

## شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی تیپ‌های مختلف دولومیت، بافت و فابریک آن‌ها در مخزن آسماری، میدان نفتی شادگان

آرمین امیدپور<sup>۱\*</sup>، رقیه فلاح‌بگتاش<sup>۲</sup> و سیدرضا موسوی‌حرمی<sup>۳</sup>

۱- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، اهواز، ایران

۲- گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

نویسنده مسئول: Armin.omidpour@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۲۵

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

مخزن آسماری به سن الیگوسن - میوسن در میدان نفتی شادگان از سنگ‌آهک و دولوستون‌های متخلخل در تناوب با ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها با ضخامت ۴۰۰ متر تشکیل شده است. دولومیتی شدن به عنوان مهم‌ترین فرآیند دیاژنتیکی، توالی مخزن آسماری را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه نقش اصلی در شکل‌گیری ساختار فضا‌های منفذی، ظرفیت جریان نهایی و ناهمگنی مخزن آسماری بازی کرده است. انواع تیپ دولومیت‌های شناسایی شده براساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی و بافتی به ویژه اندازه و شکل بلوری عبارتند از: D1: دولومیت بسیار ریزبلور و حفظ‌کننده فابریک، D2: دولومیت ریز تا متوسط بلور و حفظ‌کننده فابریک، D3: دولومیت متوسط تا درشت بلور و مخرب فابریک، D4: دولومیت درشت بلور یا زین‌اسبی. دو نوع فابریک تحت عنوان دولومیتی شدن انتخاب‌کننده فابریک و دولومیتی شدن فراگیر در بلورهای دولومیت شناسایی شد. براساس رده‌بندی بافتی، ۶ بافت شامل بافت ایدئوتوپیک، بافت هیپایدوتوپیک یا ایدئوتاپیک-S، بافت زئوتوپوپیک یا غیرصفحه‌ای-A، بافت ایدئوتاپیک-C یا صفحه‌ای-C، بافت پورفیروتوپیک و بافت پوئی‌کیلوتوپیک برای بلورهای دولومیت شناسایی شد. میانگین تمرکز استرانسیوم در نمونه‌های دولومیتی ۴۸۳ پی‌پی‌ام و میانگین تمرکز سدیم ۱۶۱۸ پی‌پی‌ام است که حاکی از مقادیر غنی شده استرانسیوم و سدیم در این نمونه‌هاست. مقدار میانگین آهن در نمونه‌های دولومیتی ۳۱۱۱ پی‌پی‌ام و میانگین تمرکز منگنز ۱۱۱ پی‌پی‌ام است. دولومیت (D1) با محتوی آهن و منگنز پایین ممکن است طی مراحل اولیه دیاژنز در یک محیط اکسیدان تشکیل شده باشند. مقادیر بالای آهن و منگنز در دولومیت‌های D3 و D4 نشان‌دهنده ته‌نشینی در یک محیط احیایی طی مراحل تدفین کم عمق تا نسبتاً عمیق است.

**واژگان کلیدی:** مطالعات پتروگرافی، دولومیت حفظ‌کننده فابریک، دولومیت مخرب فابریک، الیگوسن-میوسن، حوضه رسوبی زاگرس

### ۱- پیشگفتار

۱۹۹۲؛ موخوپادهای، ۱۹۹۶؛ چن و همکاران، ۲۰۰۴؛ وارن، ۲۰۰۶؛ آدابی، ۲۰۰۹). با در نظر گرفتن ویژگی‌های بیان شده می‌توان اطلاعات زیادی درباره شرایط تشکیل دولومیت‌ها، دما و شوری سیالات دولومیت‌ساز و در نهایت تفکیک دولومیت‌های اولیه از ثانویه به دست آورد. همچنین شناسایی فابریک‌های دولومیتی شدن در مخازن دولومیتی نقش مهمی در بررسی کیفیت مخزنی ایفا می‌کند، به نحوی که دولومیتی شدن انتخابی سبب بهبود کیفیت مخزنی، ولی دولومیتی شدن فراگیر به ویژه با فابریک مخرب سبب مسدود شدن تمامی منافذ و از بین رفتن کیفیت مخزنی می‌شود (امیدپور و همکاران، ۲۰۲۱؛ ۲۰۲۲؛ فلاح و همکاران، ۲۰۲۲؛ امیدپور و همکاران،

دولومیتی شدن یکی از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنتیکی در سازند آسماری است که ویژگی‌های مخزنی را به شدت تحت تأثیر قرار داده است (امیدپور و همکاران، ۲۰۲۱؛ ۲۰۲۲؛ فلاح و همکاران، ۲۰۲۱؛ ۲۰۲۲؛ احمدی و همکاران، ۲۰۲۲). دولومیت یک کانی کربناته است که سازوکار تشکیل آن هنوز مورد بحث اکثر دانشمندان است. با توجه به ویژگی‌های بافتی، اندازه، شکل و مرز بلورهای دولومیت، مشخصات رسوبی و اطلاعات ژئوشیمیایی طبقه‌بندی‌های مختلفی برای دولومیت‌ها ارائه شده است (فریدمن، ۱۹۶۵؛ مورو، ۱۹۸۲؛ گرگ و سیبلی، ۱۹۸۴؛ سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷؛ گرگ و شلتون، ۱۹۹۰؛ مازولو،

درجه و ۵ دقیقه تا ۳۱ درجه شمالی و طول بین ۴۹ درجه و ۶ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). این میدان از نظر ساختار زمین‌شناسی یک تاقدیس متقارن با ابعادی به طول ۲۳/۵ کیلومتر و عرض ۶/۵ کیلومتر در افق سازند آسماری است، به طوری که با دو ناودیس از میادین مارون و منصور و همچنین با دو فروافتادگی زین‌مانند از میادین اهواز و رامشیر جدا می‌شود (شکل ۱). سازند آسماری در این میدان دارای ضخامت بین ۲۰۲ تا ۴۰۰ متر است. ضخامت این سازند در چاه مورد مطالعه (شماره ۱۱) حدود ۴۰۰ متر است که مغزه‌گیری این چاه به صورت کامل<sup>۱</sup> صورت گرفته و کل ضخامت آسماری را پوشش می‌دهد. مخزن آسماری در این میدان از لحاظ لیتولوژی به طور عمده از آهک‌های کرم تا قهوه‌ای رنگ و دولوستون‌های متخلخل در تناوب با شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌ها تشکیل شده است. سازند آسماری به صورت هم‌شیب توسط رسوبات تبخیری سازند گچساران پوشیده شده و مرز زیرین آن با رسوبات مارلی و شیلی سازند پابده به صورت هم‌شیب است (شکل ۲).

در این پژوهش با استفاده از نتایج مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی نمونه‌های دولومیتی سازند آسماری سعی بر این شده است تا انواع مختلف دولومیت براساس بافت، اندازه بلورها، مرز بین بلورها و سایر مشخصه‌های بافتی و فابریکی بررسی و شناسایی شود. نتایج این مطالعه می‌تواند در بررسی کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان نفتی شادگان به کار گرفته شود.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و چینه‌شناسی سازند آسماری در میدان نفتی شادگان

میدان نفتی شادگان در حوضه رسوبی زاگرس در جنوب غرب ایران واقع شده است. در حوضه رسوبی زاگرس بر اساس فعالیت‌های تکتونیکی و تاریخچه رسوب‌گذاری، چهار زون تکتونو-استراتیگرافی قابل تشخیص است. این زون‌ها به ترتیب از سمت شمال غرب به جنوب شرق عبارتند از: لرستان، فروافتادگی دزفول، پهنه ایذه و فارس (حیدری، ۲۰۰۸؛ موتربو و همکاران، ۲۰۱۲). میدان نفتی شادگان در جنوب غرب فروافتادگی دزفول در عرض ۳۰



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی میدان نفتی شادگان در زون فروافتادگی دزفول، حوضه رسوبی زاگرس (اقتباس با اندکی تغییرات از شارلند و همکاران، ۲۰۰۴).

Fig. 1. The location map of the Shadegan Oil Field in Dezful Embayment, Zagros sedimentary basin (Modified after Sharland et al., 2004).

۳- روش پژوهش  
این مطالعه براساس نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی ۵۲۴ برش نازک تهیه شده از مغزه‌های حفاری چاه شماره ۱۱ میدان نفتی شادگان انجام شده است. کلیه مقاطع نازک میکروسکوپی توسط محلول آلیزارین قرمز و

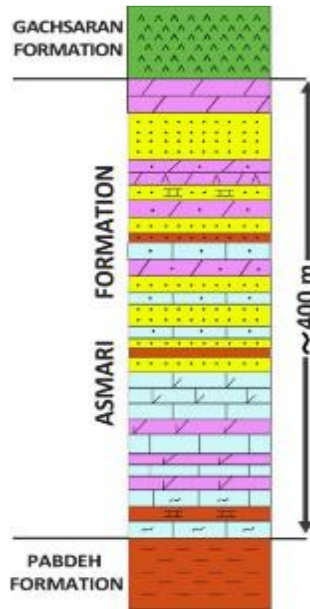
فروسیانید پتاسیم به منظور تشخیص کانی کلسیت از دولومیت به روش دیکسون (۱۹۶۵) رنگ‌آمیزی شد. به منظور نام‌گذاری دولومیت‌ها از طبقه‌بندی بافتی دولومیت<sup>۱</sup> ارائه شده توسط سیبلی و گرگ (۱۹۸۷)، مازولوو (۱۹۹۲)، چن و همکاران (۲۰۰۴) و آدابی (۲۰۰۹) استفاده شده

<sup>۱</sup> Dolomite-rock texture

<sup>۱</sup> Full core

دولومیت، اندازه بلورها، ریزبافت‌ها و فضاهای منفذی آنالیز شد. پس از مطالعه دقیق و کامل مقاطع نازک، تعداد ۳۲ نمونه دولومیتی انتخاب شد و جهت تعیین عناصر اصلی و فرعی با دستگاه جذب اتمی<sup>۳</sup> در آزمایشگاه دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد مورد آزمایش قرار گرفت. دقت اندازه‌گیری برای تعیین عناصر اصلی و فرعی حدود  $\pm 5\text{ppm}$  برای منگنز، آهن، استرانسیوم و سدیم، و  $0.05\%$  برای منیزیم است.

است. جهت بررسی‌های بافتی دقیق‌تر، بررسی احتمال حضور زون‌های رشدی در بلورهای دولومیت طی مراحل دیاژنتیکی پیشرونده و تشخیص دولومیت‌های نوع اول از دولومیت‌های تشکیل شده طی مراحل تدفین، تعداد ۱۰ نمونه بدون پوشش با میکروسکوپ کاتدولومینسانس در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد مورد آنالیز قرار گرفت. تعداد ۱۰ نمونه پوشش داده شده با طلا با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۲</sup> به منظور ارزیابی انواع



شکل ۲. ستون سنگ‌چینه‌ای سازند آسماری در چاه شماره ۱۱ میدان نفتی شادگان.

Fig. 2. Generalized lithostratigraphy column of the Asmari Formation in the SG-11 well of Shadegan Oil Field.

