

# بررسی فرآیند دولومیتی شدن در بخش‌های $C_4$ تا F سازند قم در برش یورتشاه و تاثیر آن بر کیفیت مخزنی

فاطمه مظاهری<sup>۱\*</sup>، فرج الله فیاضی<sup>۲</sup>، جهانبخش دانشیان<sup>۳</sup>، داریوش باغبانی<sup>۳</sup> و داود جهانی<sup>۴</sup>

۱- دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۲- دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران، ایران

۳- اداره سطح‌الارضی مدیریت اکتشاف و تولید، تهران، ایران

۴- دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۱۱

## چکیده

در این پژوهش نمونه‌های بخش‌های  $C_4$  تا F سازند قم از منظر پتروگرافی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مهم‌ترین فرآیند دیاژنتیکی تاثیرگذار بر روی کربنات‌ها، دولومیتی شدن می‌باشد. اما دولومیتی شدن مخزن نتوانسته تخلخل مخزن را بالا ببرد و تخلخل ماتریکس به طور کلی پایین است. دولومیکرایت و دولومیکروسپارایت که به‌طور عمده باعث توسعه تخلخل ماتریکس می‌شوند، به‌صورت محدود توسعه یافته و عمده دولومیت‌های تشکیل شده در این برش از نوع انتخابی است. توسعه سیمان (به‌خصوص سیمان دولومیتی) در مراحل تدفین عمیق باعث پرشدن تخلخل موجود در سنگ شده و درصد بالای دولومیتی شدن باعث تشکیل موزاییک‌های درهم قفل شده می‌گردد. همچنین فشردگی و تشکیل استیلولیت‌ها و نیز ایلیتی شدن با بستن گلوگاه حفره‌ها منجر به کاهش تخلخل و تراوایی می‌شود. مطالعات میکروسکوپی حاکی از حضور ۹ نوع دولومیت در این منطقه است که در چهار مدل دولومیتی شدن شامل مدل سبختا، مدل برگشتی، مدل تدفینی عمیق و مدل دو رگ شکل گرفته‌اند. وجود سازند قرمز بالایی در بالای سازند قم، همچنین وجود رس و مارن در سازند قم به‌عنوان ترکیبات رسی می‌تواند از منابع اصلی تامین Mg برای تشکیل دولومیت‌های سازند قم باشد.

**کلمات کلیدی:** دولومیت، سازند قم، یورتشاه، مدل دولومیتی، تخلخل

## مقدمه

در این برش به یک مخزن آبی دست یافتند. از آن زمان، مخزن آبی یورتشاه با توجه به اهمیت موضوع در راستای حل معضل کمبود گاز استان تهران جهت ذخیره‌سازی گاز مورد توجه قرار گرفت. به همین دلیل بررسی خواص مخزنی و پدیده‌هایی که باعث تغییر کیفیت آن می‌شود، اهمیت فراوانی دارد. رخساره‌های دولومیتی غالباً بهترین

سازند قم از سال ۱۹۵۵ به منظور اکتشافات هیدروکربن مورد توجه زمین‌شناسان نفتی قرار گرفته که به دنبال آن

\*مسئول مکاتبات

Fmazaheri54@yahoo.com

آدرس الکترونیکی

### روش بررسی

جهت بررسی انواع مختلف دولومیت، از سه برش تحت‌الارضی چاه‌های برش یورتشاه، تعداد ۲۱۶ نمونه از چاه شماره یک، ۱۷۰ نمونه از چاه شماره دو، ۱۱۰ نمونه از چاه شماره ۳ و ۴۳ نمونه از چاه شماره ۴ برداشت شد.

عمدتاً انتخاب نمونه‌ها براساس تغییرات لیتولوژی و تقریباً در فواصل ۳۰ cm از مغزه‌ها و ۲ تا ۳ m از خرده‌های حفاری برای انجام مطالعات پتروگرافی و دیاژنز صورت گرفت. سپس مقطع نازک از آنها تهیه گردید. نمونه‌های کربناته برای تفکیک نوع کربنات با محلول فروسیانید پتاسیم و آلزاین - رد - اس به روش دیکسون رنگ‌آمیزی شد. برای نام‌گذاری دولومیت‌ها از تلفیق رده‌بندی‌های فریدمن [۱] سیبلی و گرگ [۲] و مازولو [۳] استفاده شد.

### بحث و بررسی

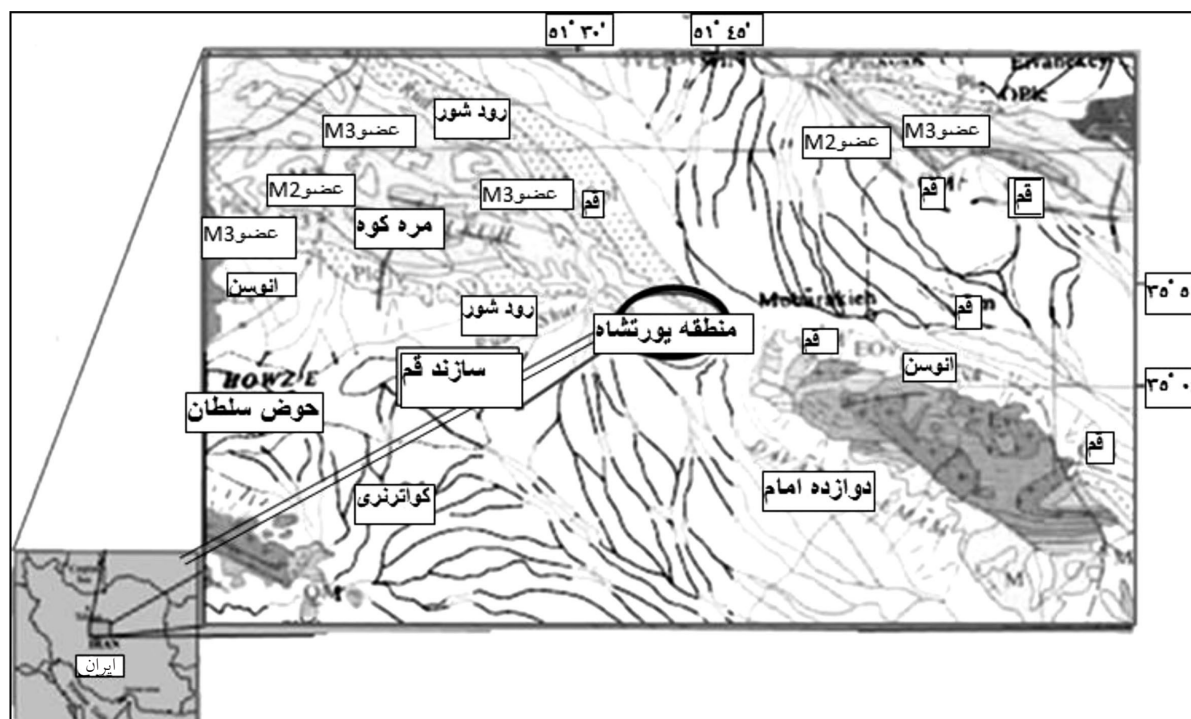
در این بررسی اندازه بلورهای دولومیت از روی حداکثر قطر بلور و با توجه به مقیاس فولک تعیین شده است. تنوع مختلف دولومیت‌ها می‌تواند نشان دهنده زمان تشکیل، خواستگاه و یا ترکیب سنگ‌آهک اولیه باشد.

بخش مخازن هیدروکربوری هستند که به دلیل پایداری شیمیایی و مقاومت در برابر انحلال فشاری در حین تدفین، تخلخل و نفوذپذیری خود را بهتر از سنگ‌های آهکی حفظ می‌کنند. لذا مخازن هیدروکربوری موجود در اعماق زیاد به‌طور قابل توجهی به افق‌های دولومیتی محدود می‌شوند. به همین دلیل دولومیتی شدن در مباحث مخازن نفتی، جایگاه خاصی دارد.

در این تحقیق سعی بر این است تا خصوصیات دولومیت‌های سازند قم، تفکیک انواع آن، تعیین روند دیاژنز و مدل دولومیتی شدن آنها ارائه گردد و تاثیر آنها بر روی کیفیت مخزنی مورد ارزیابی قرار گیرد.

