌شوند. حفره‌های مذکور می‌توانند در مرحله بعد به

شکل مکانیکی با رسوبات داخلی (میکریت یا پلت و...) و یا به شکل شیمیایی با سیمان پر شوند. احتمالاً دولومیکرایت‌های سازند دالان در کمر بند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی و طی یک مدل سبخایی تشکیل شده‌اند [۱۸]. بدین صورت که با افزایش تبخیر و تشکیل کانی‌های تبخیری میزان Ca در محیط کاهش یافته و در نتیجه میزان Mg/Ca محیط افزایش یافته است و دولومیکرایت‌ها تشکیل شده‌اند [۱۹]. انرژی جزر و مدی و گاه شرایط طوفانی ناگهانی در این محیط باعث ایجاد اینتراکلت‌هایی با جورشدگی ضعیف شده است که پس از آن و در طی دیاژنز، فضاهای خالی بین اینتراکلت‌ها با سیمان انیدریتی ثانویه پر شده است. با توجه به فابریک و اندازه خیلی ریز بلورهای دولومیت، وجود بلورها و قالب‌های پراکنده انیدریتی، حفظ بافت رسوبی اولیه و عدم وجود فسیل، این نهشته‌ها در شرایط سطحی و در محیط‌های سوپراتایدال تا قسمت بالایی اینترتایدال (قسمت بالایی بین حد جذرومد) تشکیل شده‌اند [۲۱]، [۲۰] (شکل ۳ A<sub>1</sub> تا A<sub>6</sub>).

## ۲. مشخصات رسوب‌شناسی و محیط رسوب‌گذاری مجموعه رخساره B

ریزر رخساره‌های مادستون بایوکلست‌دار، مادستون/وکستون بایوکلستی دارای آشفنگی زیستی، آنکوئید پکستون، گرینستون جلبکی، بایوکلست پکستون، پلوئیدال وکستون/پکستون در کمر بند رخساره‌ای لاگون تشکیل شده‌اند. در واقع لاگون منطقه‌ای گسترده، با چرخش آب محدود و متغیر است که به وسیله بخش مرکزی پشته کربناته از امواج جریان‌های دریایی محافظت می‌شود. حضور اجزا اسکلتی نظیر فرامینیفرهای بنتیک و جلبک در یک زمینه میکریتی، نشان‌دهنده انرژی کم محیط است. مقادیر فراوان فرامینیفرهای بنتیک به خصوص میلیولید و تکستولاریا و جلبک‌های سبز (داسی کلاداسه آ) در مجموعه رخساره B حاکی از شرایط محیطی کم عمق نظیر لاگون محافظت شده<sup>۱</sup> است. وجود آنکوئید و فرآیندهای میکریتی شدن اشاره به فعالیت‌های جلبکی و باکتریایی در این محیط کم انرژی و محدود شده جزر و مدی دارد [۲۲]. آشفنگی زیستی، وجود پلت‌های مدفوعی و پلوئید و ماتریکس میکریتی از مشخصه‌های محیط لاگون کم انرژی محدود شده و پایین کشندی است [۲۳] (شکل ۳ B<sub>1</sub> تا B<sub>6</sub>).

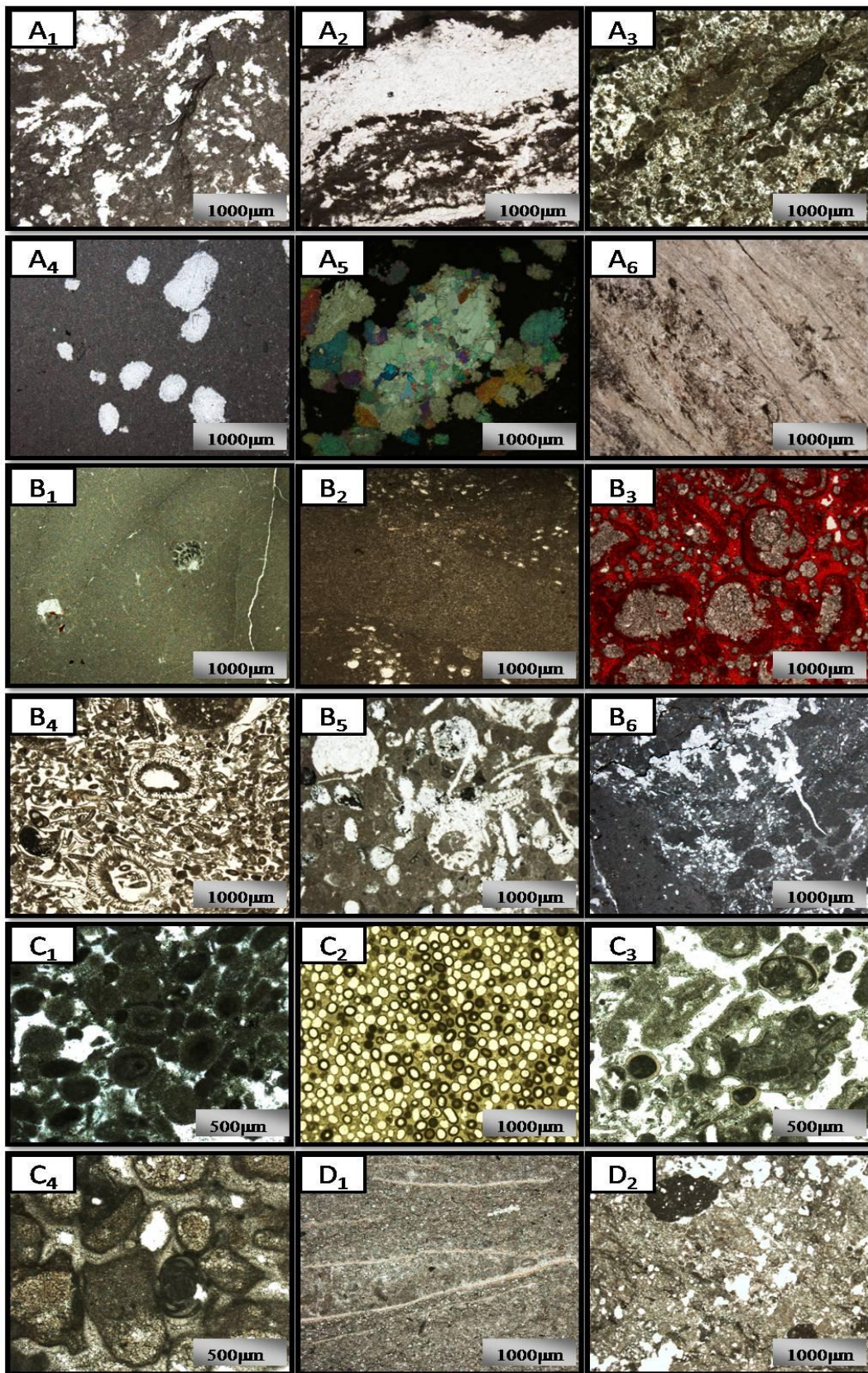
## ۳. مشخصات رسوب‌شناسی و محیط رسوب‌گذاری مجموعه رخساره C

ریزر رخساره‌های پلوئید ائید گرینستون، ائید گرینستون، ائید اینتراکلت گرینستون، اینتراکلت بایوکلست گرینستون در کمر بند رخساره‌ای پشته کربناته نهشته شده‌اند. این کمر بند رخساره‌ای دارای ائید زیاد است که نشان‌دهنده توده‌های سد فعال و متحرک مربوط به آب‌های کم‌عمق است [۱۴]. گسترش ریزرخساره‌های پشته‌های کربناته یکی از عوامل نشان‌دهنده محیط رمپ است [۲۴]. ریزرخساره پلوئید ائید گرینستون بخش‌هایی از پشته کربناته را نشان می‌دهد که در نزدیکی لاگون قرار گرفته یا به عبارتی بخش رو به خشکی<sup>۲</sup> پشته کربناته هستند. ریزرخساره‌های ائید گرینستون و ائید اینتراکلت گرینستون در بخش مرکزی و پرانرژی پشته کربناته<sup>۳</sup> تشکیل شده‌اند. ریزرخساره اینتراکلت بایوکلست گرینستون در بخش رو به دریای پشته کربناته<sup>۴</sup> و پرانرژی‌ترین بخش پشته کربناته نهشته شده‌اند.

1. Protected Lagoon  
2. Leeward Shoal  
3. Central Shoal  
4. Seaward Shoal

جدول ۱. ریزرخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای شناسایی شده در سازند دالان در چاه شماره X در میدان گازی پارس جنوبی به همراه آلوم‌های اصلی (اسکلتی و غیر اسکلتی) و فرآیندهای دیاژنتیکی غالب

زیرمحیط شناسایی شده	عوارض دیاژنتیکی غالب	دانه‌ها		عنوان ریزرخساره	کد رخساره
		اجزاء غیر اسکلتی	اجزاء اسکلتی		
پهنه جزرومدی	اکسید آهن، استیلولیت، انحلال، انیدریتی شدن و دولومیتی شدن	-	-	دولومادستون با فابریک فنسترال	A <sub>1</sub>
پهنه جزرومدی	دولومیتی شدن، انیدریتی شدن، رگچه‌های انحلالی و آهن‌دار شدن	-	-	بایندستون استروماتولیتی با فابریک فنسترال	A <sub>2</sub>
پهنه جزرومدی	دولومیتی شدن، میکریتی شدن، استیلولیت، رگچه‌های انحلالی و آهن‌دار شدن	اینتراکلست و پلوئید	-	پلوئیدال اینتراکلست مادستون/وکستون	A <sub>3</sub>
پهنه جزرومدی	دولومیتی شدن، استیلولیت و شکستگی	-	-	دولومادستون با بلورها و قالب‌های پراکنده انیدریت	A <sub>4</sub>
پهنه جزرومدی	دولومیتی شدن، استیلولیت و رگچه‌های تبخیری	-	-	دولومادستون با ندول‌های انیدریتی	A <sub>5</sub>
پهنه جزرومدی	دولومیتی شدن	-	-	انیدریت متبلور (لایه‌ای)	A <sub>6</sub>
لاگون	انحلال، تراکم، استیلولیت، شکستگی، دولومیتی شدن و آهن‌دار شدن	-	قطعات فرامینفر(میلیولید، تکستولاریا) و دوکفه‌ای	مادستون بایوکلاست‌دار	B <sub>1</sub>
لاگون	انحلال، شکستگی، دولومیتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، انیدریتی شدن، تراکم، آهن‌دار شدن و استیلولیت	پلوئید و ائید	فرامینفرهای بنتیک (میلیولید)، گاستروپودها و قطعات دوکفه‌ای و جلبکی	مادستون/وکستون بایوکلاستی دارای آشفستگی زیستی	B <sub>2</sub>
لاگون	دولومیتی شدن، انحلال، تراکم و میکریتی شدن	آنکوئید و ائید	فرامینفرهای بنتیک	آنکوئید پکستون	B <sub>3</sub>
لاگون	استیلولیت، میکریتی شدن، دولومیتی شدن، انیدریتی شدن و انحلال	-	جلبک سبز فراوان (داسی کلاداسه)، فرامینفرهای بنتیک	گرینستون جلبکی	B <sub>4</sub>
لاگون	دولومیتی شدن، میکریتی شدن، انیدریتی شدن، استیلولیت، انحلال و پیری شدن	-	جلبک سبز (داسی کلاداسه، پرموکالکالوس)، فرامینفرهای بنتیک، گاستروپود و دوکفه‌ای	بایوکلاست پکستون	B <sub>5</sub>
لاگون	دولومیتی شدن، انیدریتی شدن، انحلال، شکستگی و آهن‌دار شدن	پلت‌های مدفوعی و پلوئیدها فراوان	خارپوست، گاستروپودها، قطعات جلبکی و دوکفه‌ای	پلوئیدال وکستون-پکستون	B <sub>6</sub>
پشته کربناته	انحلال، دولومیتی شدن، استیلولیت، سیمانی شدن، میکریتی شدن، انحلال و انیدریتی شدن	ائید و پلوئید	دوکفه‌ای و فرامینفرهای میکریتی شده	پلوئید ائید گرینستون	C <sub>1</sub>
پشته کربناته	انحلال، استیلولیت، تراکم فیزیکی، نومورفیسیم، سیمانی شدن، دولومیتی شدن، انیدریتی شدن و میکریتی شدن	ائید فراوان	قطعات دوکفه‌ای، خارپوست، گاستروپود و عمدتاً فرامینفرهای کوچک	ائید گرینستون	C <sub>2</sub>
پشته کربناته	دولومیتی شدن، انحلال، انیدریتی شدن، نومورفیسیم، سیمانی شدن، پیری شدن، استیلولیت، شکستگی	ائید و اینتراکلست	دوکفه‌ای، خارپوست و فرامینفرهای بنتیک	ائید اینتراکلست گرینستون	C <sub>3</sub>
پشته کربناته	میکریتی شدن، دولومیتی شدن، انحلال، تراکم و شکستگی آلوم‌ها، سیمانی شدن و تشکیل رگچه‌های انحلالی، نومورفیسیم و استیلولیت	اینتراکلست فراوان و ائید	فرامینفرهای بنتیک و قطعات جلبکی، کرینوتیید، بریوزوئر و قطعات دوکفه‌ای	اینتراکلست بایوکلاست گرینستون	C <sub>4</sub>
دریای باز	استیلولیت، میکریتی شدن، شکستگی، تشکیل رگچه‌های انحلالی و انحلال	-	قطعات براکیوپود، دوکفه‌ای پلاژیک، فرامینفر و بریوزوئر	بایوکلاست وکستون/پکستون	D <sub>1</sub>
دریای باز	شکستگی، استیلولیت، انحلال و میکریتی شدن	اینتراکلستهای میکریتی شده	دوکفه‌ای پلاژیک و براکیوپود	بایوکلاست پکستون همراه با اینتراکلست های میکریتی	D <sub>2</sub>