دولومیتی شدن به صورت انتخاب کننده فابریک: در فابریک دولومیتی شدن به صورت انتخاب کننده فابریک در سازند آسماری، عموماً بلورهای دولومیت، ماتریکس دانه ریز (گل آهکی) را برای دولومیتی شدن به فسیل‌ها ترجیح داده است که در این مورد دو نظریه به وجود می‌آید:  
الف: ممکن است محلول‌های دولومیت‌ساز به حد فوق‌اشباع نرسیده باشند، لذا فقط ماتریکس دولومیتی شده، اما خرده‌های فسیلی بدون تغییر باقی مانده است (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷). زیرا ماتریکس آهکی بدلیل دانه ریز بودن دارای سطح تماس بیشتری برای واکنش با سیال دولومیت‌ساز بوده، بنابراین در رقابت با قطعات فسیلی درشت‌تر، زودتر دولومیتی شده است.

#### ۴- بحث و نتایج

##### ۴-۱- انواع فابریک بلورهای دولومیت در سازند آسماری

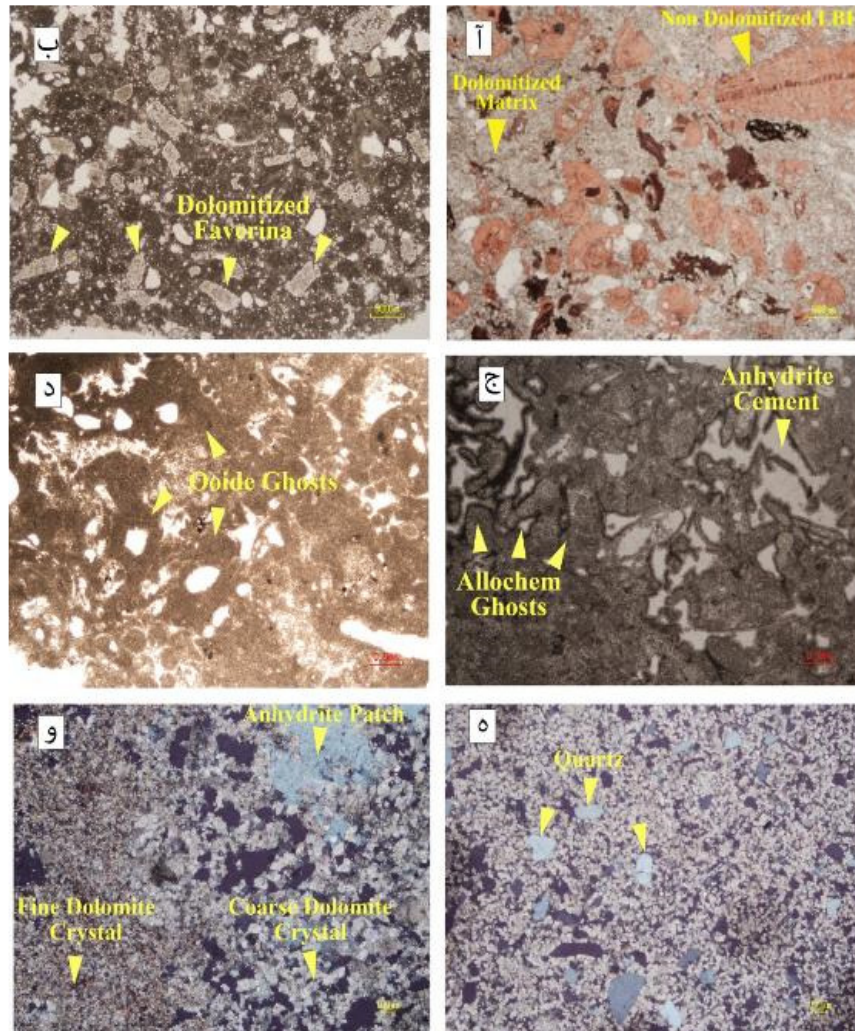
دو نوع فابریک در بلورهای دولومیت در سازند آسماری رخ داده است. در حالت اول فقط آلوم‌های خاص و یا میکرایت سنگ به صورت انتخاب کننده فابریک<sup>۱</sup> دولومیتی شده و بقیه اجزاء سنگ از دولومیتی شدن مصون مانده‌اند (شکل ۳، تصاویر آ و ب). در حالت دوم، دولومیتی شدن فراگیر<sup>۲</sup> به صورت فراگیر بدون استثناء تمام سنگ را دربرگرفته و تمامی دانه‌های اسکلتی، غیراسکلتی و ماتریکس دانه ریز زمینه‌ی سنگ را دولومیتی کرده است (شکل ۳، تصاویر ج، د، و ه).

<sup>1</sup> Fabric selective dolomitization

<sup>2</sup> Pervasive dolomitization

<sup>2</sup> SEM

<sup>3</sup> AAS



شکل ۳. (آ) دولومیتی شدن بصورت انتخاب کننده فابریک که فرامینیفرها و قطعات اسکلتی دولومیتی نشده‌اند (توسط محلول آلیزارین رد-اس برنگ صورتی در آمده‌اند)، اما ماتریکس دانه ریز تقریباً بطور کامل دولومیتی شده است (توسط محلول آلیزارین رد-اس رنگ نگرفته است). (ب) دولومیتی، رنگ آمیزی شده بوسیله محلول آلیزارین رد-اس؛ (ب) دولومیتی شدن به صورت انتخاب کننده فابریک در یک پکستون فاورینادار. ماتریکس دانه ریز دولومیتی نشده اما قطعات فاورینا و پلت‌ها تقریباً دولومیتی شده‌اند (نور معمولی)؛ (ج) دولومیتی شدن فراگیر بصورت حفظ کننده فابریک در یک پکستون بیوکلاست‌دار که سنگ ۱۰۰ درصد دولومیتی شده است. آلوکم‌ها بدون تخریب ساختمان میکروسکوپی به دولومیت تبدیل شده‌اند و فضای خالی باقی مانده بین آلوکم‌ها با سیمان انیدریتی (بخش‌های سفید رنگ) در مراحل بعدی دیاژنز پر شده است (نور معمولی)؛ (د) پکستون کاملاً دولومیتی شده که شبیح ایده‌ها قابل مشاهده است. بخش‌های روشن‌تر سیمان انیدریتی است (نور معمولی، رنگ آمیزی شده بوسیله محلول آلیزارین رد-اس)؛ (ه) دولومیتی شدن فراگیر بصورت تخریب کننده فابریک که اثری از آلوکم‌های اولیه باقی نمانده است (نور پلاریزه، رنگ آمیزی شده بوسیله محلول آلیزارین رد-اس)؛ (و) دولومیتی شدن فراگیر بصورت تخریب کننده فابریک. بلورهای دولومیت در دو اندازه متفاوت تمام فابریک و بافت اولیه سنگ را تخریب کرده، تخلخل بین بلوری (بخش‌های سیاه رنگ) توسعه خوبی پیدا کرده هر چند در بعضی نقاط با سیمان انیدریتی (بخش خاکستری) پر شده است (نور پلاریزه، رنگ آمیزی شده بوسیله محلول آلیزارین رد-اس).

Fig. 3. (a) Fabric-selective dolomitization that has extensively dolomitized the wackestone matrix (not colored with Alizarin Red-S) and only the foraminifera and skeletal fragments have been spared from dolomitization (colored pink by Alizarin Red-S) (ppl, stained with Alizarin Red-S); (b) Fabric-selective dolomitization in a Favosites packstone that totally dolomitized Favosites fragments and pellets but the matrix remained immune from dolomitization (ppl); (c) Pervasive dolomitization (fabric-retentive dolomite) in a bioclastic packstone where the rock is 100% dolomitized. The primary texture of allocames is preserved during dolomitization and the intergranular porosities have been filled by anhydrite cement (white color parts) during late diagenesis (ppl); (d) A completely dolomitized packstone texture where the ghosts of the ooids is visible. The lighter parts are anhydrite cement (ppl, stained with Alizarin Red-S); (e) Pervasive dolomitization (fabric-destructive dolomite) that leaves no trace of the original texture (xpl, stained with Alizarin Red-S); (f) Pervasive dolomitization (fabric-destructive dolomite). Dolomite crystals in two different crystal sizes have destroyed all the fabric and the primary texture of the rock, the intercrystalline porosity (black colored parts) has been well developed, although in some places it is filled by anhydrite cement (gray colored part) (xpl, stained with Alizarin Red-S).

ب). فضای خالی بین بلورهای دولومیت به صورت تخلخل بین بلوری خالی یا پر شده با کانی‌های دیگر مانند انیدریت و یا ماتریکس آهکی است. چنانچه در این نوع بافت، تخلخل‌های بین بلورهای دولومیت خالی باقی بماند، می‌توان از واژه‌ی "دولومیت دانه شکری"<sup>۶</sup> برای نام‌گذاری بافت سنگ استفاده کرد. دولومیت‌های دانه شکری نتیجه جانشینی آهک توسط دولومیت هستند که بلورهای آن‌ها بصورت لوزی‌های خودشکل بوده و تخلخل بین بلوری خوبی را تشکیل داده که منجر به نفوذپذیری خوبی در این دولومیت‌ها می‌شود. در این حالت بلورها در حین رشد به محض تماس با یکدیگر رشدشان متوقف شده<sup>۷</sup> و تخلخل بین بلورین به وجود آمده است (شکل ۴، ج).

۲- بافت هیپایدوتوپیک<sup>۸</sup> یا ایدیوتوپیک<sup>۹</sup>-S: این بافت، موزاییکی از بلورهای نیمه‌شکل‌دار<sup>۱۰</sup> دولومیت با مرز بین بلوری نیمه مسطح (صفحه‌ای - نوع S)<sup>۱۱</sup> را تشکیل داده است (شکل ۴، تصویر د). این بافت دارای تخلخل بین بلوری کمتری است و در عین حال به دلیل کم بودن تخلخل بین بلوری دارای ماتریکس بین بلوری کمتری نیز است. مورو (۱۹۸۲) معتقد است که دولومیت‌های با مرزهای بلوری نیمه مسطح (بافت هیپایدوتوپیک) در نتیجه رشد آرام بلورها بوجود آمده‌اند. این نظریه بعداً توسط سیبلی و گرگ (۱۹۸۷) کامل تر شد و به این صورت بیان شد که این بافت نتیجه رشد آرام بلورها تحت جریان پیوسته‌ای از سیالات دولومیت‌ساز در دمای پایین است. این بافت می‌تواند بیانگر جانشینی آهک توسط دولومیت و یا نتیجه نئومورفیسم (تبلور مجدد) بلورهای ریز دولومیت‌های اولیه باشد.