### موقعیت جغرافیایی منطقه

برش مورد بررسی در هفتاد کیلومتری جنوب شرق تهران، ۳۵ کیلومتری ورامین و در گستره ۵۱°۳۰' تا ۵۱°۴۵' طول شرقی و ۳۵°۰۴' تا ۳۵°۵۰' عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ساختار تاقدیسی آبخوان یورتشاه

### انواع دولومیت شناسایی شده در برش قم یورتشاه دولومیکرایت<sup>۱</sup>

اولین فاز دولومیتی شدن در سازند قم است که بلورها بی شکل<sup>۲</sup> در اندازه ۵ تا ۱۶  $\mu\text{m}$  می باشد (شکل ۲-الف). این نوع دولومیت مربوط به رخساره مادستون دولومیتی است که متراکم، فاقد تخلخل و حاوی ذرات کوارتز آواری در حد سیلت است. اصولاً دولومیت های دانه ریز به عنوان دولومیت همزمان با رسوب گذاری و یا دولومیت تشکیل شده در مراحل اولیه دیاژنز در یک محیط فراکشنندی یا بین کشندی بالایی در نظر گرفته می شوند [۴]. این نوع دولومیت مدل سبخوا را نشان می دهد. اندازه دولومیت تشکیل شده در این مدل ریز بلور است که نشان گر زیاد بودن مکان های مناسب جهت هسته گذاری بلورهای دولومیت در رسوبات دانه ریز محیط سبخی می باشد. به طور کلی اندازه بلورهای دولومیت می تواند برای تشخیص دولومیت های دیاژنتیک اولیه از ثانویه مورد استفاده قرار گیرد [۵]. دولومیت های خالص برش خصوصیات این نوع دولومیت را نشان می دهند. در این رخساره فسیل وجود ندارد و تخلخل بین بلوری، استیلولیت و ساخت چشم پرنده ای دیده می شود.

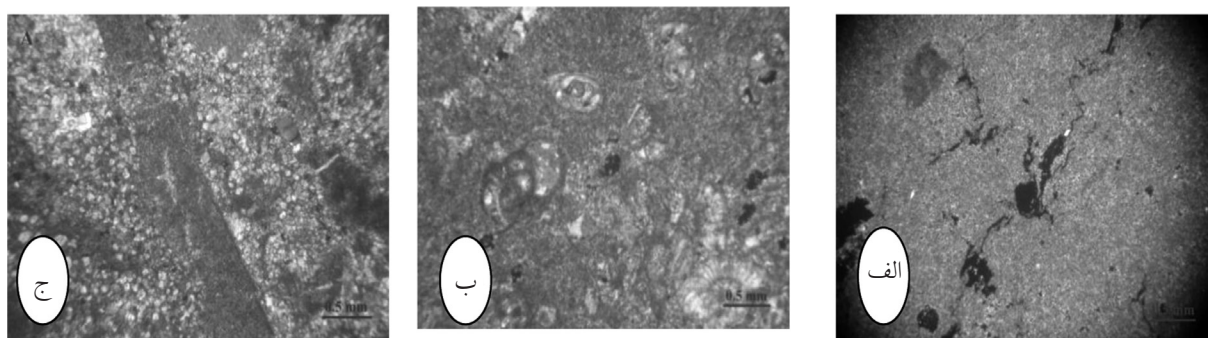
### دولومیکرواسپاریت<sup>۳</sup>

دولومیت های ریز تا متوسط بلور، متراکم، هم اندازه و نیمه شکل دار<sup>۴</sup> تا بی شکل با مرز بلوری مسطح<sup>۵</sup> هستند. اندازه

بلورهای آن بین ۱۶ تا ۶۲  $\mu\text{m}$  است و بیشترین تخلخل بین بلوری را در بین دولومیت ها دارند. بیشترین میزان دولومیت تشکیل شده در این مطالعه از این نوع دولومیت است (شکل ۲-ب و ج). این دولومیت ها ممکن است در مرحله تدفین کم عمق از تبلور مجدد<sup>۶</sup> دولومیکرایت هایی که قبلاً در نزدیک سطح زمین بوده اند و یا جانشینی سنگ های آهکی در زیر درجه حرارت بحرانی (کمتر از ۶۰ °C)، تشکیل شده باشند. بافت مسطح این دولومیت ها ناشی از رشد آهسته بلور از حالت اولیه خود در اثر تداوم انتشار سیال دولومیت ساز در دمای پایین است. در رخساره دولومیکرواسپاریت، بلورهای بسیار ریز میکرایت به بلورهای درشت دولومیت تبدیل شده اند. مطابق شکل ۲-ج، فرامینی فرهای بتیک از نوع میلیولیده در حال دولومیتی شدن هستند و تخلخل بلوری در این شکل قابل مشاهده است.

### دولواسپاریت

اندازه بلور، ۶۲ تا ۲۷۰  $\mu\text{m}$  است و از موزایک های درشت بلور سفیدرنگ، متراکم و بی شکل در اندازه های مختلف<sup>۷</sup> تشکیل شده است. دولواسپاریت ها معمولاً دولومیت های نوع یک و دو را قطع می کنند، به همین دلیل به عنوان دولومیت دیاژنتیکی تاخیری در نظر گرفته می شوند.



شکل ۲- الف- دولومیکرایت، ب و ج- دولومیکرواسپاریت

1. Dolomicrite
2. Anhedral
3. Dolomicrospartite
4. Subhedral
5. Planar
6. Recrystallization
7. Polymodal

### دولومیت‌های پراکنده در ماتریکس آهکی

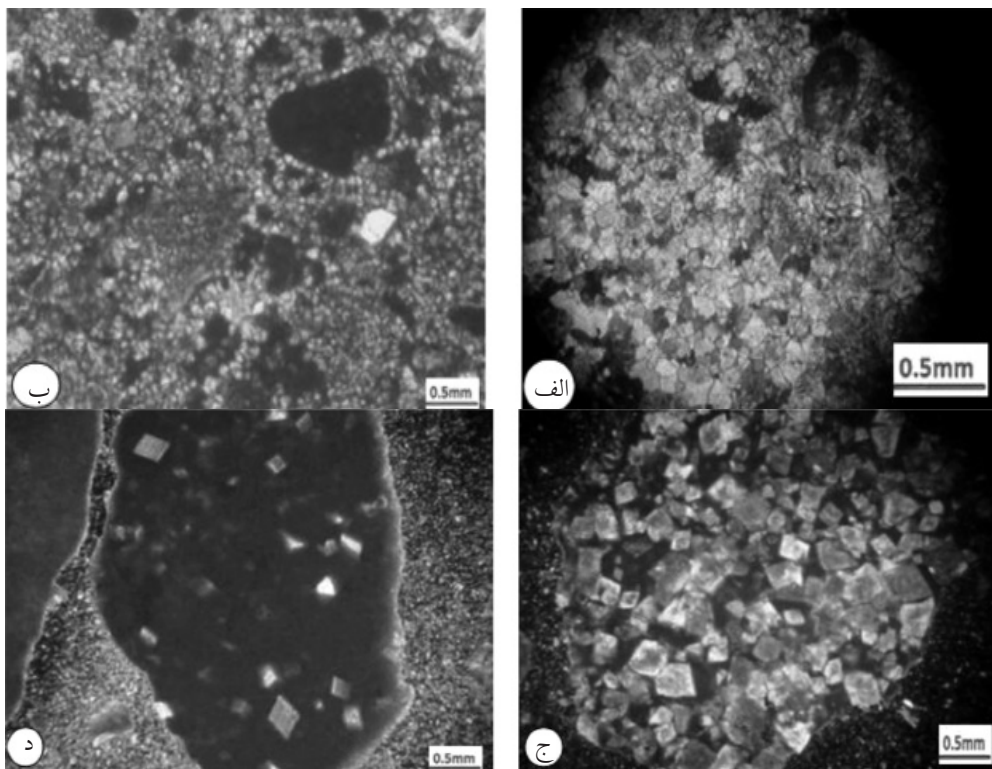
بلورها شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، معمولاً شفاف و روشن و عمدتاً در زمینه آهکی شناورند (شکل ۳-ج و د). در مورد نحوه تشکیل آن نظرات مختلفی ارائه شده است. آدابی و رائو [۶] معتقدند که این نوع دولومیت در مراحل اولیه دیاژنز، جانشین رسوبات بدون فسیل بالای کشندی شده است. این حالت ممکن است شروع دولومیتی شدن پیش‌رونده به سمت فابریک دانه شکری باشد. اگرچه دولومیت‌های دانه شکری پلاتفرم‌های قدیمی را به مدل مخلوط نسبت می‌دهند، اما زمانی که در مجاورت با تبخیری‌ها یا مجاور فسیل باشند، آنها را به مدل برگشتی نسبت می‌دهند.

جانشین شدن سنگ آهک توسط دولومیت به دو صورت کلی است: الف- تحت کنترل فابریک است (نوع ۶-) و ب- تحت کنترل فابریک سنگ نیست (نوع ۷-). دولومیت جانشینی متداول‌ترین نوع دولومیت در سنگ‌های کربناته است و در هر دو محیط دیاژنزی جوی (انوژنز و تلوژنز) و تدفینی (مزوژنز) می‌تواند تشکیل شود.

این دولومیت به صورت تخریبی باعث تغییر بافت‌های اولیه و محوشدن آنها می‌شود (شکل ۳-الف). به‌طور کلی تغییر بافت از دولومیت نوع یک به سه، نشان دهنده افزایش درجه دگرسانی<sup>۱</sup> در سازند قم می‌باشد. دولومیت نوع سه می‌تواند حاصل تبلور دولومیت‌های نوع دو یا حاصل جانشینی سنگ آهک اولیه طی تدفین متوسط باشد.