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی از ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند دالان در چاه شماره X

به‌علت وجود نداشتن سدهای محافظت‌کننده در برابر امواج دریایی مختلف (جریان‌های جزر و مدی، طوفانی و دریایی) بیش‌ترین میزان انرژی در محیط رسوبی حاکم است از این رو، پراثری‌ترین ریزرخساره‌ها یعنی ریزرخساره‌های گرینستونی بایوکلاستی اینتراکلاستی دانه درشت تشکیل می‌شوند. با توجه به ارتباط مستقیم اندازه دانه و انرژی محیط می‌توان نتیجه گرفت که این رخساره در محیط پراثری تشکیل شده است [۶۶]. در این قسمت‌ها به‌علت انرژی زیاد محیط، میکریست شسته شده و سیمان جای‌گزین آن شده است. زیرا حضور ائید و سیمان اسپاری مؤید محیطی پراثری است. اندازه ذرات از سمت رو به دریای باز پشته‌های کربناته به‌طرف رو به خشکی پشته‌های کربناته کاهش می‌یابد که علت آن کاهش انرژی محیط است [۱۴]، [۲۳] (شکل ۳ C<sub>1</sub> تا C<sub>4</sub>).

#### ۴. مشخصات رسوب شناسی و محیط رسوبگذاری مجموعه رخساره D

ریزرخساره‌های بایوکلاست و کستون/پکستون و بایوکلاست پکستون همراه با اینتراکلاست‌های میکریستی در بخش عمیق‌تر دریا و قسمت‌های زیر پشته کربناته تشکیل شده‌اند. اجزای بایوکلاستی تشکیل‌دهنده این رخساره‌ها عمدتاً قطعات دوکفه‌ای پلاژیک، براکیوپود و به مقدار کم تر کریونید، فرامینیفیر و بریوزوئر است. با توجه به وجود مقادیر زیاد گل در بین ذرات، وجود موجودات استنوهالین همانند خارپوست و بریوزوئر می‌توان محیطی با انرژی کم و میزان رسوب‌گذاری آرام برای ته‌نشست این ریزرخساره در نظر گرفت که متناسب با محیط دریای باز است [۲۵] (شکل ۳ D<sub>1</sub> و D<sub>2</sub>).

#### ۵. مدل رسوبی سازند دالان

بر اساس پژوهش‌های قبلی [۲۶]، رمپ‌های کربناته اغلب در زون‌های فاقد موجودات ریف ساز گسترش یافته‌اند [۲۷]. زیرا این موجودات علاوه بر تولید رسوب، اثر سدی بر انرژی محیط دارند و بنابراین ریخت‌شناسی و هیدرودینامیک حاکم بر محیط را تحت تأثیر قرار می‌دهند. انقراض دسته جمعی موجودات [۲۷] شرایط را برای گسترش رمپ‌ها مساعدتر کرده است. توالی تریاس زیرین همراه با انقراض عظیم موجودات در انتهای پرمین، یکی از دوره‌های گسترش رمپ‌های کربناته به‌علت نقش کم اهمیت موجودات ریف‌ساز است [۲۸]. بنابراین نبود موجودات ریف ساز منجر به تشکیل نشدن سد و در نتیجه رمپ‌های کربناته توسعه یافته است. دلایل شناسایی شده زیر در سازند دالان را می‌توان برای معرفی رمپ کربناته ارائه داد:

۱. تولید بالای ائید از ویژگی‌های اصلی رمپ‌های کربناته تحت تأثیر شرایط پراثری است.
  ۲. تغییرات تدریجی ریزرخساره‌های کم‌عمق به انواع عمیق انعکاسی از پیوستگی و ارتباط ریزرخساره‌ای به هم و ریخت‌شناسی حوضه در حین رسوب‌گذاری است که با رمپ‌ها هم‌خوانی بیش‌تری دارد.
  ۳. بازسازی گسترش جانبی حوضه گذر رسوبات پیرامون جزر و مدی از یک محیط کم‌عمق تحت کشندی به سدی پراثری و سپس رخساره‌های عمیق‌تر را نشان می‌دهد که برای سیستم‌های رمپ توصیف شده است [۳۰]، [۲۹].
  ۴. تنوع ریزرخساره‌ای کم، فراوانی بالای رخساره‌های کم‌عمق و به‌ویژه وسعت زیاد سبخا، عدم وجود ذرات آواری مشخصه سیستم‌های رمپ هم‌شیب در یک اقلیم خشک و نیمه خشک است [۲۲]، [۱۴].
- بررسی رخساره‌های میکروسکوپی و مقایسه با ریزرخساره‌های استاندارد فلوگل [۱۴] و با توجه به وجود نداشتن ریف‌های بزرگ سدی و نهشته‌های توریدایتی، گسترش نسبی پهنه‌های جزرومدی همراه با ریزرخساره‌های سدی

ائیدی و تغییر تدریجی ریزرخساره‌ها به یک‌دیگر، محیط رسوبی سازند دالان یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ هم‌شیب است [۱۶]. این نوع رمپ دارای شیب نسبتاً ملایم و یک‌نواختی است که از خط ساحلی تا حوضه کشیده شده است و مشابه با رمپ‌های کربناته عهد حاضر نظیر سواحل جنوبی خلیج فارس، باهاما و شارک بی استرالیا است. به‌طور کلی رمپ کربناته سازند دالان در ناحیهٔ پارس جنوبی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است که شامل ۱. رمپ داخلی<sup>۱</sup> با کمربندهای رخساره‌ای پهنه جزرومدی و لاگون محدود شده. ۲. رمپ میانی<sup>۲</sup> با کمربندهای رخساره‌ای پشته کربناته زیرآبی ائیدی و اینتراکستی که حد فاصل لاگون و دریای باز است. ۳. رمپ خارجی<sup>۳</sup> که در دورترین بخش پلاتفرم به سمت دریای باز قرار داشته و با کمربند رخساره‌ای دریای باز مشخص می‌شود. شکل ۴ پراکندگی ریزرخساره‌ها در طول رمپ کربناته را نشان می‌دهد.

### ب) شواهد پتروگرافی برای شناسایی ترکیب کانی‌شناسی اولیه

شواهد پتروگرافیکی نظیر وجود سیمان سوزنی یا فیبری هم ضخامت<sup>۴</sup>، پوشش میکریتی له شده و تغییرشکل یافته<sup>۵</sup>، اسپالد ائید<sup>۶</sup>، لامینه‌های مبهم در ائیدها<sup>۷</sup>، وجود تخلخل قالبی ائید<sup>۸</sup> و حضور میانبارهای Sr در زمینه میکریتی<sup>۹</sup> مؤید ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی در مقاطع نازک است [۳۱].

براساس شواهد پتروگرافی ذکر شده و طبق پژوهش‌های پتروگرافی نمونه‌های رسوبی بررسی در سازند دالان با توجه به‌وجود تخلخل قالبی زیاد، فراوانی بالای دوکفه‌ای‌ها، دولومیتی شدن انتخابی، وجود اسپالد ائید، وجود سیمان ایزوپک دریایی و انحلال گسترده، کانی‌شناسی اولیه این سازند آراگونیتی تعیین شده است.

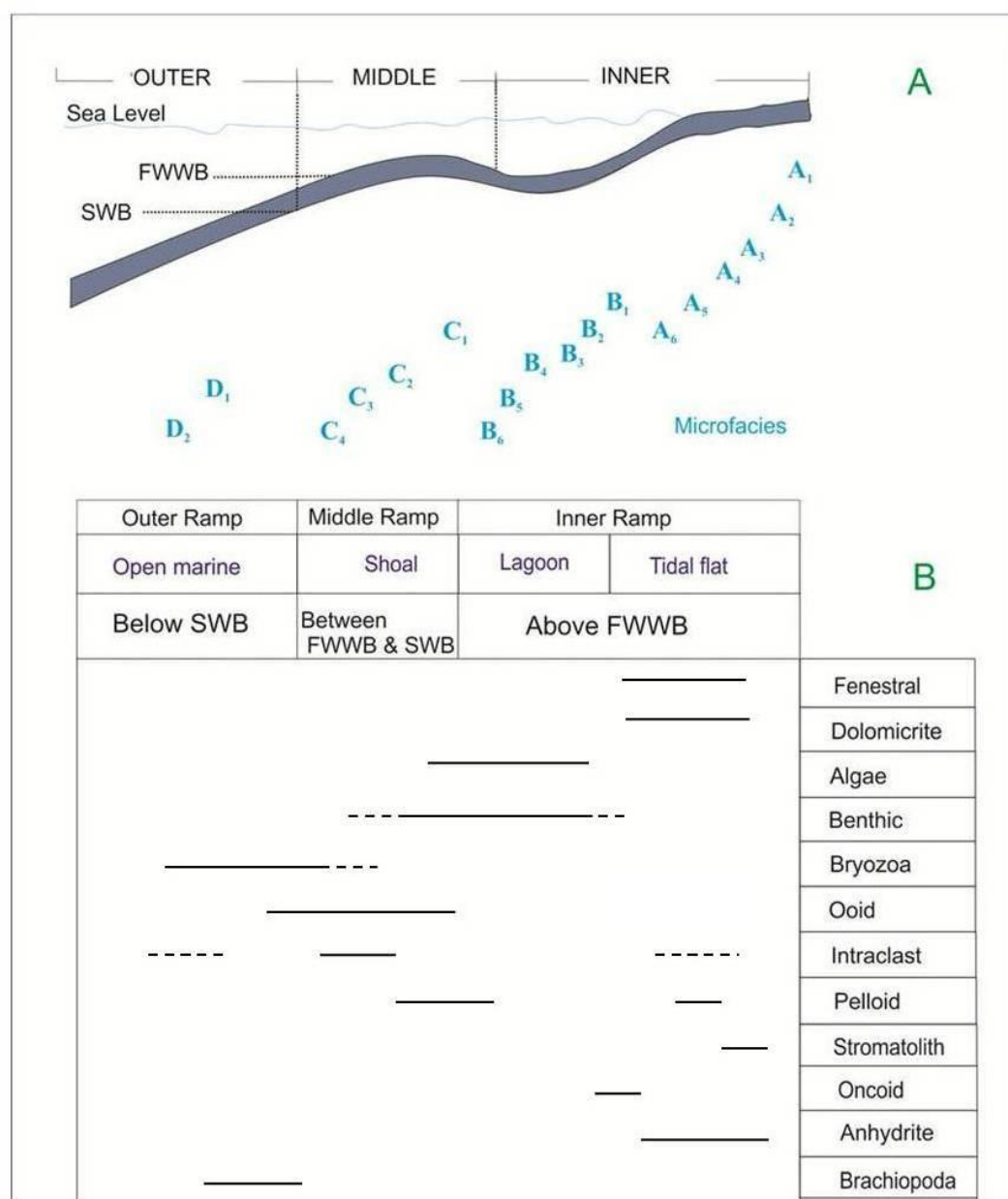
#### ۱. اسپالد ائید

گاهی لایهٔ خارجی ائیدها از سایر لایه‌ها جدا می‌شود که در این حالت به آن اسپالد ائید می‌گویند که نشان‌دهندهٔ ترکیب کانی‌شناسی اولیهٔ آراگونیتی ائیدها است. این حالت در سیستم‌های دیاژنتیکی بسته تا نیمه بسته ایجاد می‌شود [۳۱]. پدیدهٔ اسپالد ائید در برخی از ائیدهای سازند دالان دلیلی بر تأیید کانی‌شناسی اولیهٔ آراگونیتی این سازند است (شکل ۵ A).