۳- بافت زوتوپوپیک<sup>۱۲</sup> یا غیرصفحه‌ای<sup>۱۳</sup>-A: در این بافت، موزاییکی از بلورهای بی‌شکل دولومیت با مرز بین بلوری غیرمسطح (غیرصفحه‌ای) مشاهده می‌شود. مرز بلوری غیرمسطح در این بافت بصورت منحنی شکل، دنداندار و نامنظم نمایان می‌شود (شکل ۴، تصاویر ه و). این بلورها در محیط دیاژنزی تدفینی تشکیل شده‌اند، زیرا دمای تشکیل آن‌ها بالاتر از دمای<sup>۱۴</sup> بحرانی نامنظم کننده است. تنها در محیط دیاژنزی تدفینی دما از دمای بحرانی

ب: ممکن است ماتریکس آهکی اولیه دارای ترکیب آراگونیتی و فسیل‌ها دارای ترکیب کلسیتی بوده، لذا بلور دولومیت ممکن است به طور انتخابی بر روی ماتریکس آراگونیتی هسته‌سازی کرده باشد (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷). زیرا ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی مثل کاتالیزور عمل می‌کند و دولومیتی شدن را سرعت می‌بخشد، لذا آراگونیت به سهولت بیشتری نسبت به کلسیت، دولومیتی شده است (سیبلی و همکاران، ۱۹۸۷؛ فلاح و همکاران، ۲۰۲۰). به احتمال زیاد زمان وقوع دولومیتی شدن انتخابی در ماتریکس دانه ریز در مقایسه با خرده‌های اسکلتی، مراحل اولیه دیاژنز باشد (زنگر و دانهام، ۱۹۸۸). در دولومیتی شدن به صورت انتخاب کننده فابریک، بندرت ممکن است اتفاق بیافتد که دانه‌ها زودتر از ماتریکس دولومیتی شود (شکل ۳، تصویر ب). این امر به احتمال زیاد می‌تواند در ارتباط با ترکیب آراگونیتی دانه‌ها باشد. **دولومیتی شدن فراگیر:** دولومیتی شدن فراگیر در توالی کرناته سازند آسماری به دو حالت/ فابریک رخ داده است. در برخی از مقاطع نازک میکروسکوپی، فابریک اولیه سنگ حفظ شده و در نتیجه دولومیت جانشینی به صورت دولومیت‌های حفظ کننده فابریک<sup>۱</sup> رخ داده است (شکل ۳ ج و د). در برخی دیگر از مقاطع نازک میکروسکوپی، کل فابریک اولیه سنگ تخریب شده و به عبارت دیگر دولومیت‌های جانشینی به صورت دولومیت‌های تخریب کننده فابریک<sup>۲</sup> عمل کرده به نحوی که اجزای تشکیل دهنده سنگ قابل شناسایی نبوده و فقط شب‌هایی از آلوم‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳ و-ه).

#### ۴-۲- انواع بافت بلورهای دولومیت

براساس طبقه‌بندی بافتی ارایه شده توسط سیبلی و گرگ (۱۹۸۷)، ۶ بافت مختلف برای بلورهای دولومیت در سازند آسماری شناسایی و معرفی شد که در زیر به شرح آن‌ها پرداخته شده است:

۱- بافت ایدیوتوپیک<sup>۹</sup>: در این بافت موزاییکی از بلورهای خودشکل<sup>۴</sup> دولومیت با مرز بین بلوری مسطح (صفحه‌ای - e)<sup>۵</sup> مشاهده می‌شود (شکل ۴، تصاویر آ و

<sup>8</sup> Hypidiotopic

<sup>9</sup> Idiopic-S

<sup>10</sup> Subhedral

<sup>11</sup> Planar-S

<sup>12</sup> Xenotopic

<sup>13</sup> Non-planar-anhedral

<sup>14</sup> CRT= Critical roughening temperature

<sup>1</sup> Fabric retentive dolomite

<sup>2</sup> Fabric destructive dolomite

<sup>3</sup> Idiopic

<sup>4</sup> Euhedral

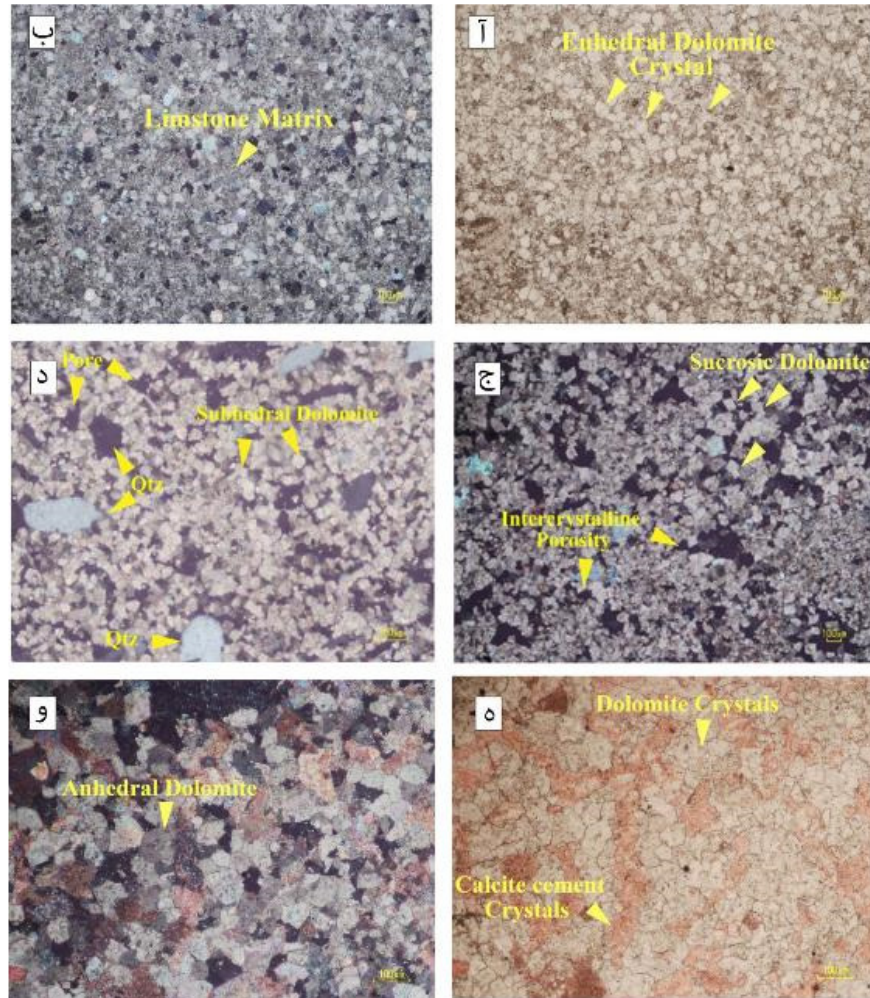
<sup>5</sup> Planar-e

<sup>6</sup> Sucrosic Dolomite

<sup>7</sup> Contact Inhibition

شبکه بلورین خمیده<sup>۱۷</sup> هستند که منجر به خاموشی موجی و نیز در صورت داشتن کلیواژ، انحناءدار بودن کلیواژها می‌شود. دولومیت‌های زین‌اسبی عموماً به شکل سیمان و بطور مستقیم توسط سیالات دیاژنزی در درون حفره‌ها نهشته شده‌اند (شکل ۱۲ تصاویر آ و ب).

نامنظم کننده بالاتر می‌رود. البته برخی از پژوهشگران معتقدند که علاوه بر دمای بالاتر از حد بحرانی، بلورهای بی‌شکل دولومیت در درجه اشباع بالای سیال دولومیت‌ساز نیز تشکیل می‌شوند (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷؛ گرگ و شلتون، ۱۹۹۰). دولومیت زین‌اسبی<sup>۱۵</sup> یا بی‌تناسب<sup>۱۶</sup> نوع خاصی از دولومیت غیرصفحه‌ای است که بلورها دارای



شکل ۴. (آ) بلورهای دولومیت با بافت ایدیوتوپیک که بصورت خود شکل با مرز بلوری مسطح بوده و فضای بین بلورها با میکرایت پر شده است (نور معمولی)؛ (ب) تصویر (آ) در نور پلاریزه؛ (ج) دولومیت‌های دانه شکری با بافت ایدیوتوپیک که بصورت لوزی‌های خود شکل، تخلخل بین بلورین (نقاط تیره رنگ) و نفوذپذیری خوبی را تشکیل داده‌اند (نور پلاریزه)؛ (د) بلورهای دولومیت با بافت هیپایدوتوپیک یا ایدیوتوپیک-S که دارای بلورهای نیمه شکل‌دار دولومیت و مرز نیمه مسطح بین بلورها است (نور پلاریزه، رنگ آمیزی شده بوسیله محلول آلیزارین رد-اس)؛ (ه) دولومیت‌های جانیشینی با بافت زنوتوپیک متشکل از بلورهای بی‌شکل دولومیت و مرز غیر مسطح (غیرصفحه‌ای) بین بلورها که جانشین زمینه شده است (نور معمولی، رنگ آمیزی شده بوسیله محلول آلیزارین رد-اس)؛ (و) تصویر (ه) در نور پلاریزه.

Fig. 4. (a) Dolomite crystals with an idiotopic texture that are euhedral with planar-e crystalline boundaries and the intercrystalline pores are filled by micrite (ppl); (b) Figure a under xpl; (c) Sucrosic dolomites with idiotopic texture, which euhedral rhombuses formed intercrystalline porosity (dark colored points) and good permeability (xpl); (d) Hypidiotopic or Idiotoxic-S dolomite texture with subhedral crystals and planar-S crystalline boundaries (xpl, stained with Alizarin Red-S); (h) Replacive dolomites with a xenotopic texture composed of anhedra medium-crystalline, fabric-destructive dolomites and non-planar crystalline boundaries which is replaced calcite matrix (ppl, stained with Alizarin Red-S); (w) Figure h under xpl.

<sup>17</sup> Distorted

<sup>15</sup> Saddle

<sup>16</sup> Baroque

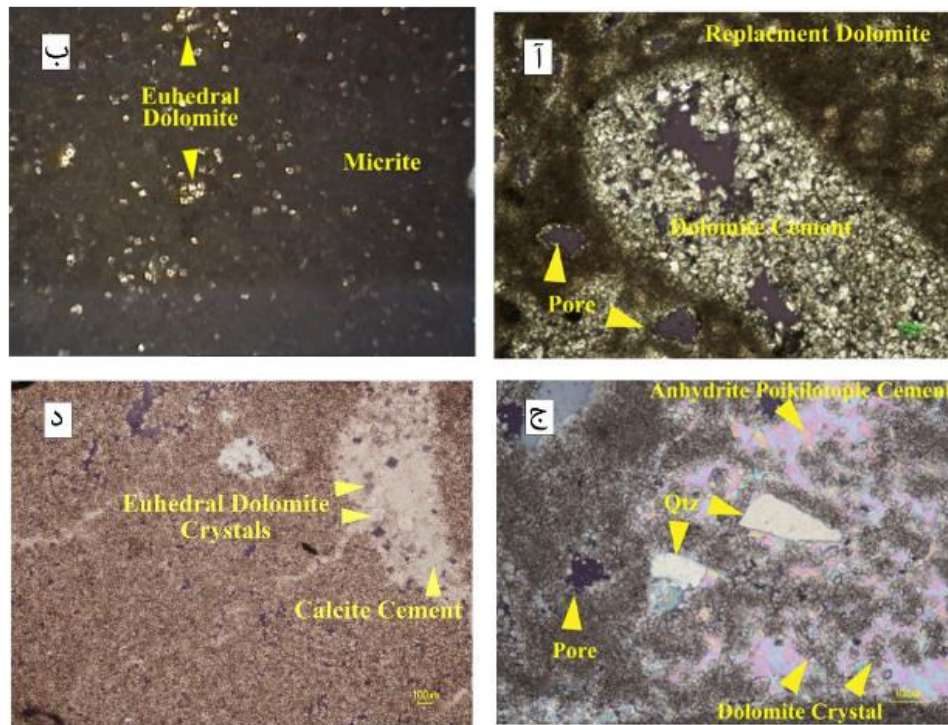
پورفیروتوپیک غیرمسطح-P<sup>۵</sup> در مقاطع مورد مطالعه مشاهده شد:

(الف) بافت پورفیروتوپیک مسطح-P یا ایدئوتاپیک-P<sup>۶</sup>: که بلورهای خودشکل دولومیت در زمینه‌ای از گل آهکی شناور هستند. این بافت معادل بافت دولومیت مسطح P-مازولو (۱۹۹۲) است (شکل ۵، تصویر ب).