### دولومیت متوسط بلور یا دولومیت‌های دانه شکری<sup>۲</sup>

دولومیت‌های دانه شکری نوع planar-s تا planar-e مازلو بلورهای اتومورف داشته و دارای تخلخل بین بلوری هستند. اندازه بلورها بزرگ‌تر از  $62 \mu\text{m}$  است و گاهی اندازه آنها تا  $250 - 200 \mu\text{m}$  نیز می‌رسد. این دولومیت‌ها در درجه حرارت پایین‌تر از  $50^\circ\text{C}$  تشکیل شده‌اند [۲]. دولومیت‌های دانه شکری دولومیت نوع یک و دو را قطع کرده و به‌عنوان دولومیت‌های دیاژنتیکی تاخیری در نظر گرفته می‌شود (شکل ۳-ب). در بخش‌هایی که این دولومیت حضور دارد، خاصیت مخزنی بهبود یافته، اما به‌طور کلی این نوع دولومیت به میزان ناچیزی در برش دیده شده است.



شکل ۳- الف - دولواسپارایت در نور پلاریزه، ب- دولومیت دانه شکری، ج و د- دولومیت‌های پراکنده در ماتریکس

1. Alteration  
2. Sucrosic Dolomite



### دولومیتی شدن به صورت تقلیدی<sup>۲</sup>

در این نمونه شکل و ساختار فسیل حفظ شده است [۷]. شکل ۵-الف و ب، این نوع دولومیت را به خوبی نشان می‌دهد. در این نوع جانشینی، تعداد زیادی هسته دولومیت در رسوب تشکیل شده است [۷]. این دولومیت مشخصه جانشینی دولومیت به جای آراگونیت یا کلسیت پرمینیم است [۸].

### جانشینی غیر تقلیدی<sup>۲</sup>

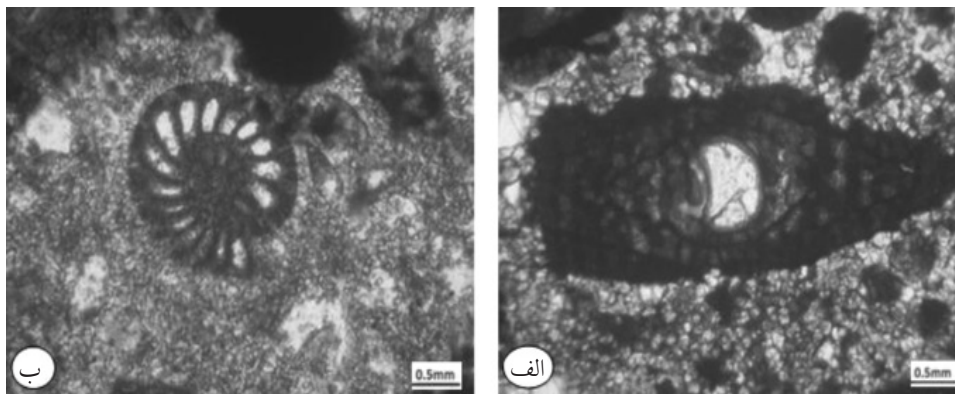
این نوع جانشینی زمانی رخ می‌دهد که تعداد خیلی کمی بلور دولومیت جانشین آهک شده است [۷] و گاهی تنها هاله‌ای از فسیل‌ها باقی مانده است (شکل ۶-الف و ب). وجود هاله‌ها حاکی از جانشینی آرام سنگ آهکی قبلی توسط دولومیت می‌باشد. تخلخل اولیه در این نمونه‌ها معمولاً حفظ نشده یا در مراحل بعدی دیاژنز با انیدریت پر شده و خواص مخزنی را کاهش داده است.

### سیمان دولومیتی

این نوع دولومیت ثانویه است و از بلورهای مجزای دانه‌درشت با اندازه تقریبی  $200-300 \mu\text{m}$  (حداکثر  $300 \mu\text{m}$ ) که اغلب شکل دار تا نیمه شکل دار و شفاف<sup>۴</sup> می‌باشند، تشکیل شده است. مرز بلوری این نوع دولومیت صفحه‌ای است که نشان می‌دهد در دمای زیر  $50^\circ\text{C}$  درجه تشکیل شده است. مرز بلوری این نوع دولومیت صفحه‌ای است که نشان می‌دهد در دمای زیر  $50^\circ\text{C}$  تشکیل شده است.

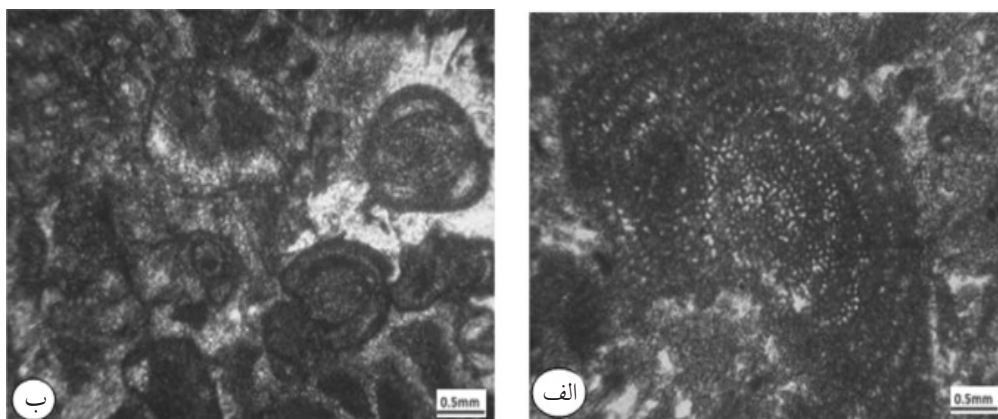
**دولومیت نوع ۶:** در نوع ۶ دولومیتی شدن به صورت بخشی، قسمت‌هایی از سنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به طوری که در بعضی نمونه‌ها نیز جانشینی فقط در فسیل‌ها صورت گرفته و زمینه همچنان آهکی باقی مانده است، در بعضی نمونه‌ها زمینه آهکی حل شده و تخلخل بین بلوری ثانویه در مرحله بعد با انیدریت پوئیکلوتوپیک پر شده یا کاهش یافته است. در نوع دیگر جانشینی بخشی تنها زمینه با دولومیت جانشین شده است و فسیل‌ها جانشین نشده‌اند (شکل ۴-الف و ب). این نوع دولومیت در نمونه‌ها به فراوانی یافت می‌شود و احتمالاً زمانی تشکیل می‌شود که محلول دولومیت کننده حالت فوق اشباع‌شدگی پایین‌تری نسبت به دولومیت داشته باشد که باعث می‌گردد ماتریکس دولومیتی شود. ماتریکس به دلیل آنکه از ذرات ریز درست شده، برای هسته‌بندی دولومیت بسیار مناسب‌تر است. لذا میکرایت‌ها نسبت به فسیل‌ها زودتر دولومیتی می‌شوند و فسیل‌ها دولومیتی نشده باقی می‌مانند. در حالت فوق به علت اشباع‌شدگی پایین، تعداد کمتری هسته دولومیت در کلسیت‌های درشت بلور تشکیل می‌شود. اگر محلول نسبت به دولومیت فوق اشباع و نسبت به کانی تشکیل دهنده فسیل تحت اشباع باشد، تخلخل قالبی تشکیل می‌شود [۷].

**دولومیت نوع ۷:** در دولومیت نوع ۷ جانشینی دولومیت تحت کنترل مرز بلوری این نوع دولومیت صفحه‌ای است که نشان می‌دهد در دمای زیر  $50^\circ\text{C}$  تشکیل شده است.

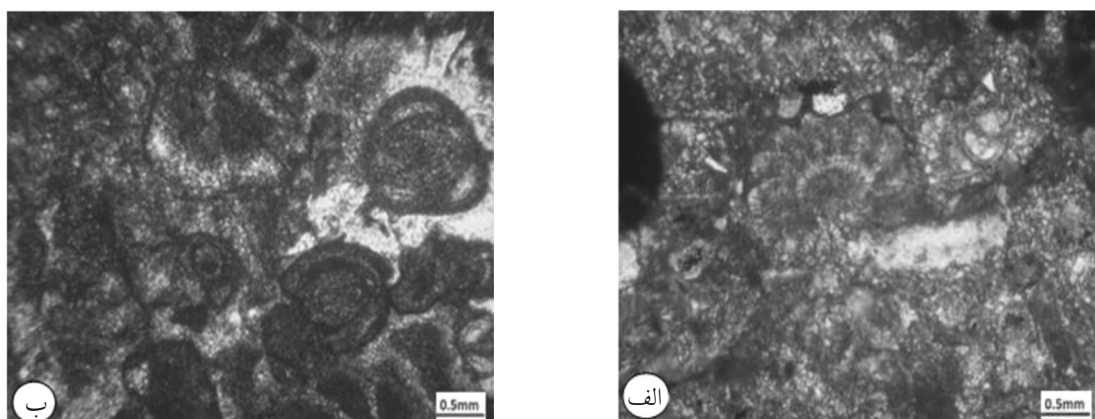


شکل ۴- تنها زمینه با دولومیت جانشین شده و در فسیل جانشینی صورت نگرفته است.