#### ۲. دولومیتی شدن انتخابی

اگر دولومیتی شدن به‌صورت انتخابی در برخی از اجزا سنگ رخ دهد، به آن دولومیتی شدن انتخابی<sup>۱۰</sup> می‌گویند که مشخصهٔ جانشینی دولومیت به‌جای آراگونیت یا کلسیت پرمیزیم است [۳۲]. دولومیتی شدن بعضی از ائیدها می‌تواند در رابطه با ترکیب کانی‌شناسی احتمالی آراگونیتی باشد، زیرا ترکیبات آراگونیتی همانند کاتالیزور عمل می‌کنند و فرآیند دولومیتی شدن را تسریع می‌کنند [۳۳]، [۲۱]، [۱۸] (شکل ۵ B). دولومیتی شدن غالب‌ترین فرآیند دیاژنتیکی در سازند دالان است [۳۴].

1. Inner Ramp
2. Middle Ramp
3. Outer Ramp
4. Fibrous to Acicular isopachous cement
5. Shattered micritic envelope
6. Spalled Ooid
7. Diffused laminae
8. Oomold
9. Sr inclusion in micrite
10. Fabric Selective



شکل ۴. پراکندگی ریزرخساره‌ها در رمپ کربناته (A) و پراکندگی اجزا کربناتی تشکیل‌دهنده سازند دالان مربوط به کمرندهای رخساره‌ای مختلف (B)

### ۳. فراوانی بالای دوکفه‌ای‌ها

دوکفه‌ای‌ها موجوداتی مربوط به شاخه نرم‌تنان هستند که صدف اکثر آن‌ها از آراگونیت تشکیل شده است (شکل ۵ C). برخی نیز دارای کانی‌شناسی مخلوطی از کلسیت و آراگونیت هستند. در مواقعی که صدف آراگونیتی است، ساختمان داخلی در طی زمان‌های طولانی حفظ نمی‌شود و در طی دیاژنز با اسپاریت درشت دروزی پر می‌شود. دوکفه‌ای‌های موجود در این سازند دیاژنز شدیدی را متحمل شده‌اند، بنابراین می‌توان گفت که دارای ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی بوده‌اند. دوکفه‌ای‌ها تقریباً در تمام محیط‌های آبی شامل آب شیرین، نیمه‌شور و شور

محیط‌های ساحلی تا آب‌های عمیق دریایی یافت می‌شوند اما بیش‌ترین فراوانی در محیط‌های دریایی کم عمق هستند. با افزایش عمق، صدف آن‌ها نازک‌تر می‌شود که به آن‌ها دوکفه‌ای‌های پلاژیک گفته می‌شود [۱۴].

#### ۴. سیمان فیبری هم ضخامت

این سیمان متشکل از آراگونیت (به‌طور تیپیک) با ضخامت ۱۰ تا ۲۰ میکرون است و از بلورهای کشیده که عمود بر سطح دانه‌ها قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. هیچ سیمان کلسیتی با فابریک سوزنی در طبیعت وجود ندارد مگر اینکه آراگونیتی بوده است و بعد به‌صورت مینیاتوری، ذره به ذره کلسیت به‌جای آراگونیت نشست و این فابریک حفظ شده است [۳۱]. زمانی که تبادل آب به سنگ کم بوده است و سیستم دیاژنتیکی بسته تا نیمه‌بسته است، تحت این شرایط سیمان فیبری می‌تواند حفظ شود [۳۱]. در اغلب لایه‌های سازند دالان، طی فرآیند دیاژنز به‌دلیل پایداری کم آراگونیت به کلسیت کم‌منیزیم یا دولومیت تبدیل شده است. این سیمان در بسیاری موارد از نوع حاشیه‌ای هم‌ضخامت است یعنی بلورهای آراگونیت ضخامت یک‌سانی در اطراف دانه دارند که از نشانه‌های محیط فراتیک دریایی است [۳۵] [۱۴] (شکل ۵ D). سیمان ایزوپک بهترین انتخاب برای ژئوشیمی اقیانوس‌های قدیمی است زیرا در طول ته‌نشست آن اثرات متابولیک وجود ندارد [۳۶].

#### ۵. انحلال گسترده و تخلخل قالبی

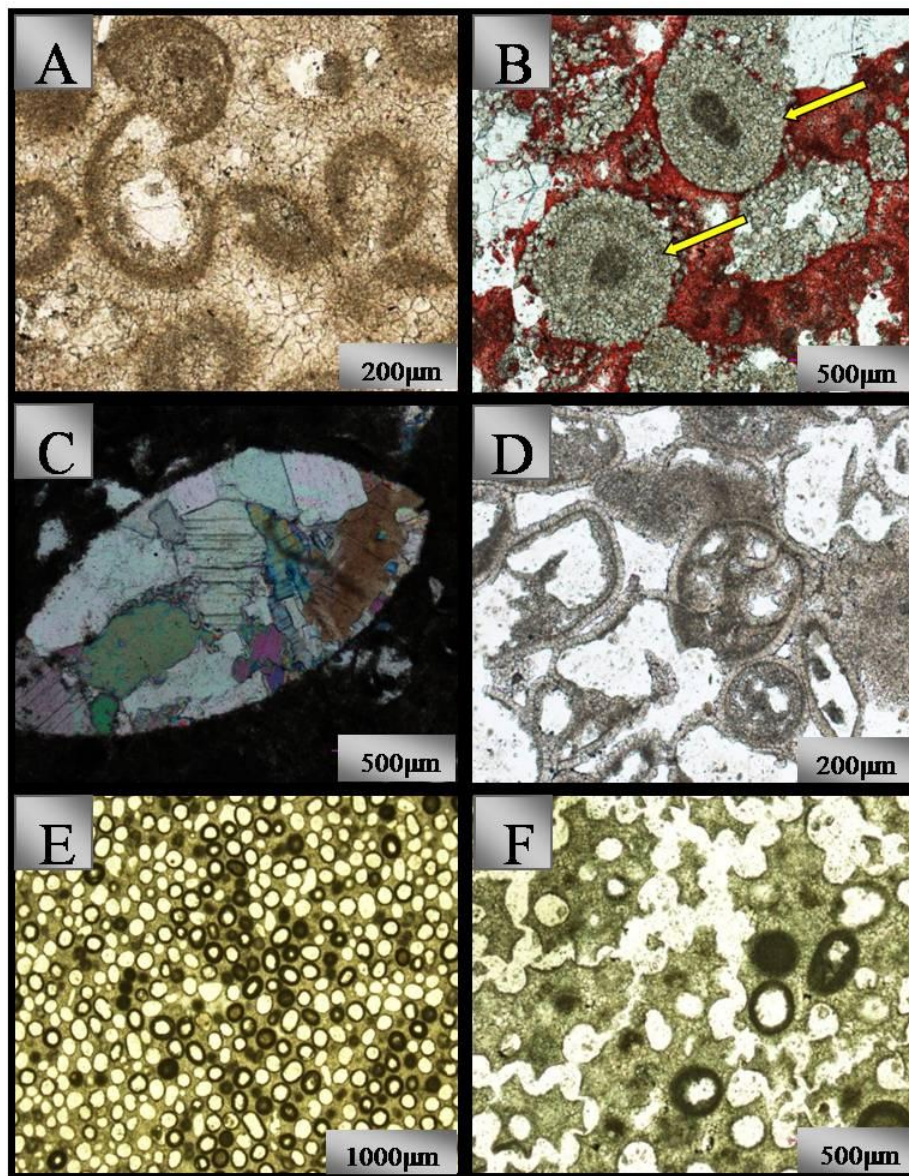
مشاهدات زمین‌شناسی حاکی از این است که دانه‌های آراگونیتی زودتر از کلسیت کم‌منیزیم و کلسیت پرمینیزیم حل می‌شوند و میزان انحلال کلسیت با افزایش محتوی منیزیم بیشتر می‌شود به‌طوری‌که وقتی مقدار منیزیم به ۱۲/۵٪ مول برسد میزان انحلال کلسیت با آراگونیت برابری می‌کند [۱۶]. انحلال یکی از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنتیکی مؤثر بر سازند دالان است که سبب تشکیل تخلخل‌های قالبی به‌ویژه در ائیدها (شکل ۵ E) و انحلال در امتداد استیلولیت‌ها (شکل ۵ F) شده است.

تخلخل‌های قالبی معمولاً در سیستم دیاژنتیکی باز با تبادل آب به سنگ بیش‌تر صورت می‌گیرد. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که فرآیندهای دیاژنتیکی در سازند دالان تحت دو سیستم متفاوت دیاژنتیکی و تبادل آب به سنگ متغیر صورت گرفته است، از این رو، زمان تأثیر سیستم‌های دیاژنتیکی کاملاً متفاوت بوده است (یعنی حفظ سیمان سوزنی یا فیبری هم ضخامت و ایجاد تخلخل قالبی).

#### ج) شواهد ژئوشیمیایی برای شناسایی ترکیب کانی‌شناسی اولیه

##### ۱. بررسی‌های ژئوشیمیایی آهک‌ها

شناسایی ترکیب کانی‌شناسی اولیه کربنات‌ها به‌دلیل تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی صرفاً بر اساس پژوهش‌های پتروگرافی امری بسیار مشکل است زیرا به مرور زمان آراگونیت (Ar) و کلسیت پرمینیزیم (HMC) به کلسیت کم‌منیزیم (LMC) تبدیل شده و باعث تغییر بافت و ترکیب اولیه سنگ می‌شوند. استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی نظیر تجزیه‌های عنصری (Na, Sr, Fe, Mn, Ca, Mg) کمک به شناسایی ترکیب کانی‌شناسی اولیه کربنات‌ها می‌کند [۱]. کلسیت کم‌منیزیم عمدتاً پایدار باقی‌مانده و منحصرأ در سیستم‌های دیاژنز باز دست‌خوش تغییرات شیمیایی جزئی می‌شود.