(ب) بافت پورفیروتوپیک غیرمسطح-P: بلورهای بی‌شکل دولومیت در زمینه‌ای از گل آهکی شناور هستند. به طور کلی بافت پورفیروتوپیک نتیجه‌ی دولومیتی شدن بخشی یا جزئی<sup>۷</sup> گل‌های آهکی و انحلال کلسیت پرمینیم در محیط دیاژنزی تدفینی کم عمق نسبت داده می‌شود (موخوپادهای، ۱۹۹۶).

۴- بافت ایدئوتاپیک<sup>۱</sup>-C یا صفحه‌ای-C<sup>۲</sup>: بلورهای خود شکل دولومیت به عنوان سیمان دولومیتی حفره پرکن تشکیل شده و دیواره فضای خالی یا تمام فضای خالی را پر کرده است. مرز بین بلورهای دولومیت از نوع مسطح (صفحه‌ای) است. از آنجایی که این دولومیت‌ها محصول رسوب مستقیم از سیال دولومیت‌ساز هستند و محصول جانشینی آهک نیستند، لذا دارای ظاهری شفاف و روشن بوده و فاقد ادخال‌های آهکی می‌باشند (شکل ۵، آ).

۵- بافت پورفیروتوپیک<sup>۳</sup>: در این بافت بلورهای دولومیت در زمینه‌ای از گل آهکی شناور هستند (شکل ۵، تصویر ب). بافت پورفیروتوپیک بر حسب شکل بلورهای دولومیت خود به دو بافت فرعی‌تر پورفیروتوپیک مسطح P-<sup>۴</sup> و



شکل ۵. (آ) بلورهای شکل‌دار دولومیت به شکل سیمان حفره پرکن فضای خالی را پر کرده‌اند و تشکیل بافت Planar-C را داده‌اند (نور پلاریزه)؛ (ب) دولومیت‌های جانشینی با بافت پورفیروتوپیک یا ایدئوتاپیک-P که بلورهای خودشکل دولومیت در زمینه گل کربناته شناور هستند (نور پلاریزه)؛ (ج) بلورهای خودشکل دولومیت (فلش) که در زمینه سیمان انیدریتی شناور بوده و بافت پوئیکیلوتوپیک را بوجود آورده است (نور پلاریزه، رنگ آمیزی شده بوسیله محلول آلزارین رد-اس)؛ (د) بلورهای خودشکل دولومیت (فلش) که در زمینه سیمان کلسیتی شناور بوده و بافت پوئیکیلوتوپیک را بوجود آورده است (نور پلاریزه).

**Fig. 5. (a) Euhedral dolomite crystals in the form of vein-filling cement are filled the pore space and formed the Planar-C texture (xpl); (b) Replacive dolomites with porphyrotopic or idiotopic-P texture, which euhedral dolomite crystals are floating in the lime mud matrix (xpl); (c) Euhedral dolomite crystals (arrow) are floated within anhydrite cement and formed poikilotopic texture (xpl, stained with Alizarin Red-S); (d) Euhedral dolomite crystals (arrow) are floated within calcite cement and formed poikilotopic texture (xpl).**

<sup>5</sup> Nonplanar-P

<sup>6</sup> Idiotopic-P

<sup>7</sup> Partial dolomitization

<sup>1</sup> Idiotopic-C

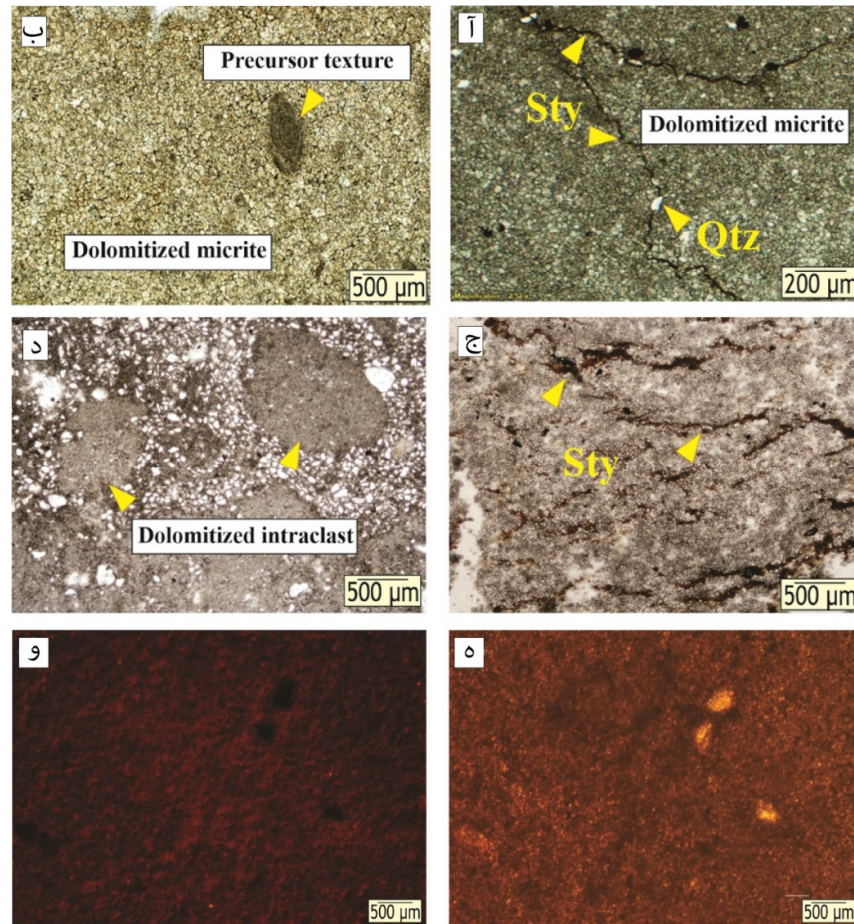
<sup>2</sup> Cement

<sup>3</sup> Porphyrotopic

<sup>4</sup> Planar-P

پوئیکیلوتوپیک به ویژه در بخش‌های فوقانی سازند آسماری که انیدریتی شدن و دولومیتی شدن تواما رخ داده است به وفور مشاهده می‌شود. در این بخش از سازند آسماری بلورهای دولومیت در اندازه‌های مختلف در زمینه‌ای از سیمان انیدریتی فراگیر شناور هستند و یا اینکه بلورهای دولومیت بر روی سیمان‌های تکه‌ای<sup>۲</sup> انیدریت قرار گرفته‌اند. از دیدگاه مخزنی، وجود بافت پوئیکیلوتوپیک در بخش‌های دولومیتی سبب کاهش کیفیت مخزنی این بخش‌ها شده است.

۶- بافت پوئیکیلوتوپیک<sup>۱</sup>: در برخی از مقاطع به ویژه در بخش‌های بالایی توالی رسوبی سازند آسماری، بلورهای خود شکل دولومیت در زمینه‌ای از سیمان انیدریتی (شکل ۵، تصویر ج) یا سیمان کلسیتی (شکل ۵، تصویر د) اسپاری شناور بوده و بافت پوئیکیلوتوپیک را تشکیل داده است (فریدمن، ۱۹۶۵؛ کاویان‌پور و همکاران، ۲۰۱۳). در بافت پورفیروتوپیک، بلورهای دولومیت در زمینه‌ای از میکرایت و یا دانه‌ها و بلورهای ریزتر از خود شناورند، اما در بافت پوئیکیلوتوپیک، بلورهای دولومیت در زمینه‌ای از بلورهای کلسیت‌اسپاری یا انیدریت درشت‌تر از خود شناورند.



شکل ۶. (آ) دولومیت بسیار ریز تا ریز بلور و بی‌شکل D1 همراه با استیلولیت‌های دامنه کوتاه (Sty) (نور معمولی); (ب) دولومیت D1 همراه با بافت پیشین (پلوئید و بائوکلاست) به خوبی حفظ شده (نور معمولی); (ج) بافت استیلولیتی دسته جارویی در زمینه‌ای از دولومیت‌های ریز تا متوسط بلور D2 (نور معمولی); (د) اینتراکلاست‌های دولومیتی (D1) در ماتریکس ماسه‌سنگی (ذرات سفید رنگ) (نور معمولی); (ه) و (و) تصاویر CL (کاتدولومینسانس) از دولومیت D1 و مادستون کاملاً دولومیتی (دولومیکرایت) شده به صورت حفظ کننده فابریک. دولومیت‌های بسیار ریز بلور یا نهان بلور در تصویر CL رنگ قرمز نسبتاً همگنی را نشان می‌دهند و فاقد کاتدولومینسانس هستند.

Fig. 6. (a) Very fine to fine-crystalline, anhedral dolomite (D1) with low amplitude stylolite (Sty) (ppl); (b) D1 dolomite with well-preserved precursor texture (peloid and bioclast) (ppl); (c) Wispy stylolite texture within recrystallized fine to medium-crystalline dolomites (D2), (d) Dolomitized intraclasts (D1) in a sandstone matrix (white grains) (ppl); (h and w) CL images of D1 dolomite and fully dolomitized mudstone (dolomicrite) with fabric-preserving fabric. Very fine or cryptocrystalline dolomite crystals in the CL image shows a relatively homogenous red color and have no luminescence.