1. Partial Dolomitization
2. Mimic
3. Nonmimic
4. Limpid



شکل ۵- جانشینی تقلیدکننده فابریک سنگ



شکل ۶- دولومیت جانشین شده تنها هاله‌ای از فسیل را برجای نهاده است.

شکستگی‌ها و حفره‌ها مشاهده می‌شود، ولی در برخی مواقع به دلیل جانشینی آهک نیز به وجود می‌آید. این نوع دولومیت دارای رخ‌های منحنی با خاموشی موجی است (شکل ۸-). حضور آنها در اینجا نشان می‌دهد که این برش درون پنجره نفتی و در درجه حرارت‌های ۶۰ تا ۱۵۰ °C قرار داشته است (مرحله مزوژنز). این دولومیت نشان‌گر شرایط احیا می‌باشد.

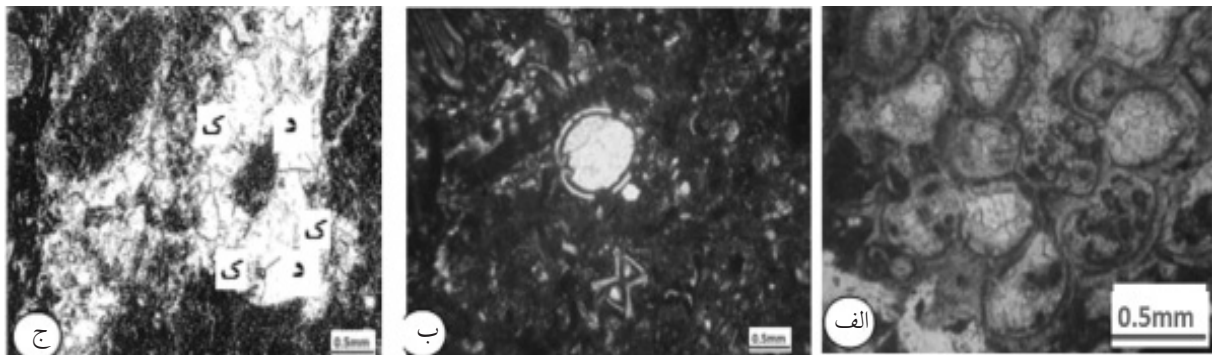
در شکل ۹ محل تشکیل و پراکندگی دولومیت‌ها به طور نسبی در مدل رسوبی ارائه شده است. در شکل ۱۰ روند و مراحل فرآیندهای دیاژنزی و تأثیر آنها بر کیفیت مخزنی و تخلخل کربنات‌ها در سازند قم نشان داده شده است همچنین در این شکل مرحله تشکیل هر نوع دولومیت و نیز تاثیر انواع آن بر کیفیت تخلخل مخزن به نمایش درآمده است.

منشا دقیق این نوع دولومیت ناشناخته است. این نوع دولومیت به دلیل اختلاط آب شیرین با آب دریا در اثر خروج از آب به صورت دوره‌ای تشکیل شده است، اما فاکتورهای دیگر مثل فرآیندهای میکروبی نیز می‌تواند در این امر دخیل باشد [۹]. سیمان دولومیتی در این برش به صورت بلوکی به میزان خیلی ناچیز (۱٪) در دولستون‌های میکروکریستالین و آهک‌های دولومیت‌شده دیده می‌شود که به طور کامل تخلخل حفره‌ای را پر کرده است. این سیمان باعث مسدود شدن و کاهش اندازه فضای حفرات و در نهایت منجر به کاهش تخلخل می‌شود. این نوع دولومیت به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار به طور کامل بخش مرکزی استراکدهای آرتیکوله، حجرات فرامینفرها، زئوسی بریوزوا، باروها و تخلخل‌های بین دانه‌ای را پر کرده است (شکل ۷- الف، ب و ج).

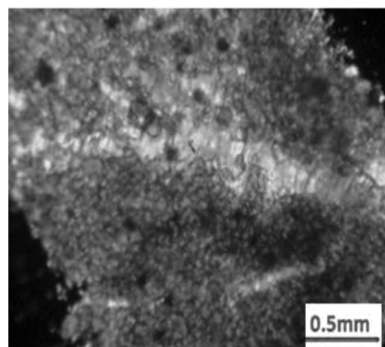
دولومیت زین اسبی<sup>۱</sup>

غالباً به صورت مستقیم توسط سیالات جوی در داخل

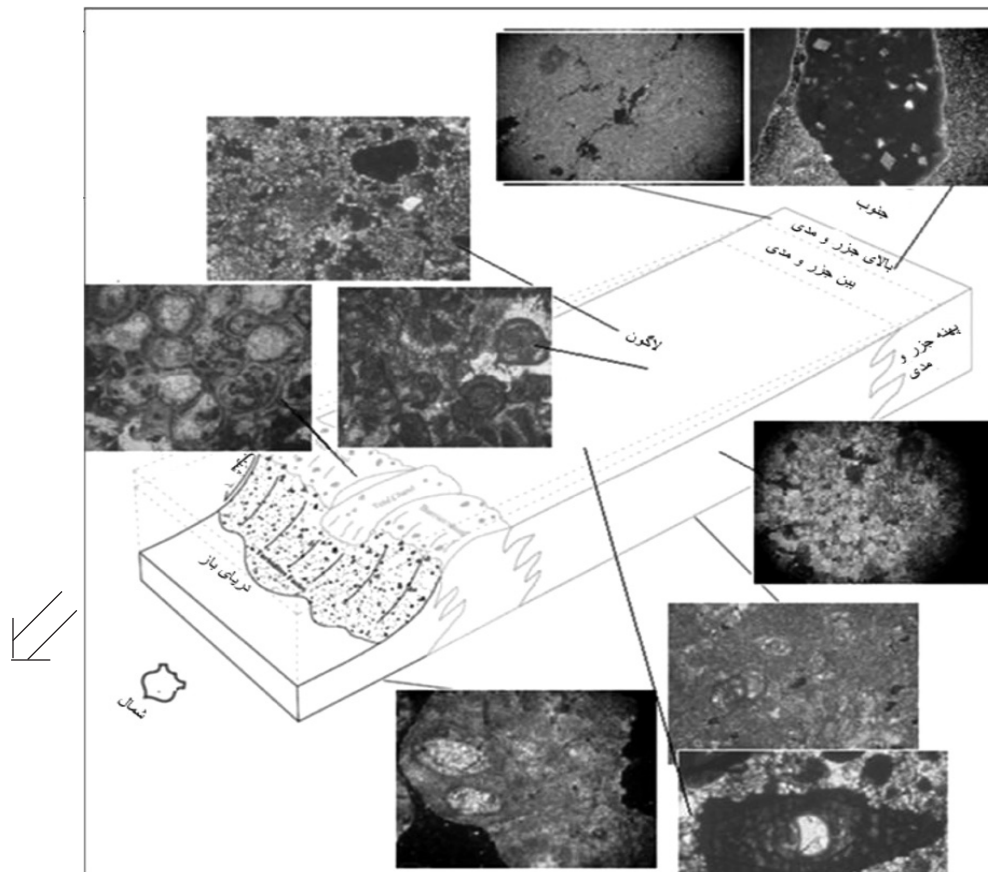
1. Saddle Dolomite



شکل ۷- الف- دولومیت پرکننده داخل حفرات بریوزوا، ب- استراکد آرتیکوله، ج- باروئی که توسط سیمان دولومیتی و سیمان کلسیتی پر شده است (قابل توضیح است که "ک" در روی این شکل مخفف کلسیت و "د" مخفف دولومیت است).



شکل ۸- دولومیت زین‌اسبی



شکل ۹- نحوه پراکندگی دولومیت‌ها در مدل رسوبی

دیازنز	اواندل	اواخر
میکر ایته شدن، زیست آشفته‌گی و بافت زئوپتال		
تشکیل ژپس و انیدریت	رشد نودولی	سیمان مرحله آخری
سیمان کلسیتی	ژپس و انیدریت در نهشته‌های سبخانی دریائی (میله ای)/ جوی	
دولومیتی شدن	تبخیری (سبها)	سیمان دولومیتی
فشرده‌گی	مکانیکی	استیلولیت
ننومور فیزم افزایشی	در ماتریکس کربناته	
	در ماتریکس دولومیتی	
انحلال (قالبی، حفره ای، و تخلخل کانالی)	آراگونیت	کلسیت (با یو کلاست، رسوبات ماتریکس دولومیتی نشده)
شکستگی	شکستگی‌های ریز	شکستگی‌ها + شکستگی چین خوردگی
	کاهش تخلخل	تخلخل خنثی
		افزایش تخلخل

شکل ۱۰- فرآیندهای دیازنزی و تأثیر آنها بر تخلخل و کیفیت کربنات‌ها در سازند قم میدان مورد مطالعه

رسیده است. در این برش، تشکیل سیمان‌های اسپارایتی دولومیتی طی مزوزنز شکل گرفته‌اند.