شکل ۵. A) اسپالد ائید. کمر بند رخساره‌ای پشته کربناته (نور معمولی). B) ذرات ائیدی در یک رخساره گرینستون ائیدی به طور انتخابی دولومیتی شده‌اند. کمر بند رخساره‌ای پشته کربناته (نور معمولی). C) تصویری از دوکفه‌ای بنتیک با پوسته ضخیم که کاملاً انحلال یافته و سپس به طور کامل با انیدریت پر شده است. کمر بند رخساره‌ای لاگون (نور پلاریزه). D) سیمان فیبری هم‌ضخامت در اطراف ائیدها و قطعات اینتراکلاستی در رخساره ائید اینتراکلاست گرینستون که آلوکما دچار انحلال تأخیری شده‌اند ولی سیمان فیبری به دلیل ترکیب کانیوژی پایدار (تبدیل آراگونیت به کلسیت) در سیستمی بسته قبل از انحلال آلوکما، دچار انحلال نشده است بنابراین فرآیندهایی چون انحلال و دولومیتی شدن تأثیری بر سیمان فیبری هم‌ضخامت ندارند، این موضوع نشان‌دهنده بسته بودن سیستم دیاژنتیکی است. کمر بند رخساره‌ای پشته کربناته (نور معمولی). E) انحلال ذرات ائیدی در رخساره گرینستون ائیدی سبب ایجاد تخلخل قالبی ائیدی (Oomold) شده است. در مواردی که تخلخل‌های قالبی مجزا باشند فقط تخلخل ظاهری سنگ افزایش می‌یابد. میکریته شدن برخی از ائیدها مانع از انحلال و ایجاد تخلخل قالبی شده است. کمر بند رخساره‌ای پشته کربناته (نور معمولی). F) انحلال ذرات ائیدی باعث تشکیل تخلخل‌های قالبی در رخساره ائید گرینستون شده است که این حفرات با فرآیندهایی مانند استیلولیت به هم مرتبط شده و سبب افزایش تراوایی و کیفیت مخزنی شده‌اند. کمر بند رخساره‌ای پشته کربناته (نور معمولی)

مقادیر عناصر اصلی و فرعی نمونه‌های کربناته بررسی شده در جدول ۲ ارائه شده است.  
**جدول ۲. تغییرات عناصر اصلی و فرعی به همراه مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین در نمونه‌های آهکی سازند دالان در چاه شماره X**

No.	Formation	Depth (m)	Mg (%)	Ca (%)	Sr (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
۱	Dalan	۳۰۶۳	۳،۶۳	۳۷،۸۳	۳۶۸	۲۲۷۸	۲۰۵	۱۲
۲	Dalan	۲۹۷۴	۰،۷۷	۳۹،۷۰	۱۰۴۸	۶۴۸	۷۰۵	۲۶
۳	Dalan	۳۲۸۶	۴،۰۴	-	۴۴۸	۱۶۸۸	۱۱۴	۱۰
۴	Dalan	۲۹۶۷	۱،۲۱	-	۲۴۰۸	۶۹۱	-	۲۲
۵	Dalan	۳۲۳۰	۳،۰۷	۳۷،۹۳	۱۴۴۸	۲۳۵۳	۱۰۵	۶
۶	Dalan	۳۲۲۴	۱،۰۲	۳۷،۲۷	-	۳۴۵۰	۱۳۰	۶
۷	Dalan	۳۲۴۸	۴،۳۰	۳۳،۰۵	۴۰۸	۲۹۱۴	۶۹	۶
۸	Dalan	۳۲۷۱	۰،۷۲	۳۵،۴۴	۵۲۸	۱۰۳۷	۸۰	۴

	Formation	Mg (%)	Ca (%)	Sr (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
<b>Max</b>	Dalan	۴،۳۰	۳۹،۷۰	۲۴۰۸	۳۴۵۰	۷۰۵	۲۶
<b>Min</b>	Dalan	۰،۷۲	۳۳،۰۵	۳۶۸	۶۴۸	۶۹	۴
<b>Mean</b>	Dalan	۲،۵۱	۳۶،۳۷۵	۱۳۸۸	۲۰۴۹	۳۸۷	۱۵

#### ۱-۱. استرانسیوم (Sr)

میزان Sr نمونه‌های کل کربناته<sup>۱</sup> مناطق حاره‌ای عهد حاضر بین ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام در تغییر است [۳۷]. این مقدار در نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدل بین ۱۶۴۲ تا ۵۰۰۷ پی‌پی‌ام (به‌طور متوسط ۳۲۷۰ پی‌پی‌ام) است [۳۹]، [۳۸]. مقدار Sr در آراگونیت بیش‌تر از کلسیت است زیرا کاتیون‌هایی که بزرگ‌تر از Ca هستند (نظیر Na, Sr)، ترجیحاً در شبکه ساختمانی باز اورترومبیک آراگونیت جای می‌گیرند [۴۰]، [۴۱]. بنابراین مقدار Sr با افزایش میزان آراگونیت و کاهش عمق آب افزایش و با افزایش میزان کلسیت کاهش می‌یابد [۳۸]. حداکثر مقدار Sr که می‌تواند در شبکه کلسیت غیربیوتیک وارد شود معمولاً ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام است [۴۰]. وجود مقادیر بیش از این مقدار در شبکه کلسیت نشان‌دهنده تأثیر کم فرآیندهای دیازنتیکی و به ارث رسیدن مقداری از این استرانسیوم از کانی اولیه آراگونیتی به کلسیت است. به‌طور کلی کانی‌شناسی اولیه می‌تواند به‌عنوان یک فاکتور کنترل‌کننده Sr و Mn در رسوبات باشد به‌طوری‌که در آراگونیت معمولاً میزان Sr زیاد و میزان Mn اندک است [۴۲].

ارزیابی نتایج حاصل از بررسی‌های آهک‌های سازند دالان بیان‌گر آن است که مقادیر Sr بین ۳۶۸ تا ۲۴۰۸ پی‌پی‌ام (میانگین ۱۳۸۸ پی‌پی‌ام) در تغییر است. میزان زیاد استرانسیوم در این کربنات‌ها می‌تواند به‌دلیل ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی این کربنات‌ها باشد.

#### ۲-۱. سدیم (Na)

آراگونیت غیربیوتیک دارای سدیم بیش‌تری (حدود ۲۷۰۰ پی‌پی‌ام) نسبت به کلسیت غیربیوتیک (حدود ۲۷۰ پی‌پی‌ام) است [۱]، [۴۰]. مقادیر Na در سنگ‌آهک‌های آراگونیتی غیربیوتیک حاره‌ای عهد حاضر بین ۱۵۰۰ تا ۲۷۰۰ پی‌پی‌ام (میانگین ۲۵۰۰ پی‌پی‌ام) در تغییر است، در حالی‌که در کلسیت‌های کم‌مینزیم غیر بیوتیک نواحی معتدل تمرکز

1. Bulk carbonate

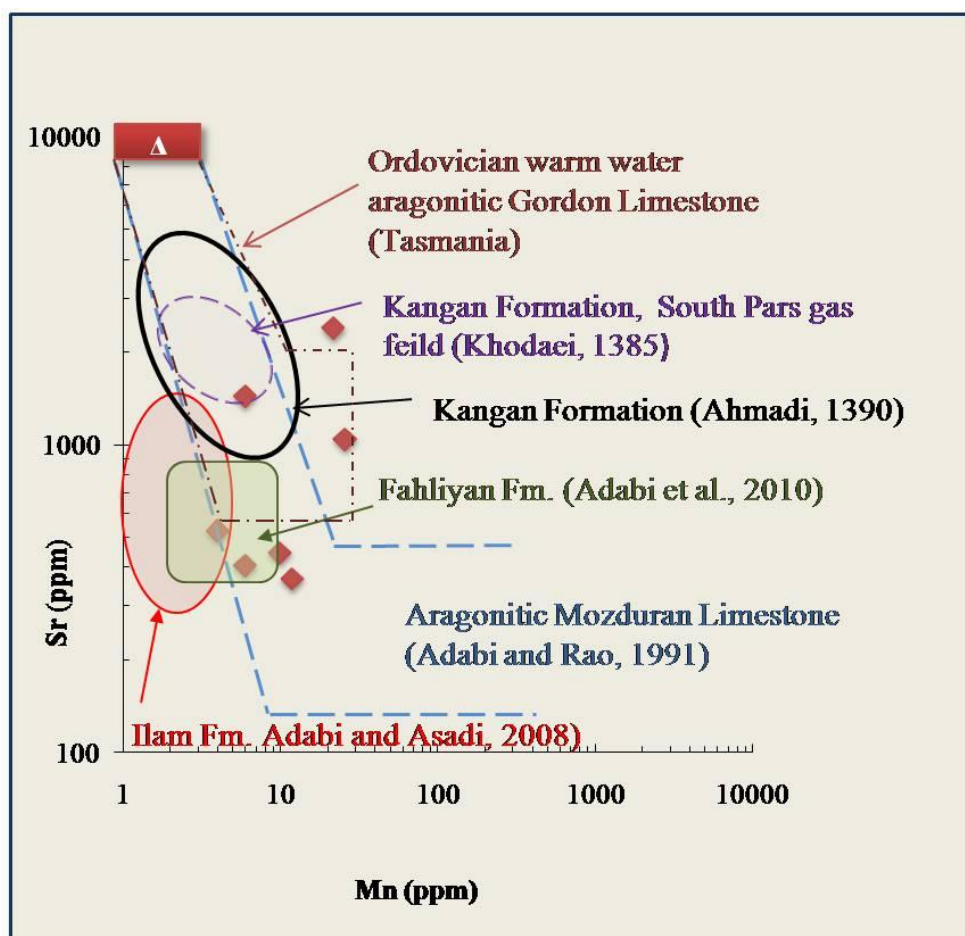
Na حدود ۲۷۰ پی‌پی‌ام است [۴۳]، [۳۷]، [۳۸]. تمرکز Na در رسوبات کربناته به درجهٔ شوری، تفریق بیولوژیکی، اثرات جنبشی، ترکیب کانی‌شناسی و عمق آب بستگی دارد [۴۱]، [۳۸]. مقدار Na با افزایش درصد آراگونیت، شوری و عمق آب افزایش می‌یابد. Na ضریب توزیع<sup>۱</sup> کم‌تر از یک دارد و در آب‌های متئوریک دارای تمرکز کمی است از این رو، در سنگ‌های کربناته‌ای که تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنز متئوریک قرار می‌گیرند مقادیر سدیم اندک است [۱]. مقادیر Na در نمونه‌های آهکی سازند دالان بین ۶۴۸ تا ۳۴۵۰ پی‌پی‌ام (میانگین ۲۰۴۹ پی‌پی‌ام) است. میزان زیاد Na در کربنات‌های سازند دالان به زیاد بودن شوری محیط قدیمه و کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی نسبت داده می‌شود.

### ۳-۱. منگنز (Mn)

مقادیر Mn در سنگ‌های آهکی سازند دالان بین ۴ تا ۲۶ پی‌پی‌ام (میانگین ۱۵ پی‌پی‌ام) در تغییر است. کربنات‌های آراگونیتی واقع در دریا‌های گرم و کم‌عمق دارای Mn اندکی (کم‌تر از ۲۰ پی‌پی‌ام) هستند، در حالی که مقدار Mn در نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر بیش‌تر از ۳۰۰ پی‌پی‌ام است [۳۸]. مقادیر منگنز با افزایش تأثیر دیاژنز متئوریک افزایش می‌یابد [۴۴]، [۴۵]، زیرا ضریب توزیع Mn حدود ۱۵ است و در آب‌های متئوریک تمرکز بسیار زیادی دارد [۴۶]. بنابراین فراوانی بالای Mn را در نمونه‌های کربناته می‌توان به دیاژنز متئوریک نسبت داد. افزایش سرعت رسوب‌گذاری [۴۷]، [۴۸]، شرایط اکسیدان [۴۶]، عدم دیاژنز متئوریک و وجود ترکیب کانی‌شناسی آراگونیتی [۳۱]، [۴۲] موجب کاهش Mn می‌شود. دامنه کم تغییرات Mn می‌تواند حاکی از کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی باشد [۱]. در شکل ۶ مقادیر Mn در برابر مقادیر Sr ترسیم شده است. و در شکل ۷ مقادیر Mn در برابر مقادیر Na ترسیم شده است.