<sup>2</sup> Patch

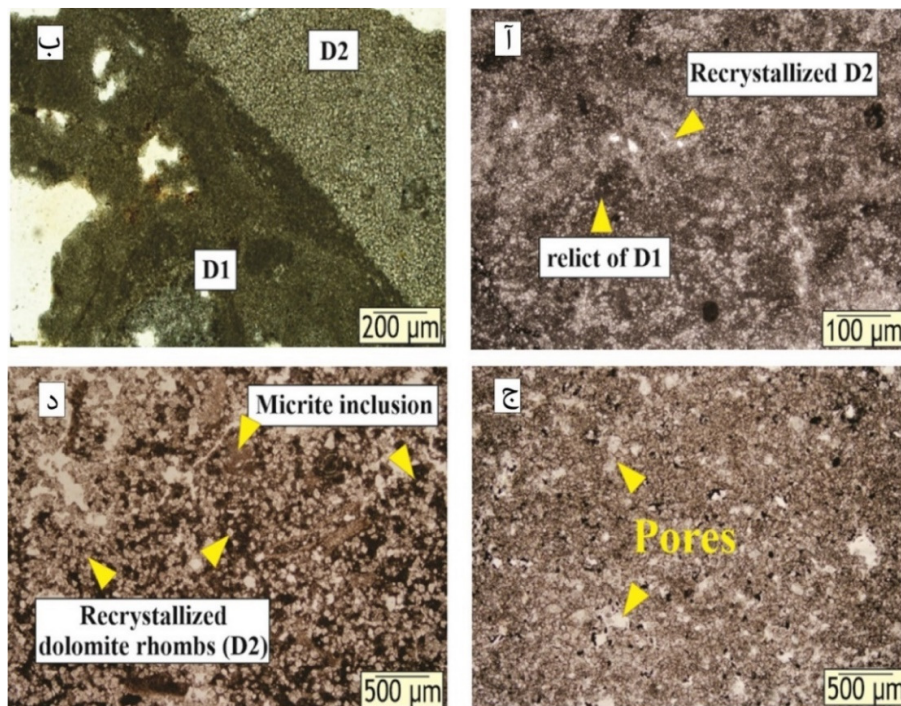
<sup>1</sup> Poikilotpoic



و مراحل تدفین هستند. دولومیت‌های D1 فاقد لومینسانس بوده (شکل ۶، تصاویر و و ه) و بلورها به صورت غیرمسطح تا نیمه مسطح با مرزهای بلوری نامنظم هستند (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷). در میکروسکوپ SEM، این نوع دولومیت‌ها دارای سطوح بلوری صاف، خورده تا غیرخورده<sup>۲</sup> با تخلخل‌های بین‌بلوری بسیار کم هستند. از نظر ژئوشیمیایی، میانگین تمرکز استرانسیوم ۱۳۱ پی‌پی‌ام، سدیم ۱۲۶۲ پی‌پی‌ام، آهن ۱۲۷۴ پی‌پی‌ام و منگنز ۵۱ پی‌پی‌ام است (امیدپور و فلاح، ۲۰۲۲). دیاژنز متئوریکی و شرایط احیایی منجر به افزایش مقادیر آهن و منگنز در کربنات‌ها می‌شود (هرندون، ۲۰۱۸). لذا تمرکز پایین مقادیر آهن و منگنز در دولومیت‌های ریزبلور در بخش‌های بالایی توالی رسوبی آسماری احتمالاً می‌تواند حاکی از تشکیل این دولومیت‌ها در شرایط اکسیدان و یا تاثیر ناچیز دگرسانی دیاژنتیکی توسط سیالات متئوریکی باشد.

۳-۴ - تیپ‌های اصلی دولومیت در مخزن آسماری براساس ویژگی‌های بافتی (سیبلی و گرگ، ۱۹۸۷؛ مازولو، ۱۹۹۲؛ چن و همکاران، ۲۰۰۴) چهار نوع دولومیت (D1 تا D4) در توالی رسوبی مورد مطالعه از سازند آسماری شناسایی و معرفی شد (امیدپور و همکاران، ۲۰۲۳a):

۱- دولومیت بسیار ریز تا ریزبلور<sup>۱</sup> (D1): دولومیت بسیار ریز تا ریزبلور عمدتاً به صورت بلورهای بی‌شکل با اندازه کمتر از ۱۰ میکرون در قسمت‌های بالایی توالی رسوبی آسماری تشکیل شده است (شکل ۶، تصویر آ). ویژگی‌های رسوبی مانند حضور بقایای پلویدها و خرده‌های اسکلتی (شکل ۶، تصویر ب)، وجود بقایای لامینه‌های جلبکی در امتداد استیلولیت‌ها (شکل ۶، تصویر ج)، آثار ریشه‌ها و اینتراکست‌های دولومیتی که متشکل از دولومیت‌های بسیار ریزبلور هستند (شکل ۶، تصویر د)، همگی بیانگر تشکیل این دولومیت در مراحل اولیه دیاژنز و قبل از تراکم



شکل ۷. (آ) بلورهای دولومیت D2 از تبلور مجدد دولومیت D1 حاصل شده است، بقایایی از دولومیت D1 در زمینه قابل مشاهده است (نور معمولی)؛ (ب) بلورهای دولومیت D2 و D1 که به خوبی بایومدال بودن اندازه بلورهای دولومیت را نشان می‌دهد (نور معمولی)؛ (ج) تبلور مجدد کامل D1 منجر به تشکیل دولومیت D2 شده است که خود منجر به گسترش تخلخل‌های بین بلوری شده است (نور معمولی)؛ (د) اینکلوژن‌هایی از دولومیت D1 در ماتریکس دولومیت D2 که از تبلور مجدد دولومیت D1 حاصل شده است، بافت اولیه سنگ وکستون تا پکستون بیوکلاست دار است (نور معمولی).

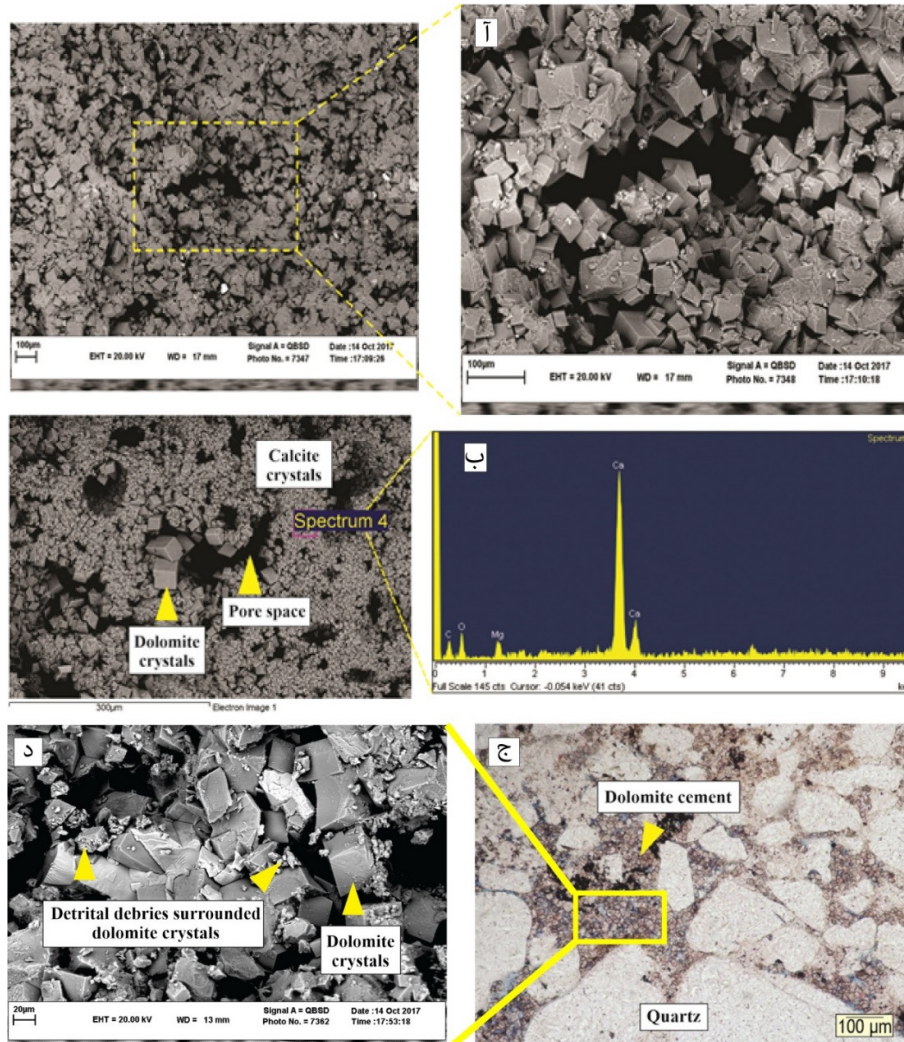
**Fig. 7.** (a) D2 dolomite crystals result from recrystallization of D1 dolomite, relicts of D1 dolomite are visible in the matrix (ppl); (b) D1 and D2 dolomite crystals which shows the dolomite crystal sizes as bimodal (ppl); (c) Complete recrystallization of D1 has led to the formation of D2 dolomite, which itself has led to the creation of intercrystalline porosities (ppl); (d) D1 inclusions in the matrix of recrystallized D2 resulted from recrystallization of D1 dolomite, the primary texture of rock is bioclastic wackestone to packstone (ppl).

<sup>2</sup> smooth, corroded to non-corroded

<sup>1</sup> very fine to fine-crystalline

کلسیتی پراکنده هستند (شکل ۷، تصویر آ). تخلخل بین‌بلوری نسبتاً بالاتر از تخلخل موجود در دولومیت D1 است (شکل ۷، تصویر ج). دولومیت‌های تشکیل شده در نتیجه تبلور مجدد با بافت استیلولیتی جارویی<sup>۲</sup> متداول بوده و حاوی بقایایی از دولومیت‌های ریزبلور D1 هستند (شکل ۷، تصاویر آ و د، شکل ۸، تصویر آ).

۲- دولومیت ریز تا متوسط بلور و حفظ کننده فابریک<sup>۱</sup> (D2): دولومیت ریز تا متوسط بلور و حفظ کننده فابریک از بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار با الگوی خاموشی همگن تشکیل شده است (شکل ۷). اندازه بلورها بین ۳۰ تا ۵۰ میکرون متغیر بوده و توزیع اندازه بلورها به صورت یونی‌مودال است. بلورهای دولومیت D2 در ماتریکس



شکل ۸. (آ) تصویر SEM از بلورهای دولومیت D2 که در بین آن‌ها بلورهای ریز دولومیت D1 نیز مشاهده می‌شود. بلورهای ریز تا متوسط دولومیت شکل‌دار (رهموندرال) بوده و دارای سطوح مستقیم هستند، در این میان تخلخل‌های بین بلوری به خوبی گسترش یافته و نفوذپذیری سنگ را تا حد زیادی بهبود بخشیده است؛ (ب) تصویر SEM از دولومیت و ماتریکس غیر دولومیتی (کلسیت) به همراه حفرات موجود در آن. بخشی از فضای خالی این حفرات توسط بلورهای دولومیت شکل‌دار D2 پر شده است؛ (ج) تصویر میکروسکوپی از ماسه‌سنگ دولومیتی با سیمان دولومیتی؛ (د) تصویر SEM از سیمان دولومیتی در ماسه‌سنگ. دولومیت ریز تا متوسط بلور، مسطح و شکل‌دار با فابریک مخرب فضاهای خالی بین دانه‌های کوارتز را پر کرده است.