تمام رخداد‌های دیازنزی که طی رخنمون پیدا کردن (بعد از چین خوردگی) یا پس از آن روی می‌دهند، مربوط به مرحله تلوزنز می‌باشد. از جمله آنها شسته شدن کربنات‌ها و ایجاد تخلخل‌های قالبی و حفره‌ای است که در این برش تخلخل‌های ایجاد شده با رسوب سیمان‌های انیدریتی و دولومیتی پر شده‌اند. لذا مقادیری از سیمان‌های دولومیتی که در زیر دمای  $60^{\circ}\text{C}$  شکل گرفته‌اند، در مرحله تلوزنز تشکیل شده‌اند. اما سیمان‌های دولومیتی عموماً فضای خالی بین دانه‌های دولومیتی شده و تخلخل‌های قالبی ایجاد شده در مراحل قبلی را پر می‌کنند (مرحله تلوزنز). اندازه بلورها راهنمای خوبی برای تشخیص زمان دولومیتی شدن است. اگر سنگ کربناته به‌طور کامل متشکل از بلورهای دولومیت باشد، بلورهای درشت‌تر مربوط به مراحل بعدی دولومیتی شدن می‌باشد.

دولومیت نوع دوم در بخش‌های مختلف این برش نسبت به دولومیت نوع اول فراوانی بیشتری دارد و مانند دولومیت نوع اول همواره با کانی‌های تبخیری انیدریت و ژپس همراه می‌باشد (شکل ۱۱).

به‌طور کلی در محیط ائوزنز رسوبات تحت تأثیر فرآیندهای سطحی قرار می‌گیرند و کانی‌های ناپایدار تمایل به پایدار شدن دارند لذا تشکیل دولومیکرایت از رسوبات میکرایتی و تبدیل دولومیکرایت به میکروسپارایت بیشتر در این مرحله صورت گرفته است. اولین فاز دولومیتیزاسیون باعث تشکیل دولومیکرایت‌ها شده که این دولومیت‌ها پس از قرارگیری در محیط دفنی کم‌عمق تحت تأثیر تراکم و افزایش درجه حرارت به دولومیکرواسپارایت تبدیل می‌شوند. پس از آن دولومیت‌های جان‌شینی در محیط تدفین کم عمق و تحت تأثیر مدل تراوش- بازگشت سیالات تشکیل شده‌اند. لذا دولومیکرایت‌ها، دولومیکرواسپارایت‌ها و بخشی از دولومیت‌های دانه شکری در مرحله ائوزنز شکل گرفته‌اند. با ادامه روند تدفین و تا قبل از تدفین عمیق و دمای بحرانی، بلورهای پراکنده دولومیت در زمینه آهکی و دولومیت‌های شکل دار پراکنده حفرات ایجاد شدند که در واقع تشکیل آنها در مرحله مزوزنز است. در مرحله مزوزنز رسوبات در عمقی قرار دارند که از تأثیر فرآیندهای دیازنزی سطحی به دور هستند. فشرده‌گی شیمیایی که به دلیل افزایش فشار و دما با عمق ایجاد می‌شود، فاکتور اصلی کنترل‌کننده در این مرحله است. حضور انواع استیلولیت شواهدی از حضور سنگ در این محیط است که در سازند قم این برش، حضور استیلولیت‌ها به اثبات



### مکانیسم‌های دولومیتی شدن

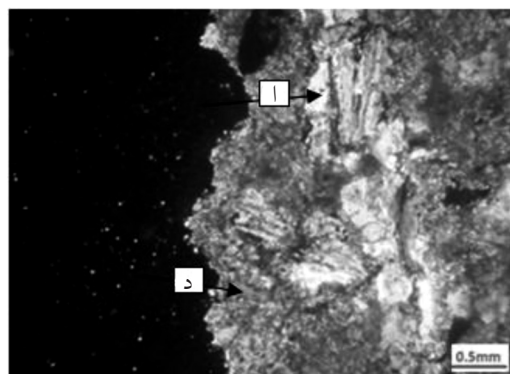
مدل‌های مختلفی برای دولومیتی شدن ارائه شده است که جهت تشخیص آنها معیار واحدی وجود ندارد. لذا اغلب چند مدل در یک محل ارائه می‌شود. در این برش چهار مکانیسم دولومیتی شدن شامل: مدل سبخایی، مدل مخلوط، مدل برگشتی و مدل تدفین عمیق شناسایی شد.

– مدل سبخا: در دولومیکرایت‌ها دیده می‌شود.

– مدل مخلوط آب شیرین و شور دریا: دولومیت‌های دانه‌شکری منظم و روشن و همچنین دولومیکرواسپارایت طی تدفین کم‌عمق با این مدل همخوانی دارند.

– مدل برگشتی<sup>۲</sup>: مربوط به محیط تدفین کم‌عمق است و در مقیاس یک حوضه به دلیل عدم حرکت شورابه به اعماق پایین‌تر و عدم پنخس آن به اطراف در اثر وجود یک مانع<sup>۳</sup> یا ریف به وجود می‌آید. در این مدل دولومیت‌ها با بلورهای درشت و خودشکل با اندازه حدود  $200\text{ }\mu\text{m}$ – $120$  معمولاً همراه با تبخیری‌ها دیده می‌شود. در بسیاری از مقاطع نازک مورد بررسی یورتشاه، کانی‌های تبخیری و دولومیتی همراه یکدیگرند که می‌تواند به این مدل ارتباط داشته باشد. دولومیت‌های تشکیل شده در نزدیکی منشا شورابه، ریز بلور با بافت جانشینی تقلیدی است که میزان دولومیتی شدن آنها افزایش یافته است. در حالی که دولومیت‌های قسمت‌های دورتر، دولومیت‌های جانشینی غیرتقلیدی و درشت بلور هستند [۱۰]. دولومیتی شدن قطعات فسیلی بیشتر در بافت جانشینی تقلیدی دیده می‌شود. امرائی [۱۱] در برش‌های کمرکوه و کوه دزدان با بررسی‌های ژئوشیمیایی و پتروگرافی چنین مدلی را برای دولومیتی شدن بخش f سازند قم در نظر گرفته است. این مدل برای توصیف دولومیت‌های لاگونی و ریفی مرتبط با تبخیری‌ها ارائه شده است.

– مدل تدفینی<sup>۴</sup>: افزایش دما و فشار در طول تدفین باعث یکسری واکنش بین کانی‌ها و تغییرات فازی می‌شود که در فرآیندهای دیاژنتیکی کربناته زیرسطحی موثر است.

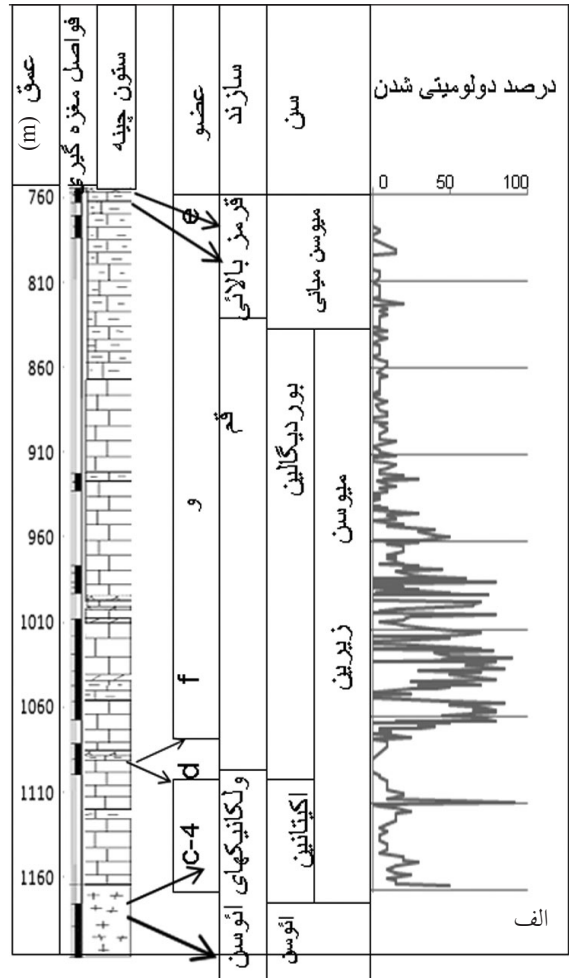
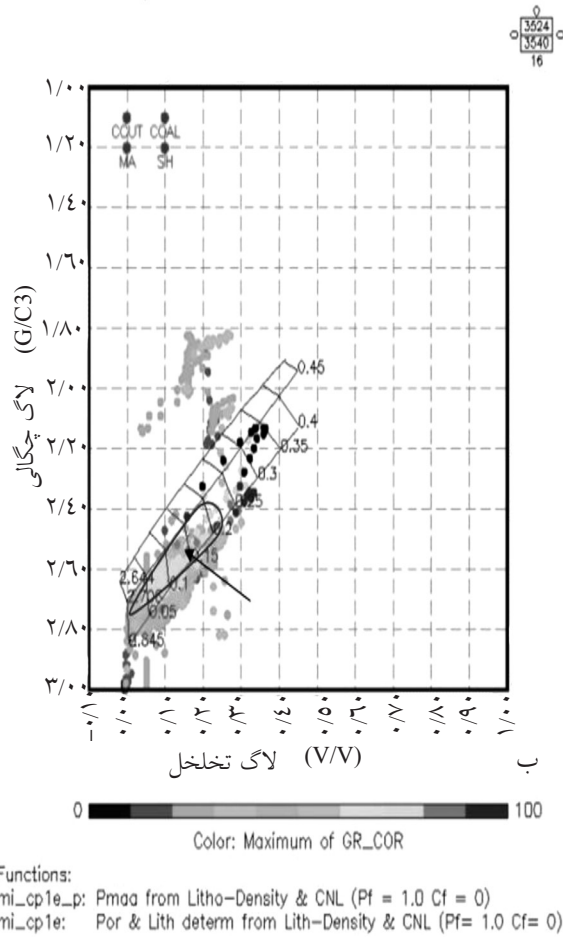