### ۴-۱. آهن (Fe)

مقادیر آهن در سنگ آهک‌های سازند دالان بین ۶۹ تا ۷۰۵ پی‌پی‌ام (میانگین ۳۸۷ پی‌پی‌ام) در تغییر است. اطلاعات بسیار کمی در مورد مقدار آهن موجود در کربنات‌های دریایی کم‌عمق آراگونیتی آب‌های گرم عهد حاضر موجود است. در شکل ۸ مقادیر  $Mn^{2+}$  در برابر  $Fe^{2+}$  برای نمونه‌های آهکی سازند دالان ترسیم شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود ارتباط این دو عنصر به‌صورت روند خطی افزایشی با شیب مثبت نشان داده می‌شود، این بدین معنی است که با افزایش تأثیر دیاژنز متئوریک مقادیر  $Fe^{2+}$  با افزایش مقادیر  $Mn^{2+}$  افزایش می‌یابد. دیاژنز متئوریک و شرایط احیایی باعث افزایش مقدار آهن و منگنز می‌شود. دگرسانی دیاژنتیکی باعث افزایش مقادیر  $Fe^{2+}$  و  $Mn^{2+}$  در کلسیت می‌شود، زیرا این عناصر در شرایط احیایی قابل حل هستند [۵۱].

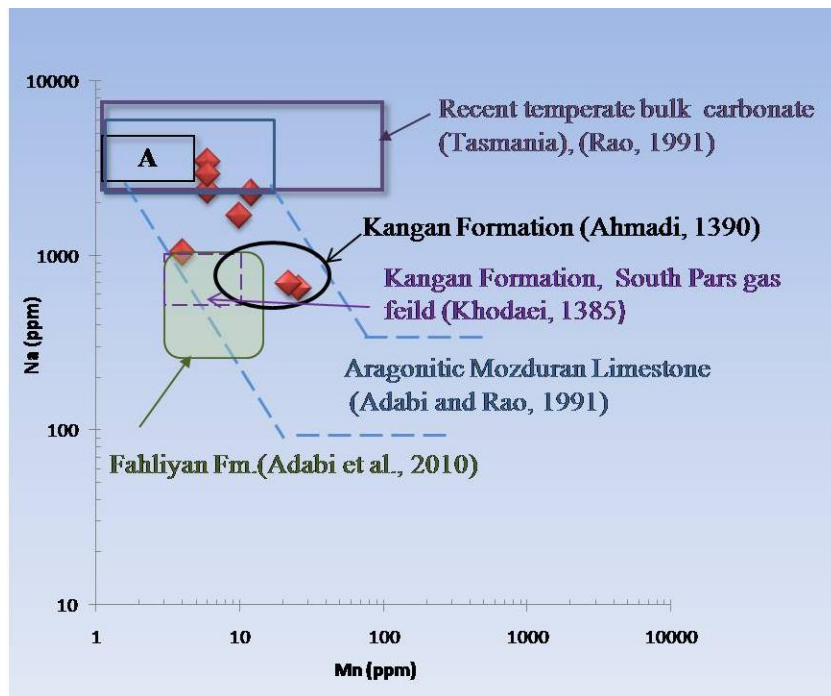


شکل ۶. تغییرات مقادیر Mn در برابر مقادیر Sr در نمونه‌های آهکی سازند دالان. محدوده سازند دالان با محدوده سنگ‌های آهکی مزدوران مربوط به بخش کم عمق حوضه [۳۱] و سنگ آهک‌های گوردون تاسمانیا [۴۹]، نمونه‌های آهکی سازند کنگان در میدان گازی پارس جنوبی [۳]، نمونه‌های آهکی سازند کنگان [۴]، کربنات‌های سازند ایلام [۲۰] و کربنات‌های سازند فهلیان [۵۰] مقایسه شده است. نمونه‌های آهکی سازند دالان در محدوده نمونه‌های آراگونیتی مزدوران و سنگ‌آهک‌های گوردون تاسمانیا و کربنات‌های سازند کنگان، ایلام و فهلیان با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی قرار گرفته است. کاهش مقادیر Mn در نمونه‌های آهکی سازند دالان در ارتباط با بسته بودن سیستم دیاژنتیکی و آراگونیتی بودن است

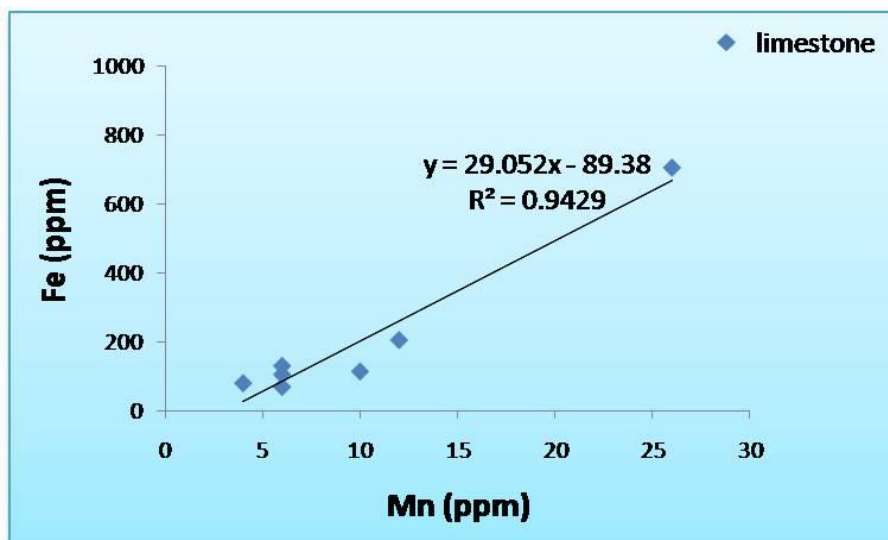
۵-۱. نسبت استرانسیوم به منگنز (Sr/Mn) در برابر منگنز (Mn)

بترست [۵۲] در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد کرده است که دیاژنز در سنگ‌های آهکی فرآیندی انحلال مرطوب<sup>۱</sup> و ته‌نشست مجدد است. در اثر انحلال آراگونیت و کلسیت دارای منیزیم زیاد نیمه‌پایدار و تبدیل آن‌ها به کلسیت کم منیزیم پایدار، مقادیر Sr کاهش یافته و بالعکس تمرکز Mn افزایش خواهد یافت. این فرآیند در سطح زمین و با نفوذ آب‌های متشوریکی به مقدار زیادی تسهیل می‌شود [۴۵]، [۵۳] و باعث کم شدن نسبت Sr/Mn می‌شود [۱]. بنابراین از ترسیم نسبت Sr/Mn در مقابل Mn می‌توان به‌عنوان معیاری مفید برای تخمین میزان انحلال آهک‌ها استفاده کرد [۴۹]. در این نمودار مقادیر نسبتاً زیاد Sr/Mn حاکی از سیستم دیاژنتیکی بسته<sup>۲</sup> برای کربنات‌های سازند دالان است (شکل ۹).

1. Wet dissolution  
2. Closed diagenetic system



شکل ۷. تغییرات مقادیر Mn در برابر مقادیر Na در نمونه‌های آهکی سازند دالان. در این شکل محدوده سازند دالان با محدوده‌های ارائه شده برای سنگ‌های آهکی مزدوران مربوط به بخش کم عمق حوضه [۳۱] و سنگ آهک‌های گوردون تاسمانیا [۴۹]، نمونه‌های آهکی سازند کنگان در میدان گازی پارس جنوبی [۳]، کربنات‌های سازند فهلیان [۵۰] و نمونه‌های آهکی سازند کنگان [۴] مقایسه شده است. نمونه‌های آهکی سازند دالان در محدوده نمونه‌های آراگونیتی مزدوران، سنگ آهک‌های گوردون تاسمانیا و نمونه‌های آهکی سازند کنگان و فهلیان با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی قرار گرفته است. کم بودن مقادیر Mn در کربنات‌های سازند دالان در ارتباط با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی و نیز بسته بودن سیستم دیاژنتیکی است



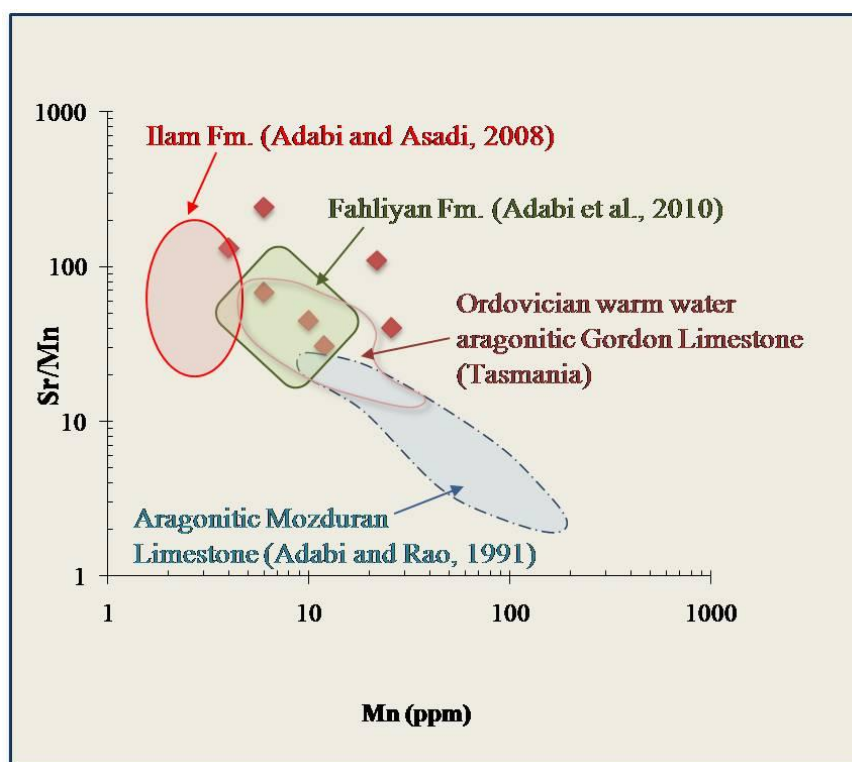
شکل ۸. ترسیم مقادیر Mn در برابر Fe برای نمونه‌های آهکی سازند دالان. چنان‌که مشاهده می‌شود ارتباط این دو عنصر به صورت روند خطی افزایش با شیب مثبت نشان داده می‌شود. این بدین معنی است که با افزایش تأثیر دیاژنز مقادیر آهن و منگنز نیز افزایش می‌یابد

## ۶-۱. نسبت استرانسیوم به کلسیم (Sr/Ca) در برابر منگنز (Mn)

از روی نسبت Sr/Ca در برابر Mn، روند دیاژنز در سیستم‌های بسته و باز قابل تعیین است. روندهای دیاژنتیکی برای آراگونیت (Ar)، کلسیت با منیزیم زیاد (HMC) و کلسیت کم‌منیزیم (LMC) که به وسیله آب‌های متئوریکی تثبیت شده‌اند در شکل ۱۰ نشان داده شده است [۵۴]. برخی محققان عقیده دارند که نسبت Sr/Ca و Mg/Ca در کربنات‌های بیوژنتیکی با درجه حرارت قدیمه نیز انطباق دارد [۵۵]، [۵۶].