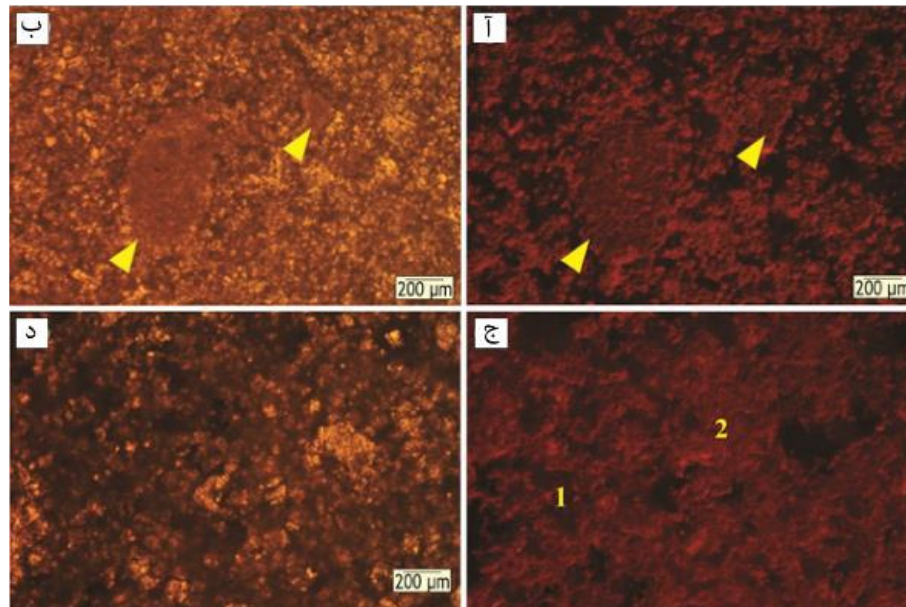
Figure 8. (a) SEM image of D2 dolomites with mixture of fine dolomite crystals (D1). The fine to medium dolomite crystals are euhedral (rhombohedral) and have planar crystalline boundary, meanwhile the intercrystalline pores are well expanded and the permeability of the rock has improved to a great extent; (b) The SEM image showing both dolomite and undolomitized (calcite) matrix together with relict pores. Part of the pore space is filled by D2 euhedral dolomite crystals; (c) Thin section image of a dolomitic sandstone with dolomite cement, (d) SEM images showing dolomite cement in sandstone. Fabric destructive, planar-E, fine to medium crystalline dolomite has filled between the quartz grains.

<sup>2</sup> wispy stylolite textures

<sup>1</sup> fine to medium-crystalline and fabric-retentive

زیادی در بخش‌های بالایی توالی رسوبی آسماری است. بررسی ژئوشیمیایی دولومیت‌های D2 نشان می‌دهد که میانگین تمرکز استرانسیوم ۵۹۸ پی‌پی‌ام، سدیم ۱۶۹۵ پی‌پی‌ام، آهن ۴۲۲۰ پی‌پی‌ام و منگنز ۱۳۶ پی‌پی‌ام است (امیدپور و فلاح، ۲۰۲۲).

این بلورها در تصاویر SEM به صورت حفره پرکن در سنگ‌های آهکی (شکل ۸، تصویر ب) و نیز به صورت سیمان در ماسه‌سنگ‌ها بخوبی نمایان هستند (شکل ۸، تصاویر ج و د). دولومیت‌های D2 لومینسانس قرمز روشن نشان می‌دهند (شکل ۹). دولومیت D2 دارای فراوانی



شکل ۹: (آ) و (ب) تصاویر CL از بلورهای دولومیت D2 و پلوئیدهای دولومیتی شده. بلورهای دولومیت D2 به صورت حفظ‌کننده فابریک جانشین پلوئیدها شده است و دارای رنگ قرمز یکنواخت در CL است. پلوئیدهای دولومیتی شده لومینسانس قرمز نشان می‌دهند و دولومیت D2 اطراف آن لومینسانس قرمز روشن‌تری را نشان می‌دهد؛ (ج) و (د) تبلور مجدد D1 به D2. آثار دولومیت D1 (۱) رنگ قرمز همگنی را نشان می‌دهد و دولومیت D2 حاصل از تبلور مجدد (۲) لومینسانس قرمز روشن‌تری را نشان می‌دهد.

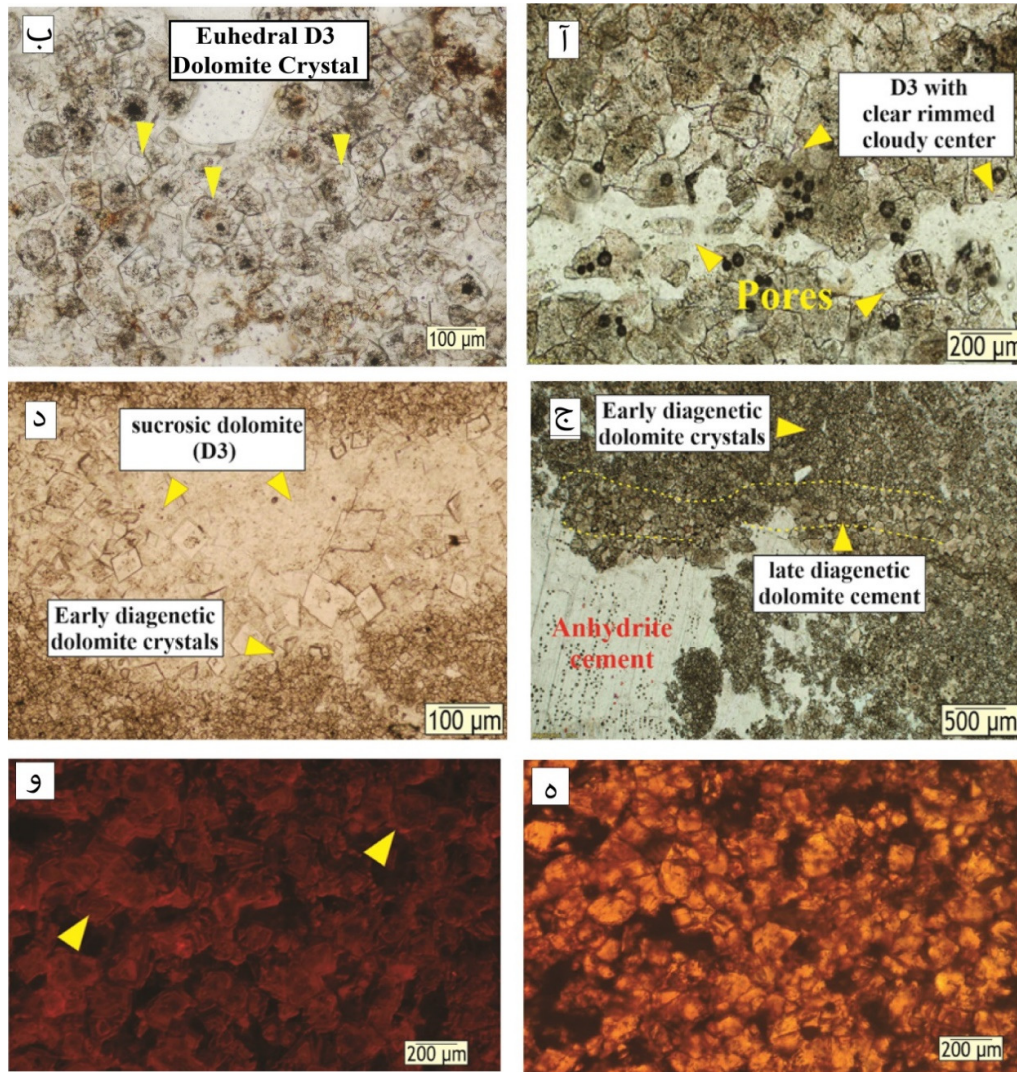
**Figure 9. (a and b) CL images of D2 dolomite crystals and dolomitized peloids. Fabric-preserving dolomite (D2) replaced the peloids and has a uniformly red CL. The dolomitized peloids show red luminescence and the surrounding D2 show brighter red luminescence; (c and b) Recrystallization of D1 to D2. Relicts of D1 (1) shows the homogenous red color and recrystallized D2 (2) show brighter red luminescence.**

تخلخل بین‌بلوری فراوان وجود دارد (شکل ۱۱، تصویر ب). برخی از دولومیت‌های D3 دارای مراکز کدر و ابری با حاشیه شفاف هستند (شکل ۱۰، تصویر آ و ب). در میکروسکوپ کاتدولومینسانس، بلورهای D3 رنگ‌های قرمز نارنجی روشن و لومینسانس تیره یا قرمز تیره در مراکز بلوری را نشان می‌دهند (شکل ۱۰، تصاویر ه و و). این نوع از دولومیت در کل توالی رسوبی سازند آسماری پراکنده است. مطالعه ژئوشیمیایی دولومیت‌های D3 نشان می‌دهد که میانگین تمرکز استرانسیوم ۴۴۸ پی‌پی‌ام، سدیم ۱۶۶۳ پی‌پی‌ام، آهن ۱۹۱۱ پی‌پی‌ام و منگنز ۹۴ پی‌پی‌ام است (امیدپور و فلاح، ۲۰۲۲).

۳- دولومیت متوسط تا درشت بلور، تخریب‌کننده فابریک<sup>۱</sup> (D3): دولومیت متوسط تا درشت بلور شامل بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار با فابریک نیمه‌مسطح تا غیرمسطح و مرزهای بلوری خمیده، عدسی‌شکل و دندان‌دار است (شکل ۱۰، تصاویر آ و ب). اندازه بلورها از ۸۰ تا ۲۰۰ میکرون متغیر است (شکل ۱۰، تصاویر ج و د) و بلورها خاموشی موجی ضعیفی را نشان می‌دهند. دولومیت D3، از موزاییک‌های درشت بی‌شکل تا شکل‌دار<sup>۲</sup> تا سیمان‌پرکننده حفرات در مراحل تاخیری دیاژنز تشکیل شده (شکل ۱۱، تصویر ج) که اغلب دولومیت‌های D1 و D2 را قطع می‌کنند (شکل ۱۰، تصویر ج)، و در آن

<sup>2</sup> Xenotopic to idiotopic

<sup>1</sup> medium to coarse-crystalline and fabric-destructive



شکل ۱۰. (آ) و (ب) بلورهای متوسط تا درشت، بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار، با فابریک مخرب دولومیت D3 که دارای مراکز مه‌آلود و کدر و حاشیه شفاف است که طی دولومیتی شدن تاخیری در مراحل تدفین عمیق تشکیل شده‌اند (نور معمولی)؛ (ج) بلورهای دولومیت D1 تشکیل شده در مراحل اولیه دیاژنز جانشین ماتریکس گلی شده‌اند و بلورهای دولومیت تشکیل شده در مراحل تاخیری دیاژنز (D3) درون سیمان انیدریتی درشت بلور پراکنده هستند، (نور معمولی)؛ (د) بلورهای ریموندرال شکل‌دار دولومیت دانه شکری (D3)، درون یک شکستگی را به عنوان ریموندرهای دولومیتی تشکیل شده در مراحل بسیار تاخیری دیاژنز پر کرده‌اند، بلورهای دولومیت زونینگ از خود نشان می‌دهند (نور معمولی)؛ (ه) و (و) تصاویر CL از دولومیت D3 با فابریک مخرب. اکثر بلورها زون بندی از خود نشان می‌دهند. دولومیت D3 دارای لومینسانس قرمز تیره یا فاقد لومینسانس در مرکز بلور بوده، ولی در حاشیه نازک بلور دارای لومینسانس نارنجی - قرمز روشن است.

Fig. 10. (a and b) Anhedral to subhedral, fabric-destructive medium to coarse-crystalline dolomite (D3) with the cloudy center and clear rim formed by late diagenetic dolomitization (ppl); (c) Early diagenetic dolomite crystals (D1) replaced mud matrix and late diagenetic dolomite crystals (D3) scattered within larger anhydrite cement (PPL); (d) Rhombohedral, euhedral sucrosic dolomites (D3) within a fracture as a very late diagenetic dolomite rhombs, which show zonation (ppl); (h and w) CL image of Fabric-destructive dolomite (D3). The majority of crystals show zonation. D3 exhibits none/dull red luminescence in the crystal center, generally with a bright orange-red thin rim where the crystal faces the pore space (arrow).