شکل ۱۱- حضور انیدریت (الف) با دولومیت (د) در مدل برگشتی (قابل توضیح است که "الف" مخفف انیدریت و "د" مخفف دولومیت است).

در بخش‌هایی که دولومیتی شدن گسترش بیشتری دارد، مثل در بخش بالایی عضو  $C_4$  و ابتدای بخش E، درصد بالاتری از تخلخل (به طور متوسط حدود ۵-۲٪) مشاهده می‌شود (شکل ۱۲-الف) که علاوه بر این نوع تخلخل، در همین نواحی تخلخل حفره‌ای و بعضاً تخلخل قالبی نیز قابل مشاهده است که این محیط به محیط رسوبی پری‌تایدال نسبت داده می‌شود. دولومیت‌های دانه شکری نیز نقش بسزایی در تولید تخلخل بین بلوری در مخازن کربناته دارد. این نوع دولومیت در کنار دولومیت‌های نوع یک و دو دیده می‌شود و به‌عنوان دولومیت دیاژنتیکی، تاخیری در نظر گرفته می‌شود که پراکندگی آن در اینجا ناچیز است و با کانی‌های تبخیری ثانویه همراه است.

دولومیت‌های سازند قم در مقیاس وسیع به‌صورت زون‌های جداگانه گسترش نداشته و آهک‌ها به‌طور ناقص دولومیتی شده‌اند، با توجه به وجود آثار فراوان تدفین و زمان طولانی این مرحله از فرآیندهای دیاژنتیکی، احتمال دارد مدل تدفینی نقش بسزایی در فرآیند دولومیتی شدن سازند قم داشته باشد. بررسی‌های انجام شده بر روی نمودارهای پتروفیزیکی چاه‌ها بیان‌گر حضور دولومیت‌ها در میدان یورتشاه به میزان قابل توجهی است (شکل ۱۲-ب)، در شکل ۱۲-الف، میزان درصد پراکندگی و درصد دولومیت‌ها در سازند قم چاه یورتشاه-۱، بر اساس مطالعه مقاطع نازک در برابر عمق همراه با ستون چینه‌شناسی به نمایش درآمده است.

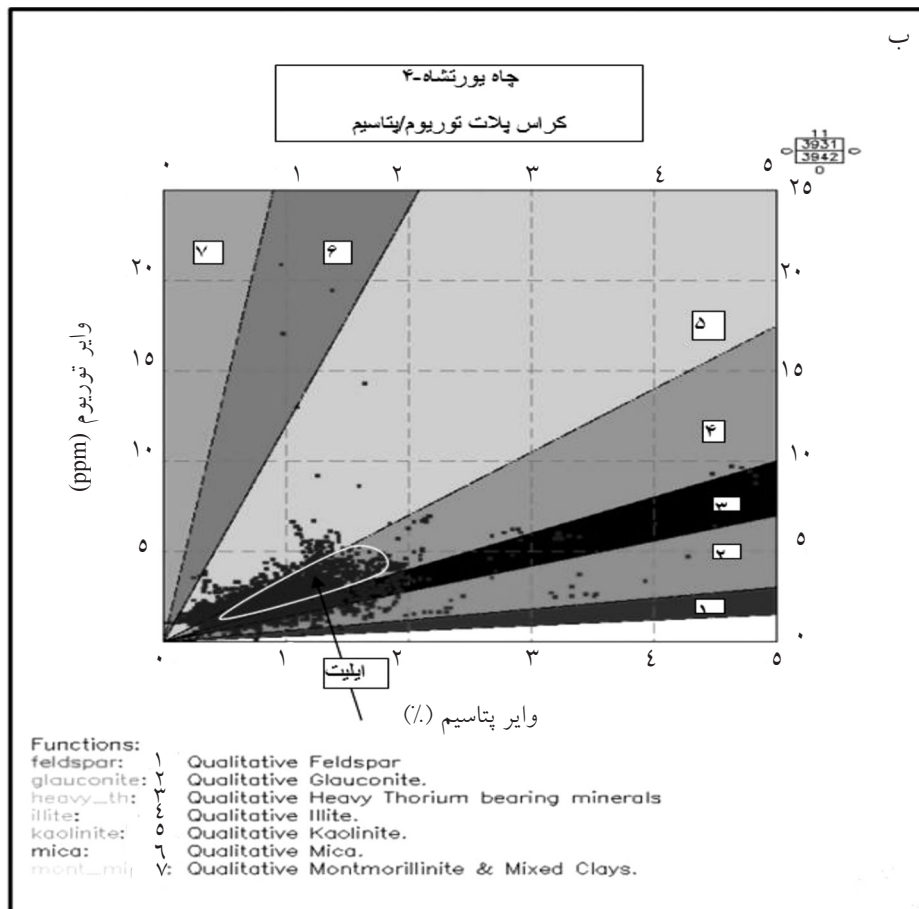
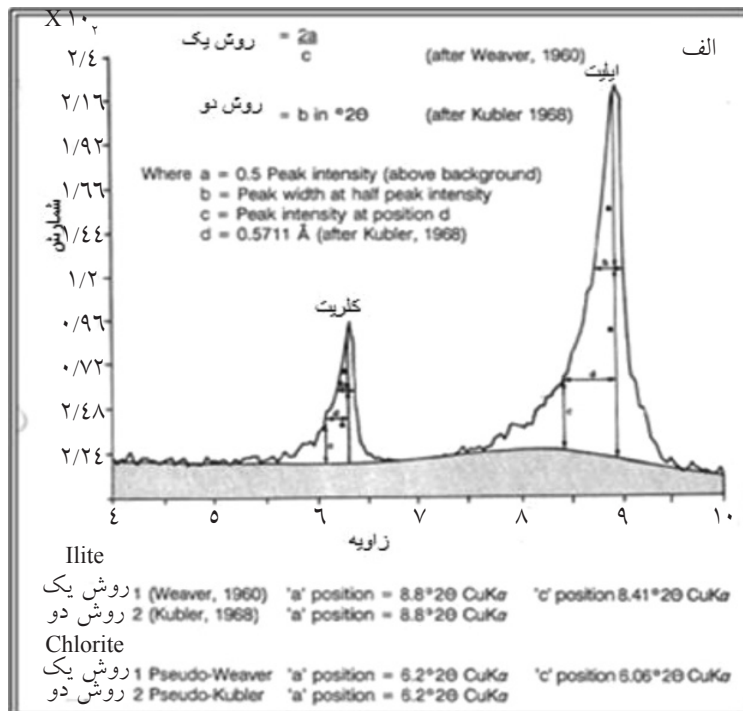
1. Dorag Model  
2. Reflex  
3. Seal  
4. Burial Model



شکل ۱۲- الف پراکندگی میزان درصد دولومیت در سازند قم در چاه یک یورتشاه در برابر ستون چینه شناسی و ب-کراس پلات تهیه شده در چاه-۴ یورتشاه نشان‌گر حضور دولومیت‌ها در سازند قم است.

با اندازه‌گیری‌های دقیق تعیین شده و با الگوهای نظری و J.C.P.D. S(1990) مقایسه می‌شوند. روش‌های اندازه‌گیری ایلیت در شکل ۱۳- الف به نمایش درآمده است. بازتاب‌های حضور این کانی در اینجا نشان‌گر ورود سازند به پنجره نفتی و همچنین تأییدی بر وجود مدل تدفینی است. داده‌های حاصل از تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی در چاه‌های یورتشاه حضور ایلیت به مقدار فراوان را نشان می‌دهد (شکل ۱۳- ب). مدل دولومیتی شدن سیمان پرکننده شکستگی‌ها و دولومیت زین‌اسبی با مدل تدفینی قابل توجیه می‌باشد.