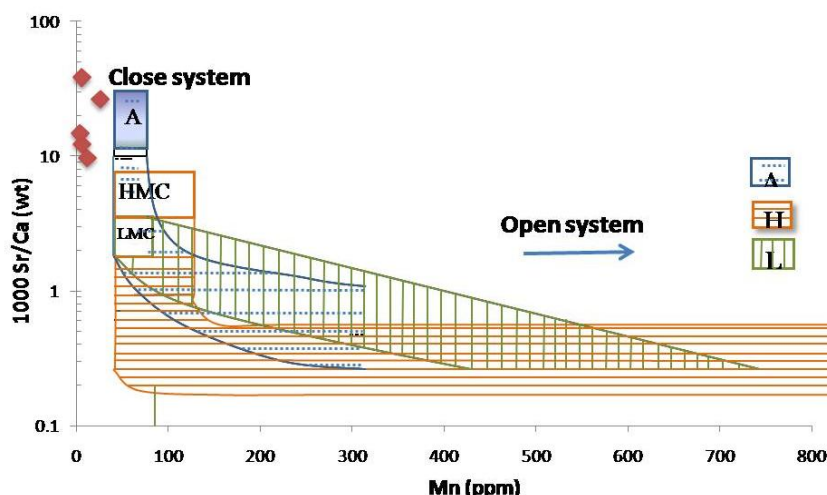
در سیستم دیاژنزی باز با افزایش تبادلات آب به سنگ<sup>۱</sup> میزان Sr/Ca کاهش یافته و در نتیجه میزان Sr/Ca فازهای دیاژنزی کم‌تر از ترکیبات اولیه خواهد بود. در حالی که در سیستم‌های دیاژنتیکی بسته تا نیمه‌بسته<sup>۲</sup> فعل و انفعالات آب و سنگ کم است از این رو، نسبت Sr/Ca فازهای دیاژنزی تغییرات محسوسی نسبت به ترکیبات اولیه نخواهد داشت. به‌طور کلی کاهش منگنز در کلسیت دیاژنتیکی نشان‌گر بسته بودن سیستم دیاژنتیکی است [۵۷]، و افزایش منگنز نشان‌دهنده باز بودن سیستم دیاژنتیکی و تأثیر آب‌های احیاکننده است. به‌طور کلی از روی تمرکز عناصر فرعی در کربنات‌ها می‌توان به درجه دگرسانی دیاژنتیکی آن‌ها پی برد.

در شکل ۱۰ مقادیر Sr/Ca در مقابل مقادیر Mn برای نمونه‌های آهکی سازند دالان ترسیم شده است. در نمونه‌های آهکی سازند دالان به دلیل زیاد بودن مقادیر Sr/Ca و کم بودن مقادیر منگنز، چنین به نظر می‌رسد که این نمونه‌ها تحت تأثیر دیاژنز متئوریک در یک سیستم دیاژنتیکی بسته قرار گرفته‌اند.



شکل ۹. تغییرات Mn در برابر Sr/Mn در نمونه‌های آهکی سازند دالان. در این شکل محدوده سازند دالان با محدوده‌های ارائه شده برای سنگ‌های آهکی مزدوران مربوط به بخش کم عمق حوضه [۳۱] آهک‌های آراگونیتی گوردون تاسمانیا [۴۵] و کربنات‌های سازند فهلیان و ایلام مقایسه شده است. مقادیر بالای Sr/Mn در مقابل Mn حاکی از سیستم دیاژنتیکی بسته است

1. Water/rock interaction
2. closed and semi-closed diagenetic system



شکل ۱۰. تغییرات مقادیر Mn در مقابل Sr/Ca در نمونه‌های آهکی سازند دالان. با توجه به محدوده‌های ترسیم شده به وسیله براند و وایزر [۵۴]، برای روند دیاژنتیک آراگونیت (A)، کلسیت پرمینیزیم (HMC) و کلسیت کم منیزیم (LMC)، نمونه‌های سازند دالان عمدتاً تحت تأثیر دیاژنز متئوریک در یک سیستم دیاژنتیکی بسته قرار گرفته‌اند

## ۲. مطالعات ژئوشیمیایی دولومیت‌ها

با تعیین مقادیر عناصر اصلی (Ca, Mg) و فرعی (Na, Sr, Fe, Mn) و ترکیب ایزوتوپی در دولومیت‌ها می‌توان اطلاعات باارزشی در خصوص منشأ دولومیت، زمان تشکیل، ترکیب سیالات دولومیت ساز، مدل دولومیتی شدن و روند دیاژنز به دست آورد [۵۸]، [۵۹].

### ۱-۲. عناصر اصلی

تمرکز کلسیم و منیزیم در دولومیت‌ها به نسبت Mg/Ca در سیالات بستگی دارد [۶۰]. در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان مقدار کلسیم به‌طور میانگین بین ۳۰ درصد و مقدار منیزیم بین ۶/۳۲ تا ۸/۴۵ (به‌طور میانگین ۷/۴ درصد) در تغییر است (جدول ۳). در سنگ‌های آهکی و دولومیتی تغییرات کلسیم و منیزیم رابطه معکوس دارد و این به دلیل جانشینی بخشی از کلسیم به وسیله منیزیم در کربنات‌های دولومیتی است.

### ۲-۲. عناصر فرعی

۱-۲-۲. سدیم (Na): مقدار سدیم در نمونه‌های دولومیتی توالی بررسی شده بین ۶۴۰ تا ۳۵۳۲ پی‌پی‌ام در تغییر است (جدول ۳). تغییرات سدیم در دولومیت‌های دریایی با شوری نرمال بین ۱۱۰ تا ۱۶۰ پی‌پی‌ام است [۴۰]. ترسیم مقادیر Na در مقابل Mg حاکی از افزایش سدیم با افزایش منیزیم است (شکل ۱۲). مقادیر زیاد سدیم در نمونه‌های سازند دالان در ارتباط با شوری بالای سیالات دولومیت ساز بوده است.

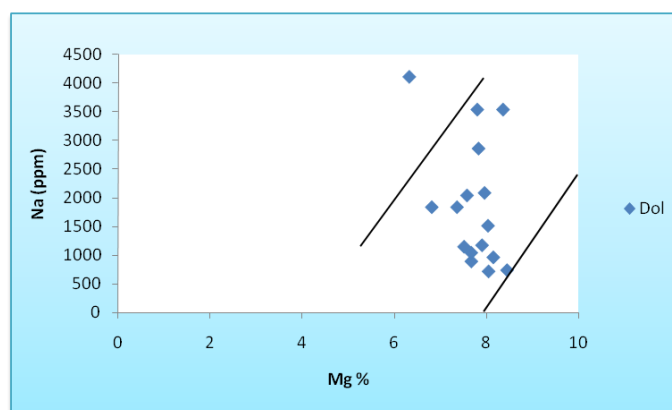
۲-۲-۲. استرانسیوم (Sr): مقدار استرانسیوم در نمونه‌های دولومیتی توالی بررسی شده بین ۲۰۸ تا ۲۸۸۸ پی‌پی‌ام است (جدول ۳). ترسیم مقادیر Mg در مقابل Sr نشان می‌دهد که با افزایش مقادیر منیزیم، مقدار استرانسیوم کاهش می‌یابد (شکل ۱۳). Sr به دلیل تشابه یونی با Ca، معمولاً به جای Ca در شبکه دولومیت‌ها می‌نشیند و از آن‌جاکه مقدار Ca در دولومیت‌ها نصف کلسیت است، از این رو، مقدار Sr در دولومیت‌ها نصف کلسیت است [۱]. زیاد بودن

مقدار استرانسیوم در نمونه‌های دولومیت سازند دالان احتمالاً به دلیل غیراستوکیومتری یا غیرایده‌آل بودن این دولومیت‌هاست زیرا براساس بررسی‌های انجام شده مقدار استرانسیوم در دولومیت‌ها با افزایش استوکیومتری بودن دولومیت‌ها کاهش می‌یابد [۶۱]، و یا به دلیل ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی آهک‌هایی است که بعداً دولومیتی شده‌اند [۱۸].

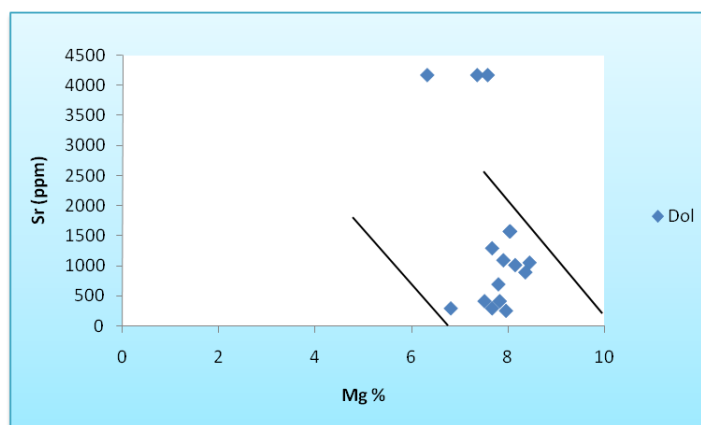
جدول ۳. تغییرات عناصر اصلی و فرعی به همراه مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان در چاه شماره X

No.	Formation	Depth (m)	Mg (%)	Ca (%)	Sr (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
۹	Dalan	۳۱۰۸	۶,۸۱	۲۱,۴۲	۲۸۸	۱۸۳۸	۷۳۹	۵۹
۱۰	Dalan	۳۳۰۶	۷,۳۶	۲۹,۲	-	۱۸۳۸	۱۵۵	۱۴
۱۱	Dalan	۳۱۷۲	۸,۰۵	۲۹,۷۰	۴۰۸	۷۲۳	۲۳۴	۲۴
۱۲	Dalan	۳۲۹۲	۶,۳۲	۳۴,۳۰	۶۸۸	-	۲۶۸	۱۶
۱۳	Dalan	۲۹۹۰	۸,۰۷	۳۴,۳۰	۲۸۸	۱۵۱۶	۵۳۳	۲۶
۱۴	Dalan	۳۰۱۹	۷,۶۰	۲۸,۰۷	۱۰۸۸	۲۰۴۲	۶۰۳	۲۴
۱۵	Dalan	۳۱۵۹	۷,۵۱	۲۶,۵۰	۱۲۸۸	۱۱۵۲	۱۷۸	۲۶
۱۶	Dalan	۲۹۶۲	۷,۸۰	۲۳,۷۱	۲۴۸	۳۵۳۲	۱۲۴۴	۳۵
۱۷	Dalan	۳۱۴۲	-	-	۲۰۸	۳۲۸۷	۱۲۹۹	۲
۱۸	Dalan	۳۱۶۶	۷,۷۰	۲۱,۶۰	۴۰۸	۸۹۷	۳۵۰	۲۸
۱۹	Dalan	۳۰۲۲	۷,۹۱	۲۵,۴۴	۱۰۴۸	۱۱۷۷	۴۸۶	۳۹
۲۰	Dalan	۳۰۸۵	۷,۷۰	۲۳,۷۰	۱۰۰۸	۱۰۴۷	۸۴۱	۵۳
۲۱	Dalan	۳۱۰۲	۸	۳۵,۴۴	۸۸۸	۲۰۸۶	۴۵۶	۳۹
۲۲	Dalan	۳۱۵۵	۷,۸۳	۲۵,۰۲	۱۰۴۸	۲۸۵۶	۵۶۹	۳۷
۲۳	Dalan	۳۰۲۸	۸,۴۵	۳۱,۹۱	۳۲۸	۷۴۵	۲۷۳	۶
۲۴	Dalan	۳۰۴۳	۸,۱۵	۲۶	۲۸۸	۹۶۷	۹۰۹	۵۱
۲۵	Dalan	۳۰۸۸	۸,۳۶	۳۰,۸۰	۵۶۸	۳۵۳۲	۳۳۶	۲۸
۲۶	Dalan	۳۱۸۳	-	۳۹,۰۴	-	۶۴۰	۹۲	۶
۲۷	Dalan	۳۲۴۰	۷,۲۷	۳۲,۳۰	۲۲۸۸	۳۲۱۰	۸۲	۱۴
۲۸	Dalan	۳۲۱۴	۸,۲۶	۳۴,۷۱	۳۲۸	۴۷۸۷	۱۰۱	۱۸
۲۹	Dalan	۳۰۰۴	۸,۰۵	۳۲,۲۹	۱۵۶۸	۱۵۹۱	۴۶۱	۲۸
۳۰	Dalan	۳۱۱۷	۸	۲۷,۹۰	۳۲۸	۲۲۳۵	۴۵۶	۲۶
۳۱	Dalan	۳۰۹۹	۷,۹۰	۲۵,۵۴	۳۲۸	۱۴۶۳	۳۴۳۵	۵۵
۳۲	Dalan	۳۱۳۷	۷,۹۶	۲۶,۴۴	۴۰۸	۱۰۱۲	۶۰۳	۳۷
۳۳	Dalan	۳۲۹۶	۵,۹۹	-	۱۴۸۸	۱۶۲۳	۹۸	۱۰
۳۴	Dalan	۳۰۳۸	۷,۷۱	۲۴,۹۰	۶۸۸	۳۱۹۲	۵۷۶	۲۲
۳۵	Dalan	۲۹۵۸	۷,۶۶	۲۲,۴۰	۳۲۸	۳۲۲۹	۱۱۷۲	۳۹
۳۶	Dalan	۳۲۲۰	۵,۵۱	۳۳,۴۰	۱۸۴۸	۹۹۰	۸۰	۸
۳۷	Dalan	۳۱۸۸	۷,۸۸	۲۳,۴۰	۴۰۸	۳۴۸۵	۴۹۷	۴۷
۳۸	Dalan	۳۱۳۰	۷,۱۶	۲۵,۸۰	۲۸۸۸	۵۳۵	۲۴۱	۱۶
۳۹	Dalan	۳۱۲۲	۷,۷۳	۲۲,۶۴	۷۶۸	۱۸۳۰	۴۱۵	۲۶