کرده است (شکل ۱۲، تصویر آ). اندازه بلورها از ۲۵۰ میکرون تا ۳ میلی‌متر متغیر است. بلورهای دولومیت D4 به صورت کدر یا شفاف با سطوح بلوری خمیده و الگوی خاموشی جارویی<sup>۲</sup> هستند (شکل ۱۲، تصویر ب). این نوع

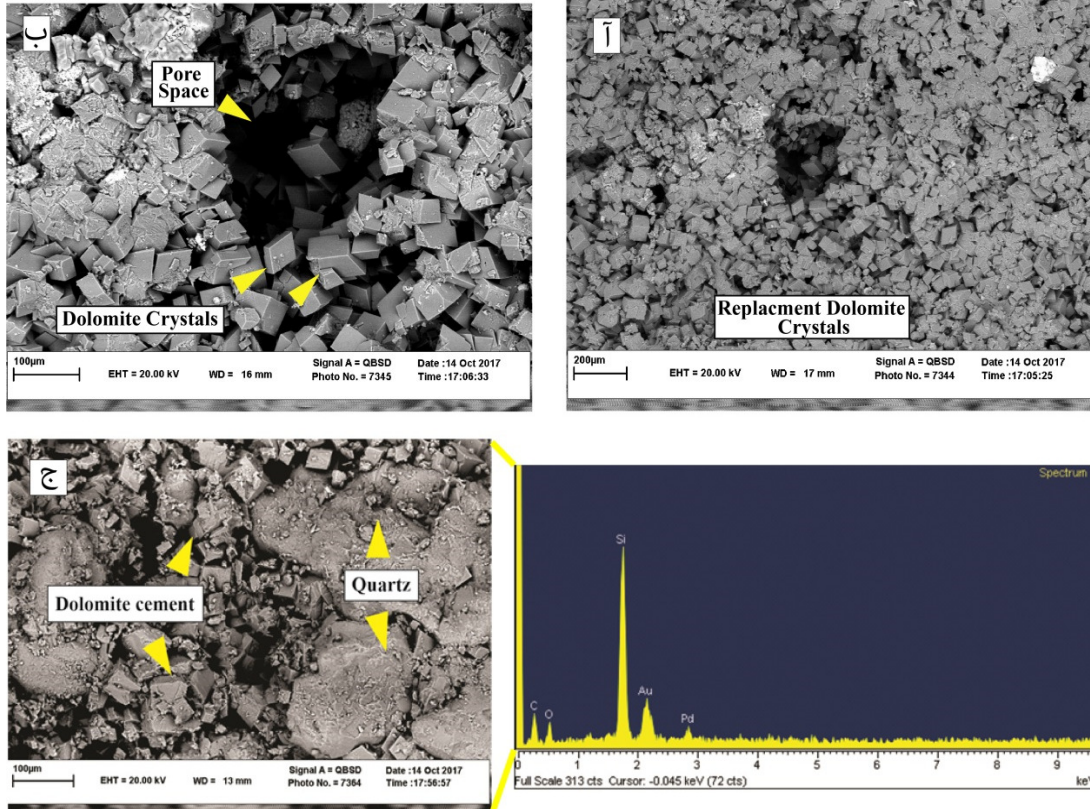
۴- دولومیت درشت بلور<sup>۱</sup> (D4): دولومیت درشت بلور عمدتاً به صورت سیمان با رنگ کرمی، سفید یا قرمز و بلورهای غیرمسطح است که به صورت کامل یا بخشی حفرات و شکستگی‌های موجود در سازند آسماری را پر

<sup>2</sup> Sweeping extinction

<sup>1</sup> coarse-crystalline

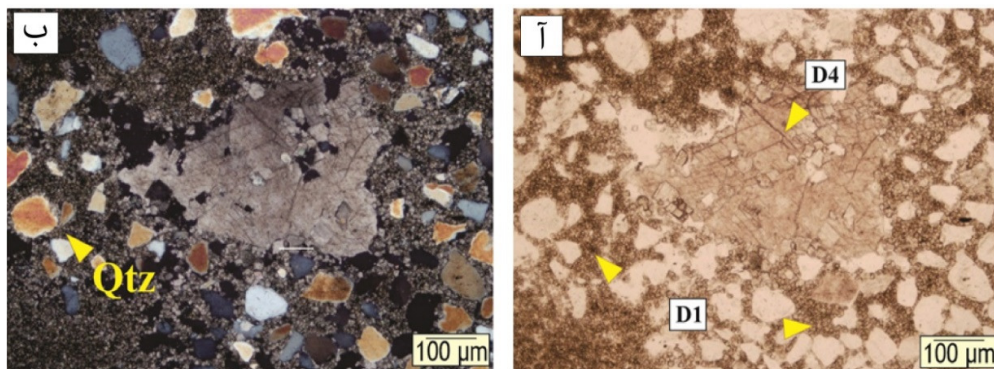
نوریان و همکاران، ۲۰۲۲؛ خزایی و همکاران، ۲۰۲۲). از نظر حجمی، این نوع دولومیت در توالی‌های مورد مطالعه نسبتاً ناچیز است.

بلور دولومیت به دلیل تغییر در محتوی آهن و منگنز، زون‌بندی یا منطقه‌بندی داخلی زیر میکروسکوپ کاندولومینسانس از خود نشان می‌دهد (محبوبی و همکاران، ۲۰۱۶؛ سیبغ بجزستانی و همکاران، ۲۰۱۸؛



شکل ۱۱. (آ) تصویر SEM از بلورهای دولومیت D3. (ب) تصویر (آ) با بزرگ‌نمایی بیشتر. (ج) سیمان دولومیتی از نوع D3 به صورت تخریب‌کننده فابریک (planar-E) فضاهای خالی بین دانه‌های کوارتز در ماسه‌سنگ دولومیتی را پر کرده است.

Fig. 11. (a) SEM image of D3 dolomite crystals; (b) Figure a with high magnification; (c) SEM images showing dolomite cement (D3) in dolomitic sandstone. Fabric destructive, planar-E, dolomite cement has filled between the quartz grains.



شکل ۱۲. (آ) بلورهای بزرگ سیمان دولومیتی زین‌اسبی در زمینه ماسه‌سنگ دولومیتی (نور معمولی)؛ (ب) تصویر (آ) در نور پلاریزه. خاموشی موجی بلور دولومیت D4 به خوبی نمایان است.

Fig. 12. (a) Large crystals of replacive saddle dolomite (D4) within a dolomitic sandstone matrix (ppl); (b) Figure a under xpl. The undulose extinction of D4 dolomite crystal is well visible.

## ۵- نتیجه‌گیری

سازند آسماری با سن الیگوسن - میوسن در میدان نفتی شادگان با ۴۰۰ متر ضخامت، شامل سنگ‌آهک با میان لایه‌های دولومیتی، ماسه‌سنگی، شیل و تخییری‌ها است. در سازند آسماری بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی و بافتی، ۴ نوع دولومیت (D1 تا D4) شناسایی شد.

دولومیت D1 بسیار ریزبلور تا ریزبلور بوده و از نظر بافتی از نوع غیرمسطح-A و بی‌شکل است. این دولومیت‌ها مقادیر کمی آهن و منگنز نسبت به سایر انواع دولومیت‌ها دارند. دولومیت D2 ریز تا متوسط بلور به صورت حفظ کننده فابریک عمل کرده و از نظر بافتی از بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار با الگوی خاموشی همگن تشکیل شده است. این نوع بلورهای دولومیت فراوانی زیادی در بخش‌های بالایی سازند آسماری دارد. از نظر ژئوشیمیایی، دولومیت D2 دارای مقادیر کمتری از آهن و منگنز نسبت به دولومیت D3 است. دولومیت D3 متوسط تا درشت بلور به صورت تخریب کننده فابریک عمل کرده و شامل بلورهای بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار با فابریک نیمه مسطح تا غیرمسطح و مرزهای بلوری خمیده، عدسی شکل و دنداندار است. این نوع دولومیت در کل توالی رسوبی سازند آسماری به صورت پراکنده حضور دارد. این دولومیت‌ها دارای تمرکز نسبتا بالای آهن و منگنز نسبت به سایر انواع دولومیت‌ها هستند. دولومیت D4، درشت بلور عمدتاً به صورت سیمان با رنگ کرمی، سفید یا قرمز و بلورهای غیرمسطح است که به صورت کامل یا بخشی و با فراوانی ناچیز حفرات و شکستگی‌های موجود در سازند آسماری را پر کرده است.

میانگین تمرکز استرانسیوم در نمونه‌های دولومیتی ۴۸۳ پی‌پی‌ام و میانگین تمرکز سدیم ۱۶۱۸ پی‌پی‌ام است. مقادیر غنی شده استرانسیوم و سدیم می‌تواند بیانگر تشکیل این دولومیت‌ها در نتیجه جایگزینی به جای کربنات‌های با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی، تهنشینی دولومیت از سیالات دولومیت‌ساز شور، شوری زیاد محیط رسوب‌گذاری یا به عبارتی دمای بیشتر باشد. مقدار میانگین آهن در نمونه‌های دولومیتی ۳۱۱۱ پی‌پی‌ام و میانگین تمرکز منگنز ۱۱۱ پی‌پی‌ام است. دولومیت‌های بسیار ریز تا ریزبلور (D1) با محتوی آهن و منگنز پایین ممکن است طی مراحل اولیه دیاژنز در یک محیط اکسیدان و یا تاثیر ناچیز دگرسانی دیاژنتیکی توسط

سیالات متئوریکی تشکیل شده باشند. مقادیر بالای آهن و منگنز در دولومیت‌های درشت بلور (D3 و D4) نشان دهنده تهنشینی در یک محیط احیایی طی مراحل تدفین کم عمق تا نسبتاً عمیق است.