برای مثال تبدیل ژیبس به انیدریت در عمق ۱۰۰۰ m میزان مشخصی آب آزاد می‌کند که در انحلال، سیمانی شدن یا دولومیتی شدن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در عمق ۲۰۰۰ m و دمای ۶۰°C اسمکتیت به ایلیت تبدیل شده و آب تبلور و همچنین کاتیون‌هایی مانند منیزیم که می‌تواند در دولومیتی شدن به کار رود، در اثر این تبدیل آزاد می‌گردد [۱۲]. وجود کانی رسی ایلیت در این سازند در نمونه‌ای از چاه یورتشاه-۳ که مورد آزمایش XRD قرار گرفته تأیید می‌شود (شکل ۱۳- الف). روش محاسبه ایلیت بدین صورت است که رس‌های چندگانه در بازتاب‌های



شکل ۱۳- الف- نمودار XRD که بیانگر حضور ایلیت در برش یورتشاه است (اقتباس از هانور [۱۳]) و ب- کراس پلات تهیه شده از نرم افزار Geolog که نشان دهنده حضور کانی رسی ایلیت در چاه شماره ۴ یورتشاه می باشد.

## منشا منیزیم در دولومیت‌های سازند قم

منبع اصلی منیزیم در دولومیتی شدن مدل برگشتی، آب دریاست. ولی در مدل تدفینی منبع منیزیم می‌تواند از تبدیل کانی‌های رسی و تراکم شیل‌های موجود در منطقه طی دیاژنز تدفینی باشد. در ناحیه مورد بررسی وجود سازند قرمز بالایی در بالای سازند قم و همچنین وجود رس و مارن در سازند قم به‌عنوان ترکیبات رسی، می‌تواند از منابع اصلی تامین منیزیم برای این مدل باشد. البته گفته می‌شود که خروج توده‌ای منیزیم طی تدفین و دیاژنز شیل با دولومیتی شدن واحدهای کربناته مجاور مورد تأیید نیست. چنانچه تشکیل کلریت از اسمکتیت طی تدفین یک عامل مهم ته‌نشینی منیزیم می‌باشد که همین مسأله، سبب کاهش میزان منیزیم در محیط می‌شود. بنابراین به نظر تغییرشکل‌های رسی زیرسطحی یک منبع موثر و قابل اطمینان منیزیم برای دولومیتی شدن فراگیر نمی‌باشد و فقط آب‌های دریایی فسیلی خارج شده طی تراکم است که می‌تواند منیزیم موثر جهت دولومیتی شدن طی مراحل میانی و بعدی دیاژنز دفنی را فراهم نماید. حجم کوچکی از دولومیت دفنی نیز به انحلال فشاری و استیلولیتی شدن وابسته است. با توجه به گزارش وجود آثار انحلال فشاری در مطالعات پتروگرافی و گزارشات مغزه‌ها به‌علاوه گزارش این علائم در سایر مطالعات پیشین سازند قم، بخشی از منیزیم از طریق انحلال فشاری و استیلولیتی شدن تامین می‌شود. در مطالعات SEM انجام گرفته بر روی چاه‌های این برش تنها کانی‌های رسی و مواد آلی در مجاورت استیلولیت‌ها یافت شد و کانی‌زایی دولومیتی در مجاورت استیلولیت‌ها دیده نشد. بنابراین احتمال چنین منشائی برای دولومیت‌های این برش مردود می‌باشد. وجود قطعات فسیلی و کانی‌های اولیه ناپایدار با مینرالوژی آراگونیتی و HMC که در طول دیاژنز به ویژه تدفین به LMC تبدیل شده و منیزیم آزاد می‌سازد، می‌تواند یکی از منابع تامین منیزیم مورد نیاز دولومیتی شدن زون تدفینی در این برش باشد. لذا آب شور حوضه‌ای دفن شده به‌عنوان منشأ منیزیم اهمیت بیشتری در دولومیتی کردن در اعماق نسبت به بقیه منابع دارد. منیزیم مورد نیاز برای تشکیل دولومیت‌های جاننشینی و دولومیت‌های تدفینی از شورابه‌های حوضه‌ای

به‌دست می‌آید.

## تأثیر دولومیتی شدن بر روی خواص مخزنی

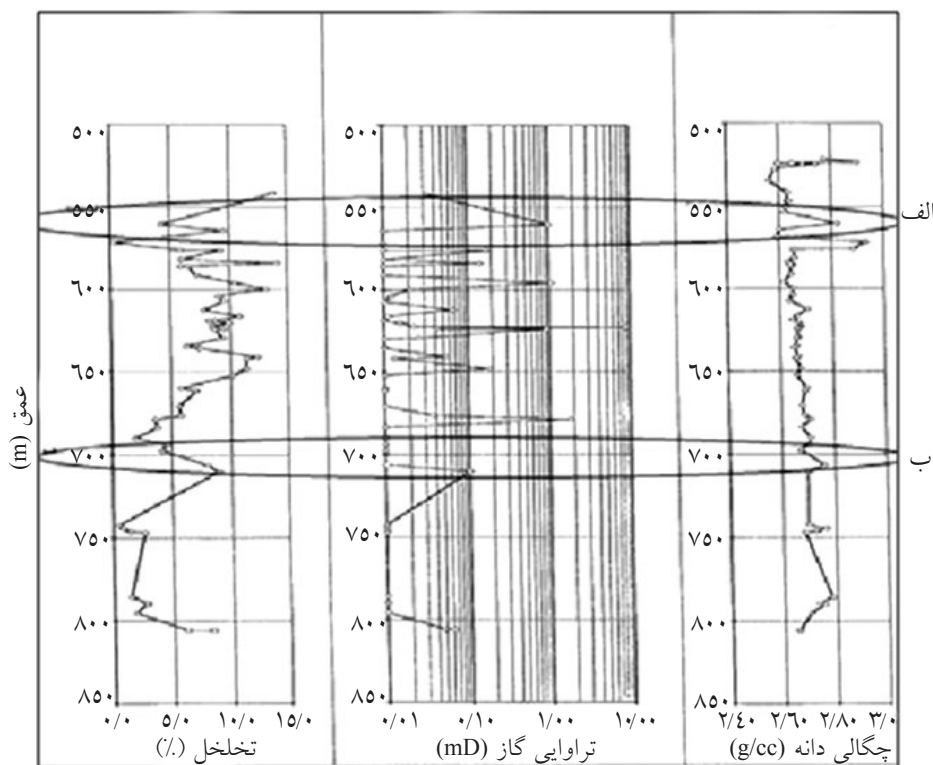
دولومیتی شدن برحسب شدت می‌تواند موجب افزایش و یا کاهش تخلخل گردد. هنگامی که سیال دولومیتی کننده در درون رسوبات کربناته به صورت انتخابی به رسوبات دانه ریز مانند میکرایت‌ها حمله‌ور می‌شود، پس از دولومیتی شدن تمامی دانه‌های ریز میکرایت، دانه‌های بزرگ‌تر حل می‌شوند. در چنین حالتی سنگ‌هایی با تراوایی زیاد تولید می‌شود.

دولومیتی شدن به‌طور عمده از فاکتورهای مثبت در ایجاد و توسعه تخلخل ماتریکس یا زمینه در بخش مخزن است. اما در این برش با وجود بالا بودن درصد دولومیت در بعضی بخش‌ها، همچنان توسعه تخلخل ماتریکس کم است که یکی از علل آن می‌تواند پدیده‌های بعدی دیاژنتیکی از جمله سیمانی شدن و پرشدن مجدد این نوع تخلخل با انواع سیمان (از جمله سیمان دولومیتی) باشد. اما این سیمانی شدن نهایتاً ۱۵-۲۰٪ تخلخل موجود در سنگ‌های کربناته را پرمی‌کند. لذا احتمالاً دلایل دیگری نیز در کاهش تخلخل ماتریکس موثر می‌باشند. از دیگر علل کاهش تخلخل، فشردگی است که با حضور استیلولیت‌ها در این برش اثبات می‌شود. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که در مجاورت استیلولیت‌ها (به‌عنوان یکی از مکان‌های تشکیل دولومیت) دولومیتی شدن به منظور ایجاد تخلخل، صورت نگرفته است. در مواردی قبل از اینکه تراکم شیمیائی (منبع اصلی برای سیمانی شدن) کامل شود، مهاجرت هیدروکربن شروع و با حضور هیدروکربن ادامه فرآیند دیاژنتیکی در مخزن متوقف می‌شود، چنانچه در این برش در مجاورت استیلولیت‌ها دولومیت جاننشینی تشکیل نشده باشد، نشان‌گر قطع شدن فرآیند دیاژنتیکی است. اگر فرآیند دولومیتی شدن به طریق جاننشینی به‌طور بخشی، یک توالی را به‌طور کامل و ۱۰۰٪ دولومیتی کند،  $\text{CaCO}_3$  ایجاد شده حرکت داده نمی‌شود. لذا افزایش تخلخل صورت نمی‌گیرد و ممکن است با از بین رفتن تخلخل یک موزاییک دولومیتی به هم پیچیده و درهم قفل شده تشکیل شود [۸] که باعث کاهش تخلخل می‌گردد.