	Formation	Mg (%)	Ca (%)	Sr (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
Max	Dalan	۸,۴۵	۳۹,۰۴	۲۸۸۸	۴۷۸۷	۳۴۳۵	۵۹
Min	Dalan	۵,۵۱	۲۱,۴۲	۲۰۸	۵۳۵	۸۰	۲
Mean	Dalan	۶,۹۸	۳۰,۲۴	۱۵۴۸	۲۶۶۱	۱۷۵۷	۳۰,۵

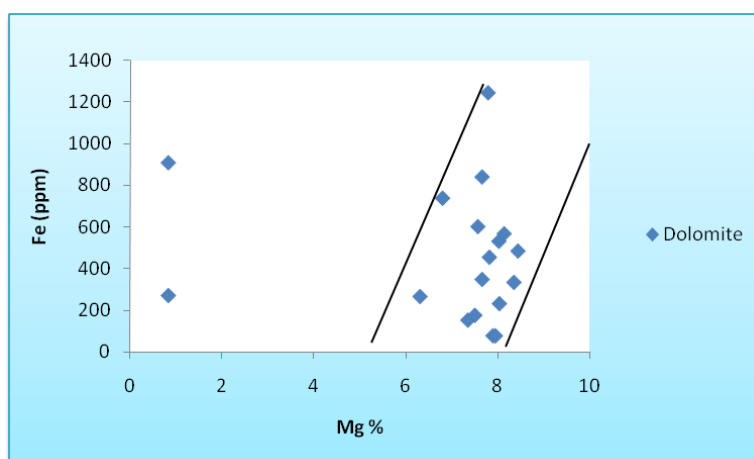


شکل ۱۲. ترسیم مقادیر Mg در مقابل Na در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان. روند افزایشی و ارتباط مثبت این دو عنصر قابل توجه است. زیاد بودن میزان سدیم در این نمونه‌ها احتمالاً به دلیل شوری زیاد سیالات دولومیت‌ساز و نیز تأثیر کم دیاژنز غیردریایی روی این نمونه‌ها است

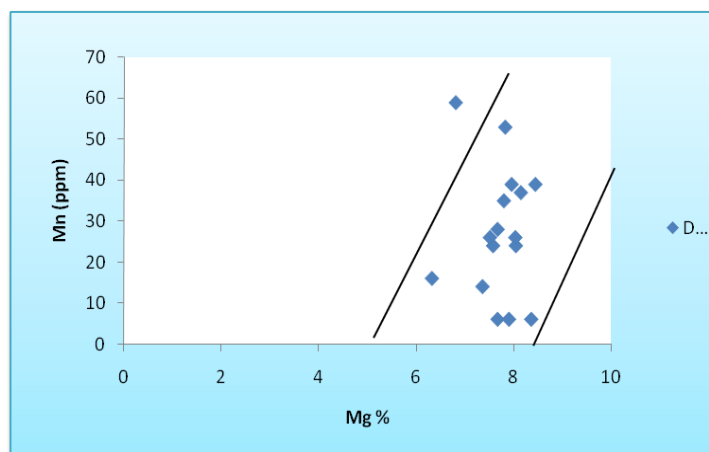


شکل ۱۳. ترسیم مقادیر Mg در مقابل Sr در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان. به دلیل این که استرانسیوم در شبکه بلوری دولومیت به جای کلسیم جای‌گزين می‌شود، مقادیر Sr با افزایش مقدار Mg کاهش می‌یابد و ارتباط این دو عنصر به صورت روند منفی است

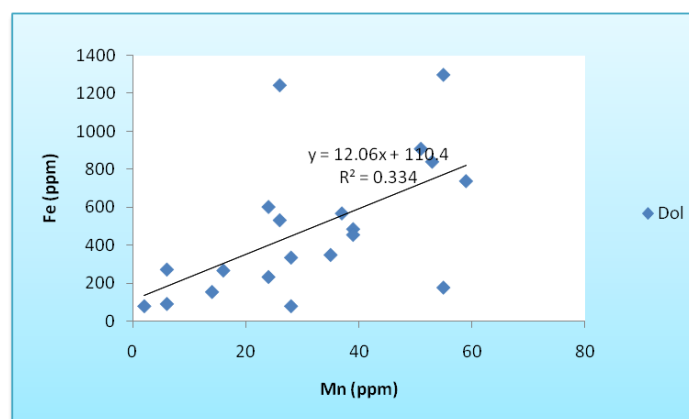
۲-۳. آهن و منگنز: مقادیر آهن در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان بین ۸۰ تا ۳۴۳۵ پی‌پی‌ام و مقادیر منگنز بین ۲ تا ۵۹ پی‌پی‌ام در تغییر است (جدول ۳). تمرکز آهن و منگنز به شرایط احیایی حاکم بر محیط بستگی دارد به طوری که مقادیر آهن و منیزیم در دولومیت‌های اولیه نزدیک سطح به دلیل شرایط اکسیداسیونی نسبت به دولومیت‌های تدفینی که در شرایط احیایی تشکیل می‌شوند کم‌تر است [۱۹]، [۱۸]، [۱۶] شکل (۱۴). ترسیم مقادیر Mg در مقابل Mn در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان روندی افزایشی با شیب مثبت را نشان می‌دهد (شکل ۱۵). هم‌چنین ترسیم مقادیر Mn در برابر Fe روندی خطی با شیب مثبت را نشان می‌دهد (شکل ۱۶). این روند افزایشی حاکی از دگرسانی دولومیت‌ها به وسیله سیالات دیاژنتیکی است.



شکل ۱۴. ترسیم مقادیر Mg در مقابل Fe در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان. با افزایش مقادیر منیزیم مقادیر آهن نیز افزایش می‌یابد که این امر به دلیل جانشینی یون‌های آهن به جای منیزیم در شبکه بلوری دولومیت است



شکل ۱۵. ترسیم مقادیر Mg در مقابل Mn در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان. کم بودن مقدار منگنز در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان نشان‌دهنده شرایط اکسیدان در محیط تشکیل دولومیت‌ها است



شکل ۱۶. ترسیم مقادیر Mn در مقابل Fe در نمونه‌های دولومیتی سازند دالان. چنان‌که مشاهده می‌شود ارتباط این دو عنصر به صورت روند خطی افزایشی با شیب مثبت نشان داده می‌شود. این بدین معنی است که با افزایش دگرسانی به وسیله سیالات دیاژنتیکی، مقادیر Fe و Mn افزایش می‌یابد

## نتیجه‌گیری

سازند دالان به سن پرمین در چاه شماره X به ضخامت ۳۷۰ متر دارای لیتولوژی غالب آهک و دولومیت است. با بررسی مقاطع نازک تعداد ۱۸ ریزرخساره مربوط به زیرمحیط‌های پهنه جزر و مدی، لاگون، پشته کربناته و دریای باز شناسایی شده است که نشان می‌دهد این سازند در یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ هموکلینال نهشته شده است. رخساره‌های دولومادستون با فابریک فنسترال، بایندهستون استروماتولیتی با فابریک فنسترال، پلوئیدال اینتراکلت مادستون/وکستون، دولومادستون با بلورها و قالب‌های پراکنده انیدریت، دولومادستون با ندول‌های انیدریت، انیدریت متبلور (لایه‌ای) در کمر بند رخساره‌ای پهنه جزر و مدی تشکیل شده‌اند. رخساره‌های مادستون بایوکلاست‌دار، مادستون/وکستون بایوکلاستی دارای آشفستگی زیستی، آنکوئید پکستون، گرینستون جلبکی، بایوکلاست پکستون، پلوئیدال وکستون/پکستون در کمر بند رخساره‌ای لاگون تشکیل شده‌اند. رخساره‌های پلوئیدال انیدریت، پلوئیدال انیدریت اینتراکلت پکستون، اینتراکلت بایوکلاست گرینستون در کمر بند رخساره‌ای پشته کربناته نهشته شده‌اند. رخساره‌های بایوکلاست پکستون/وکستون و بایوکلاست پکستون همراه با اینتراکلت‌های میکریتی در بخش عمیق‌تر دریا و قسمت‌های زیر پشته کربناته تشکیل شده‌اند.

بر اساس پژوهش‌های پتروگرافی با توجه به وجود تخلخل قالبی زیاد، فراوانی بالای دوکفه‌ای‌ها، دولومیتی شدن انتخابی، وجود اسپالد انیدریت، وجود سیمان ایزوپک دریایی و انحلال گسترده ترکیب کانی‌شناسی اولیه این سازندها آراگونیتی تعیین شده است.

نتایج حاصل از بررسی عناصر اصلی و فرعی و نسبت این عناصر در نمونه‌های آهکی سازند دالان، نشان‌دهنده ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی در یک آب و هوای حاره‌ای و عمق کم ته‌نشست است. مقایسه نمونه‌های آهکی با محدوده‌های ارائه شده برای آراگونیت‌های گوردن تاسمانیا، آهک‌های آراگونیتی مزدوران و محدوده‌های ترسیم شده برای سازندهای فهلپان و ایلام و کنگان و با توجه به قرارگیری نمونه‌ها در این محدوده‌ها تأییدی بر کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی است. بررسی تغییرات مقادیر Mn در مقابل Sr/Ca در نمونه‌های آهکی سازند دالان با توجه به محدوده‌های ترسیم شده براند و وایزر (۱۹۸۰)، برای روند دیاژنتیک آراگونیت (Ar)، کلسیت پرمینیزیم (HMC) و کلسیت کم منیزیم (LMC)، بیان‌گر این است که نمونه‌های میکریتی سازند دالان تحت تأثیر دیاژنز متئوریک در یک سیستم دیاژنتیکی بسته قرار گرفته‌اند. زیاد بودن مقادیر استرانسیم و سدیم، کم بودن مقادیر منگنز، مقادیر زیاد Sr/Mn در نمونه‌های آهکی تأییدی بر محیط بسته دیاژنزی و کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی است.

بررسی ژئوشیمیایی دولومیت‌های سازند دالان نشان می‌دهد که مقادیر Fe, Mn, Mg در نمونه‌های دولومیتی بیش‌تر از نمونه‌های آهکی است، در حالی‌که مقادیر Ca, Sr, Na در نمونه‌های آهکی بیش‌تر از نمونه‌های دولومیتی است که دلیل آن جانشینی ترجیحی عناصر آهن و منگنز به جای منیزیم در شبکه بلوری دولومیت و جانشینی ترجیحی عناصر سدیم و استرانسیم به جای کلسیم در شبکه بلوری آراگونیت است. از این روش می‌توان برای تفکیک نمونه‌های آهکی از دولومیتی استفاده کرد.

به‌طور کلی تعیین کانی‌شناسی اولیه از لحاظ تعیین کیفیت مخزنی و تأثیرات دیاژنتیکی اهمیت بسیار دارد. از لحاظ تأثیر بر کیفیت مخزنی و پدیده های دیاژنتیکی با ایجاد تخلخل ثانویه سبب بهبود کیفیت مخزنی می‌شود. زیرا زمانی که کانی‌شناسی اولیه سازند کلسیت باشد در این حالت تخلخل ثانویه وجود ندارد و تخلخل اولیه است.

### منابع

۱. آدابی م.ح.، "ژئوشیمی رسوبی"، انتشارات آرین زمین، چاپ دوم (۱۳۹۰) ۵۰۴.
۲. مطیعی ه.، "زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس ۱ و ۲"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۴) ۱۰۰۹.
۳. خدایی نواب، "ژئوشیمی و دیاژنز سازند کنگان در میدان پارس جنوبی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۵).
۴. احمدی ناهید، "محیط رسوبی، دیاژنز و ژئوشیمی سازندهای دالان بالایی و کنگان در میدان گازی لاوان"، حوضه خلیج فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۹۰).
5. Konyuhov A.I., Maleki B., "The Persian Gulf Basin: Geological history, sedimentary formations, and petroleum potential", *Lithology and Mineralogy Resources, Russia*, 4 (2006) 334-361.
6. Kashfi M.S., "Greater Persian Gulf Permian-Triassic stratigraphic nomenclature requires study", *Oil Gas Journal, Tulsa*, 6 (2000) 36-44.
7. Aali J., Rahimpour-Bonaband H., Kamali M.R., "Geochemistry and origin of the world largest gas field from Persian Gulf, Iran", *Journal of Petroleum of Science and Engineering*, 50 (2006) 161-175.
8. Kelemme H.D., "Oil and gas maps and sections of the Arabian-Iranian basin", U.S. Geological Survey Open-File Report: 84/0353 (1984).
9. Szabo F., Kheradpir A., "Permian and Triassic Stratigraphy, Zagros Basin, southwest Iran", *Journal of Petroleum Geology*, 1 (1978) 57-82.
10. Marro E., Virgone A., "The Permian-Triassic boundary characterization in Persian Gulf, Iran", Unpublished Report of TOTAL (1999).
11. Rouyer S., Masse P., "Sedimentology and bio-stratigraphy of two Permo-Triassic sections (Kangan/Dalan Formations) Zagros, Iran", Unpublished Report of TOTAL (2002).
12. Dickson J.A.D., "A modified staining technique for carbonate in thin section, *Nature* (1965) 205: 587.
13. Dunham R.J., "Classification of carbonate rocks according to depositional texture", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1 (1962) 108-121.
14. Flugel E., "Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application", Springer Verlag, New York (2010) 996.

15. Gaumet F., Van Buchem F.S., Baghbani D., Keyvani F., Ashrafzadeh R., Bahrami H., and Assilian H., "Sequence stratigraphy of the Jurassic and Lower Cretaceous in the Dezful Embayment (Southwest Iran)", NIOC-IFP joint research project, Geological Report, 2139 (2005) 79.
16. Tucker M.E., Wright V.P., "Carbonate Sedimentology. Oxford, Blackwell Scientific Publications (1990) 404.
17. Ahmad A.H.M., Bhat G.M., Azim Khan M.H., "Depositional environments and diagenesis of the Kuldhar and Keera Dome carbonates (Late Bathonian-Early Callovian) of Western India", *Journal of Asian Earth Sciences*, 27 (2006) 765-778.
18. Adabi M.H., "Multistage dolomitization of Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet-Dagh Basin, N.E.Iran", *Carbonates and Evaporites*, 24 (2009) 16-32.
19. Warren J.K., "Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations", *Earth Science Reviews*, 52 (2000) 1-81.
20. Adabi M.H., Asadi E., "Mehmandosti. Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-e- Rashid area, Izeh", *S.W. Iran: Journal of Asian Earth Sciences*, 33 (2008) 267-277.
21. Sibley D.F., Gregg J.M., "Classification of dolomite rock texture", *Journal of Sedimentary Petrology*, 57(1987) 967-975.
22. Wilson J.L., "Carbonate Facies in Geologic History", New York, Springer-Verlag (1975) 471.
23. Asadi E., Adabi M.H., "Application of geochemical data as evidence of water-rock interaction in the Sarvak Formation, Izeh Zone, Zargros, Iran", *Procedia Earth and Planetary Science*, 7 (2013) 31-35.
24. Elrick M., Read J., "Cyclic ramp to basin carbonate deposits, Lower Mississippian", Wyoming and Montana, *Journal of Sedimentary Petrology*, 61 (1991) 1194-1224.
25. Vaziri-Moghaddam H.M., Kimiagari, Taheri A., "Depositional environment and sequence stratigraphy of the Oligocene-Miocene Asmari Formation in SW Iran", *Lali Area: Facies*, 52 (2006) 41-51.
26. Rahimpour-Bonab H., Asadi-Eskandar A., Sonei R., "Effect of Permian-Triassic boundary on reservoir characteristics of the South Pars gas field, Persian Gulf", *Journal of Geology*, 44 (2009) 341-364.

27. Heydari E., Arzani N., Hassanzadeh J., "Reply to comment on "Mantle Plume: the invisible serial killer-Application to the Permian-Triassic boundary mass extinction", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (2009) 147-162.
28. Burchette T.P., Wright V.P., "Carbonate ramp depositional systems", *Sedimentary Geology*, 79 (1992) 3-57.
29. Martini R., Cirilli S., Saurer C., Abate B., Ferruzza G., Lo Cicero G., "Depositional environment and biofacies characterization of the Triassic (Carnian to Rhaetian) carbonate succession of Punta Bassano (Marettimo Island, Sicily)", *Facies*, 53 (2007) 390-400.
30. Ahmad A.H.M., Bhat G.M., Azim Khan M.H., "Depositional environments and diagenesis of the Kuldhar and Keera Dome carbonates (Late Bathonian-Early Callovian) of Western India", *Journal of Asian Earth Science*, 27 (2006) 765-778.
31. Adabi M.H., Rao C.P., "Petrographic and geochemical evidence for original aragonitic mineralogy of Upper Jurassic carbonate (Mozduran Formation) Sarakhs area, Iran", *Sedimentary Geology*, 72 (1991) 253-267.
32. MacNeil A.J., Jones B., "Dolomitization of the Pedro castle Formation (Pliocene), Cayman Brac, British West Indies", *Journal of Sedimentary Geology*, 164 (2003) 219-238.
33. Mackenzie J.A., "Holocene dolomitization of calcium carbonate sediments from the coastal sabkhas, Abu Dhabi", UAE: a stable isotope study: *Journal of Geology*, 89 (1981) 185-198.
34. Rahimpour-Bonab H., Esrafil-Dizaji B., Tavakoli V., "Dolomitization and anhydrite precipitation in Permo-Triassic carbonates at the South Pars Gasfield, offshore Iran: controls on reservoir quality", *Petroleum Geology*, 33 (2010) 1-24.
35. Moore C.H., "Carbonate Reservoirs: Porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework", *Development in Sedimentology*, Amsterdam (Elsevier), 55 (2001) 460.
36. Richter D.K., Neuser R.D., Schreuer J., Gies H., Immenhauser A., "Radial-Fibrous calcites: A new look at an old problem. *Sedimentary Geology*", Doi: 10.1016/j.sedgeo.2011.06.003 (2011) 1-14.
37. Milliman J.D., "Marine Carbonates Recent Sedimentary Carbonates", Part 1, Springer-Verlag, Berlin (1974) 375.
38. Rao C.P., Adabi M.H., "Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania", *Australia, Marine Geology*, 103 (1992) 249-272.

39. Rao C.P., Amini Z.Z., "Faunal relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf carbonates, western Tasmania", *Australia: Carbonates and Evaporites*, 10 (1995) 114-123.
40. Veizer J., "Trace elements and stable isotopes in sedimentary carbonates: In Reeder, R.J., (ed.), *Carbonates: Mineralogy and Chemistry*", *Reviews in Mineralogy*, Blacksburg, 11 (1983) 265-299.
41. Morrison J.O., Brand U., "Geochemistry of Recent marine invertebrates: *Geoscience Canada*, 13 (1986) 237-254.
42. Cantrell D.L., "Cortical fabrics of Upper Jurassic ooid, Arab Formation, Saudi Arabia: Implication for original carbonate mineralogy", *Sedimentary Geology*, 186 (2006) 157-170.
43. Land L.S., Hoops G.K., "Sodium in carbonate sediments and rocks: A possible index to salinity of diagenetic solution", *Journal of Sedimentary Petrology*, 43 (1973) 614-617.
44. Brand U., Veizer J., "Chemical diagenesis of multicomponent carbonate system", II: stable isotopes, *Journal of Sedimentary Petrology*, 51 (1980) 987-997.
45. Rao C.P., "Geochemical characteristics of cool-temperate carbonates", *Tasmania, Australia, Carbonates and Evaporites*, 5 (1990) 209-221.
46. Pingitore N.E., "The behavior of Zn and Mn during carbonate diagenesis theory and application", *Journal of Petroleum Geology*, 48 (1978) 799- 814.
47. Pingitore N.E., Eastman M.P., Sandidge M., Oden K., Freiha B., "The coprecipitation of manganese (II) with calcite", an experimental study: *Marine. Chemistry*, 25 (1988) 107-120.
48. Mucci A., "Manganese uptake during calcite precipitation from seawater: conditions leading to the formation of a pseudokatnahorite: Geochemical at Cosmochemical", *Acta*, 52 (1988) 1859-1868.
49. Rao C.P., "Geochemical differences between subtropical (Ordovician), temperate (Recent and Pleistocene) and subpolar (Permian) carbonates", *Tasmania, Australia: Carbonates and Evaporites*, 10 (1991) 114-123.
50. Adabi M.H., Salehi M.A., Ghobeishavi A., "Depositional environment, sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Foemation), South-west Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, 39 (2010) 148-160.
51. Wierzbowski H., Joachimiski M., "Reconstruction of late Bajocian-Bathonian marine palaeoenvironments using carbon and oxygen isotope ratios of calcareous fossils from the Polish Jura Chain (Central Poland)", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 254 (2007) 523-540.

52. Bathurst R.G.C., "Carbonate Sediments and their Diagenesis, Developments in Sedimentology", Elsevier, Amsterdam, 12 (1975) 658.
53. Budd D.A., "Dissolution of high-Mg calcite fossils and the formation of biomolds during mineralogical stabilization", Carbonates and Evaporites, 7 (1992) 74-81.
54. Brand U., Veizer J., "Chemical diagenesis of multicomponent carbonate system", II: stable isotopes, Journal of Sedimentary Petrology, 51 (1980) 987-997.
55. Bailey T.K., Rosenthal Y., McArthur J.M., Van B., de Schootburge, Thirlwall M.F., "Paleoceanographic changes of the late Pliensbachian-early Toarcian interval: a possible link to the genesis of Oceanic Anoxic Events", Earth and Planetary Science Letter, 212 (2003) 307-320.
56. Rosales I., Robles S., Quesada S., "Elemental and oxygen isotope composition of Early Jurassic Belemnites: salinity vs. temperature signals", Journal of Sedimentary Research, 74 (2004) 342-354.
57. Brand U., Azmy K., Veizer J., "Evaluation of the salinic I tectonic, Cancaniri glacial and Ireviken biotic events: Biochemostratigraphy of the Lower Silurian succession in the Niagara Gorge area, Canada and U.S.A.", Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 241 (2006) 192-213.
58. Mazzullo S.J., "Organogenic dolomitization in peritidal to deep-sea sediments", Journal of Sedimentary Research, 70 (2000) 10-23.
59. Land L.S., "The origin of massive dolomite", Journal of Geological Education, 33 (1985) 112-125.
60. Sass E., Bein A., "Dolomites and salinity: a comparative geochemical study: In Shukla, V., Baker, P.A., (eds.), Sedimentology and Geochemistry of Dolostones", Society, Economic, Paleontology and Mineralogy, Special Publication, 43 (1988) 223-233.
61. Humphry J.D., "Late Pleistocene mixing zone dolomitization, Southeastern Barbados, West Indies", Journal of Sedimentology, 35 (1988) 327-348.