و بلورهای میکرایت به عنوان ماتریکس می باشد که به وضوح تمامی مکان‌های حضور آنها بر روی نمونه‌هایی که در چاه یورتشاه-۲ مورد مطالعه SEM قرار گرفته‌اند، دیده شده است. لذا حضور ایلیت در تمامی رخساره‌ها تاثیر قابل توجهی در کاهش کیفیت مخزنی دارد. به طوری که با پرکردن حفرات بین دانه‌ای و پوشاندن گلوگاه حفره‌ها منجر به کاهش تخلخل و تراوایی شده است. علاوه بر این رس‌هایی نظیر ایلیت تاثیر بسزایی در تسریع فرآیندهای فشردگی شیمیایی و سیمانی شدن دارد که همگی منجر به کاهش کیفیت مخزنی می‌شود. آنها همانند کاتالیزور عمل کرده و با تامین یون‌های لازم برای سیمانی شدن، گل‌های آهکی دارای حفره‌های ریز را به گل آهکی با بافت بسیار فشرده و تخلخل بسیار کم تبدیل می‌کنند (نئومورفیسم افزایشی) و در نهایت منجر به کاهش کیفیت مخزنی می‌شوند. در شکل ۱۴ رابطه بین تخلخل و تراوایی با نوع سنگ رسوب‌گذاری شده در نمونه‌های مورد مطالعه بر روی مغزه چاه یورتشاه-۲ به نمایش درآمده است.

همچنین در این برش بخش‌های کاملاً دولومیتی با منشاهای متفاوت که به طور معمول دارای تخلخل خوب است (با توجه به فواصل نمونه برداری ۳۰ cm مغزه‌ها)، در حدود چند لایه ۶۰-۱۰۰ cm و به میزان کم دیده می‌شود درصد دولومیتی شدن در هر عمق در شکل ۱۲-الف، به نمایش درآمده است. در سایر نقاط برش، دولومیتی شدن کامل نبوده و به صورت انتخابی و به اشکال مختلف از رومبوئیدرهای ریز تا خیلی درشت در زمینه میکرایتی و بین قطعات به صورت جان‌شینی قابل مشاهده است، لذا دولومیتی شدن نمی‌تواند به عنوان فرآیند تاثیرگذار در سرتاسر مخزن باشد. به طور کلی نتایج بررسی مغزه‌های حفاری<sup>۱</sup> نشان می‌دهد که این برش خواص مخزنی ضعیفی دارد که ممکن است به دلیل حضور فراوان کانی‌های رسی از جمله ایلیت در مخزن نیز باشد. ایلیت‌ها در بخش‌های زیادی تمرکز یافته‌اند که شامل تمرکز در امتداد استیلولیت‌ها، سطوح انحلالی، پوشاننده بریوزوا و اینتراکلاست‌ها، پوشاننده بلورهای سیمان کلسیتی



شکل ۱۴- در چاه یورتشاه-۲، بخش‌های الف و ب، افزایش چگالی دانه را نشان می‌دهند که این افزایش چگالی در اثر وجود دولومیت است که در همان مکانها باعث افزایش میزان تخلخل و تراوایی نیز شده است.

## نتیجه‌گیری

دولومیت در بعضی بخش‌ها همچنان توسعه تخلخل ماتریکس کم است که یکی از علل آن مربوط به پدیده‌های بعدی دیاژنتیکی از جمله سیمانی شدن و پرشدن مجدد این نوع تخلخل با انواع سیمان می‌باشد. فشردگی یکی دیگر از علل کاهش تخلخل است که با حضور استیلولیت‌ها در این برش اثبات می‌شود. از طرفی مطالعات نیز نشان می‌دهد که در مجاورت استیلولیت‌ها به‌عنوان یکی از مکان‌های تشکیل دولومیت، دولومیتی شدن صورت نگرفته، لذا تخلخل ایجاد نمی‌شود. همچنین ایلیتی شدن باعث بسته شدن گلوگاه حفرات و کاهش خواص مخزنی می‌گردد.

۶- اثبات حضور کانی رسی ایلیت در این برش توسط آزمایش XRD و همچنین شناسایی دولومیت زین اسبی نشان‌گر ورود سازند به پنجره نفتی و همچنین تأییدی بر وجود مدل تدفینی است.

## تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانیم از شرکت ملی گاز ایران که به‌عنوان حمایت‌کننده مالی مساعدت لازم جهت انجام این مقاله در مخزن ذخیره‌سازی را فراهم نموده، تشکر و قدردانی نمایم.

۱- نتیجه فرآیند دولومیتی شدن تشکیل طیف وسیعی از دولومیت‌ها (۹ نوع دولومیت) در مراحل مختلف دولومیتیزاسیون در محیط‌های دیاژنتیکی گوناگون است.

۲- چهار مدل دولومیتی شدن شامل: ۱- مدل سبختا ۲- مدل مخلوط ۳- مدل برگشتی و ۴- مدل تدفینی می‌باشد.

۳- تشکیل دولومیکریت و دولومیکرواسپارایت به‌طور عمده باعث توسعه تخلخل ماتریکس می‌شود. اما گسترش این نوع دولومیت‌ها در فواصل محدودی است و در بخش عمده این مخزن، دولومیتی شدن به‌صورت انتخابی صورت گرفته است.

۴- با توجه به انواع دولومیت در این برش می‌توان گفت که فرآیند دولومیتی شدن در مراحل و زمان‌های مختلفی روی داده است که می‌تواند بیان‌گر تاریخچه دیاژنتیکی پیچیده آن باشد. تنوع اندازه بلورها، پراکندگی قسمت‌های دولومیتی‌شده و میزان دولومیتی شدن در چاه‌های مورد بررسی این پیچیدگی را بیشتر آشکار می‌نماید.

۵- تشکیل سیمان دولومیتی در مراحل بعدی دیاژنتزی و مراحل تدفین عمیق، سبب شده تخلخل ناشی از شکستگی‌ها و حفرات پرشود. با وجود بالا بودن درصد

## مراجع

- [1]. Friedman G. M., "Terminology of crystallization textures and fabrics in sedimentary rocks", Jour. Sed. Petrology, 35, pp. 643-655., 1965.
- [2]. Sibley D. F. and Gregg J.M., "Classification of dolomite rock texture", Jour. Sed. Petrology, 57, pp. 967-975., 1987.
- [3]. Mazzullo S. J., "Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: a review. Carbonate and evaporites", pp. 21-37, 1992.
۴. آدابی م.، ژئوشیمی رسوبی، چاپ اول، نشر آرین، ۴۴۸ص.، ۱۳۸۳.
- [5]. Ye. Q., and Mazzullo S. J., "Dolomitization of lower permian platform facies", Wichia Formation, north platform, Midland Basin" Texas, Carbonates and Evaporites, 8, pp. 55-70., 1993.
- [6]. Adabi N. H., and Rao C. P., "Petrographic, element and isotopic criteria for Central Iran", Iran Petrol. Inst. No. 15, pp.561-574. The recognition of carbonate mineralogy and climates during the Jurassic (e.g. form Iran and England): 13<sup>th</sup> Geol. Conv. Australia, (Abst), p.6., 1996.
- [7]. Gregg J. and Sibley D. E., "Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture", Jou. Sed. Petrology, 54, pp. 908-931., 1984.

- [8]. Macneil A. J., and Jones B., "Dolomitization of pedro castle formation (pliocen), Cayman Brac, British West Indies." Sed. Geol.164, pp. 216-238, 2003.
- [9]. Sellwood B. W., Scoot J., James B., and Evans R., "Regional significance of dolomitization in the Great Oolite reservoir facies of southern England", in J. Brooks, and K.W. Glennie, Petroleum Geology of North west Europe London: Graham and Trotman, pp.129-137., 1987.
- [10]. Adams A. E. and Rhodes M. L. "Dolomitization by seepage refluxion", Bull. Am. Asso. Petrol. Geology. Vol. 44, pp.1912-1920, 1960.
- [۱۱]. امرائی ج.، دیاژنز و ژئوشیمی بخش‌های آهکی سازند قم در ناحیه قم (مقاطع نرداقي، دوچاه، دوبرادر و کمرکوه)، دانشگاه تربیت معلم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۴.
- [12]. Wanless H. R., "Limestone response to stress, pressure solution and dolomitization", Jou. Sed. Petrology, Vol. 49, pp. 437-442, 1979.
- [13]. Hannover, "Petrographical Study Yortessa-e-3(Ys#3)", Vol. 2, Lab Investigation of the Aquifer Exploration Well, Kavrene Buuand Betrieps .GMBH. Co. 1999.
- [14]. [http:// dx.doi.org/10.1130/G32923.1](http://dx.doi.org/10.1130/G32923.1), Trude, T.Geomar, Helmholtz center for ocean research, Geology, 2012