## References

- Adabi, M. H (2009) Multistage dolomitization of the Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopeh dagh Basin, NE Iran. *Carbonates and Evaporites* 24: 16-32. doi.org/10.1007/BF03228054.
- Ahmadi, Y., Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Omidpour A (2022) Comparison of sedimentation-diagenesis history of Paleocene-Miocene succession (Jahrom and Asmari formations) in the southern part of Dezful Embayment. *Journal of Applied Sedimentology*, 10 (20): 26-53. (In Persian). 10.22084/PSJ.2022.25306.1320.
- Chen, Y. J., Pirajno, F., Sui, Y. H (2004) Isotope geochemistry of the Tieluping silver-lead deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver-dominated deposits and related tectonic setting. *Mineralium Deposita*, 39: 560-575. doi.org/10.1007/s00126-004-0429-9.
- Dickson, J. A. D (1965) Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimentary Research*, 36: 491-505.
- Fallah-Baghtash, R., Adabi, M. H., Nabawy, B. S., Omidpour, A., Sadeghi, A (2022) Integrated petrophysical and microfacies analyses for a reservoir quality assessment of the Asmari Dolostone sequence in the Khesht Field, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 223: 104989. doi.org/10.1016/j.jseae.2021.104989.
- Fallah Baghtash, R., Adabi, M., Sadeghi, A. Omidpour, A (2021) A Study of microfacies and diagenetic processes of the Asmari Formation in Khesht Oil Field with emphasis on reservoir characteristic: a case study from Zagros basin, Fars, SW Iran. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 37(3): 1-34. (In Persian). 20.1001.1.20087888.1400.37.3.2.2.
- Fallah-Baghtash, R., Jafarian, A., Husinec, A., Adabi, M. H (2020) Diagenetic stabilization of the upper permian Dalan Formation, Persian Gulf basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 189: 104-144.
- Friedman, G. M (1965) Terminology of crystallization textures and fabrics in sedimentary rocks. *Journal of Sedimentary Research*, 35: 643-655.
- Gregg, J. M., and Sibley, D. F (1984) Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture, *Journal of Sedimentary Research*, 54: 908-931.
- Gregg, J. M., and Shelton, K. L (1990) Dolomitization and dolomite neomorphism in the back reef facies of the Bonnetterre and Davis

- Asmari Formation (Dezful Embayment, SW Iran). *Sedimentary Geology*, 427: 106048. doi.org/10.1016/j.sedgeo.2021.106048.
- Omidpour, A., Fallah-Baghtash, R (2022) Investigation of sedimentary facies and geochemical parameters of the Asmari Formation (Oligocene-Miocene) in the Shadegan Oil Field, Dezful Embayment, SW Iran. *Researches in Earth Sciences*, 13: 162-188. (In Persian).
- Omidpour, A., Mahboubi, A., Fallah-Baghtash, R. (2023a) The role of relative sea-level fluctuations on dolomitization of carbonate reservoirs Case study: Asmari Formation. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* (In Persian).
- Omidpour, A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Rahimpour-Bonab, H (2022) Effects of dolomitization on porosity-Permeability distribution in depositional sequences and its effects on reservoir quality, a case from Asmari Formation, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 109348. doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109348.
- Omidpour, A., Fallah-Baghtash, R., Rahimpour-Bonab, H., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A (2023b) Dolomitization models and related fluid evolution in the carbonate platform of the Asmari Formation. *Researches in Earth Sciences* (In Persian). 10.48308/esrj.2023.232397.1186.
- Omidpour, A., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Rahimpour-Bonab, H (2021) Depositional environment, geochemistry and diagenetic control of the reservoir quality of the Oligo-Miocene Asmari Formation, a carbonate platform in SW Iran. *Geological Quarterly*, 65.
- Sabbagh-Bajestani, M., Mahboubi, A., Al-Aasm, I., Moussavi-Harami, R., Nadjafi, M (2018) Multistage dolomitization in the Qal'eh Dokhtar Formation (Middle-Upper Jurassic), Central Iran: petrographic and geochemical evidence. *Geological Journal*, 53: 22-44.
- Sharland, P. R., Casey, D. M., Davies, R. B., Simmons, M. D., Sutcliffe, O. E (2004) Arabian plate sequence stratigraphy - revisions to SP2. *GeoArabia*, 9: 199-214.
- Sibley, D. F., and Gregg, J. M (1987) Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Research*, 967-975.
- Sibley, D. F., Dedoes, R. E., Bartlett, T. R (1987) Kinetics of dolomitization. *Geology*, 15: 1112-1114.
- Warren, J. K (2006) *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*. Springer Verlag, 1035.
- Zenger, D. H., and Dunham, J. B (1988) Dolomitization of Silurian-Devonian limestones in a deep core (5,350 m), Southeastern New Mexico. *Journal of Sedimentary Research*, 60: 549-562.
- Herndon, E. M., Havig, J. R., Singer, D. M., McCormick, M. L., Kump, L. R (2018) Manganese and iron geochemistry in sediments underlying the redox-stratified Fayetteville Green Lake. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 231: 50-63. doi.org/10.1016/j.gca.2018.04.013.
- Heydari, E (2008) Tectonics versus eustatic control on super sequences of the Zagros Mountains of Iran: *Tectonophysics*, 451: 56-70. doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.046.
- Kavianpour, S. M., Namdarian, A., Moussavi-Harami, H. R., Mahboubi, A., Omidpour, A., Kadkhodaie, I. A (2013) Identification and differentiation of anhydrite texture in sedimentary facies of the Asmari Formation, Mansouri Oil Field, Dezful Embayment. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 21: 343-354. (In Persian).
- Khazaie, E., Noorian, Y., Kavianpour, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Omidpour, A (2022) Sedimentological and diagenetic impacts on porosity systems and reservoir heterogeneities of the Oligo-Miocene mixed siliciclastic and carbonate Asmari reservoir in the Mansuri oilfield, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 213: 110435. doi.org/10.1016/j.petrol.2022.110435.
- Mahboubi, A., Nowrouzi, Z., Al-Aasm, I. S., Moussavi-Harami, R., Mahmudy-Gharaei, M. H (2016) Dolomitization of the Silurian Niur Formation, Tabas block, east central Iran: Fluid flow and dolomite evolution. *Marine and Petroleum Geology*, 77: 791-805. doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.07.023.
- Mazzullo, S. J (1992) Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: A review. *Carbonates and Evaporites*, 7: 21-37. doi.org/10.1007/BF03175390.
- Morrow, D. W (1982) Diagenesis 2. Dolomite-part 2 dolomitization models and Ancient dolostones. *Geoscience Canada*, 9: 95-107.
- Mouthereau, F., Lacombe, O., Verges, J (2012) Building the Zagros collisional orogen: timing, strain distribution and the dynamics of Arabia/Eurasia plate convergence. *Tectonophysics*, 532 (535): 27-60. doi.org/10.1016/j.tecto.2012.01.022.
- Mukhopadhyay, J., Chanda, S. K., Fukuoka, M., Chaudhuri, A. K (1996) Deep-water dolomites from the Proterozoic Penganga Group in the Pranhita-Godavari Valley, Andhra Pradesh, India. *Journal of Sedimentary Research*, 66: 223-230.
- Noorian, Y., Moussavi-Harami, R., Hollis, C., Reijmer, J. J., Mahboubi, A., Omidpour, A (2022) Control of climate, sea-level fluctuations and tectonics on the pervasive dolomitization and porosity evolution of the Oligo-Miocene

## Petrographic and geochemical characteristics of different dolomite types, and their textures and fabrics in Asmari reservoir, Shadegan Oil Field

A. Omidpour<sup>\*1</sup>, R. Fallah-Baghtash<sup>2</sup> and S. R. Moussavi-Harami<sup>3</sup>

1- National Iranian South Oil Company (NISOC), Ahvaz, Iran

2- Dept., of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3- Prof., Dept., of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

\* Armin.omidpour@gmail.com

Received: 2023.10.9 Accepted: 2023.12.15

### Abstract

The Oligocene – Miocene Asmari reservoir with 400 meters thickness in the Shadegan Oil Field consists of limestones and porous dolostones associated with sandstones, and shales. Dolomitization, as the most important diagenetic process, affected the Asmari reservoir and thus played a major role in the formation of the pore spaces structure, final flow capacity and heterogeneity of the Asmari reservoir. Dolomite types based on geochemical and textural characteristics, especially crystal size and shape includes: (i) very finely-crystalline, fabric-retentive dolomite (D1), (ii) fine to medium-crystalline, fabric-retentive dolomite (D2); (iii) medium to coarse-crystalline, fabric-destructive dolomite (D3); and (iv) very coarsely-crystalline, non-planar saddle dolomite (D4). Two types of fabric named fabric selective dolomitization and pervasive dolomitization were identified in dolomite crystals. Based on textural classification, 6 different textures including idiotopic, hypidiotopic or (idiotopic-S), xenotopic or non-planar-A (anhedral), idiotopic-C or planar-C (cement), porphyrotopic and poikilotopic texture for dolomite crystals is identified. The mean concentration of strontium in dolomite samples is 483 ppm and the mean concentration of sodium is 1618 ppm which indicates the enriched amounts of strontium and sodium in these samples. The mean values of iron in dolomite samples are 3111 ppm and the mean concentration of manganese is 111 ppm. Dolomites (D1) with low Fe and Mn content may have formed during the early stages of diagenesis in an oxidizing environment. High amounts of iron and manganese in D3 and D4 dolomites indicate deposition in a reducing environment during shallow to relatively deep burial.

**Keywords:** Petrographic studies, Fabric-retentive dolomite, Fabric-destructive dolomite, Oligocene-Miocene, Zagros sedimentary basin

### Introduction

Dolomitization is one of the most important diagenetic features in the Asmari Formation, which has greatly affected reservoir properties. Dolomite is a carbonate mineral whose formation mechanism is still a subject of debate among most scientists. Based on the textural characteristics, size, shape, and boundaries of dolomite crystals, as well as sedimentary features and geochemical data, various classifications for dolomites have been proposed.

Considering the mentioned features, a lot of information can be obtained about the conditions of dolomite formation, the temperature and salinity of dolomitizing fluids, and ultimately the differentiation of primary from secondary dolomites. Additionally,

identifying dolomitization fabrics in dolomite reservoirs plays an important role in assessing reservoir quality. Selective dolomitization can improve reservoir quality, whereas pervasive dolomitization, especially with destructive fabric, can block all pores and destruct reservoir quality. In the present research, using the results of petrographic and geochemical studies of dolomitic samples from the Asmari Formation, an attempt has been made to examine and identify various types of dolomites based on texture, crystal size, crystal boundaries, and other textural and fabric features. The results of this study can be used to assess the reservoir quality of the Asmari Formation in the Shadegan oil field.

The Shadegan Oil Field is located in the Zagros sedimentary basin in SW Iran. The thickness of



this formation in the studied well (SG-11) is about 400 meters, with the core sampling of this well being done completely, covering the entire thickness of the Asmari Formation. The Asmari reservoir in this field mainly consists of alternating cream to brown limestones and porous dolostones, interbedded with shales and sandstones. The Asmari Formation is conformably overlain by the evaporitic deposits of the Gachsaran Formation, and its lower boundary with the marly and shaly deposits of the Pabdeh Formation is also conformable.

### Materials and Methods

This study is based on the results of petrographic examinations of 524 thin sections prepared from the core samples of SG-11 well in the Shadegan Oil Field. All microscopic thin sections were stained using a solution of Alizarin Red-S and potassium ferricyanide according to Dickon's (1965) method to distinguish the mineral calcite from dolomite. For classification of the dolomites, the textural classification of dolomite provided by Sibley and Gregg (1987), Mazzullo (1992), Chen et al. (2004), and Adabi (2009) has been used. For more precise textural investigations, to examine the potential presence of growth zones in dolomite crystals during progressive diagenetic stages, and to distinguish primary dolomites from those formed during burial stages, 10 uncovered samples were analyzed using cathodoluminescence microscopy in the central laboratory of Ferdowsi University of Mashhad.

Ten gold-coated samples were analyzed using a scanning electron microscope to evaluate the types of dolomites, crystal sizes, micro textures, and pore spaces. After a thorough and detailed study of the thin sections, 32 dolomitic samples were selected and tested to determine major and trace elements using an atomic absorption spectrometer in the laboratory of the Faculty of Science at Ferdowsi University of Mashhad. The measurement accuracy for determining major and trace elements is approximately  $\pm 5$  ppm for manganese, iron, strontium, and sodium, and  $\pm 0.5\%$  for magnesium

### Discussion and Results

Two types of fabrics occur in dolomite crystals in the Asmari Formation. In the first case, only

specific allochems or micrite in the rock undergo selective dolomitization, while the remaining rock components are unaffected by dolomitization. In the second case, pervasive dolomitization affects the entire rock without exception, dolomitizing all skeletal, non-skeletal grains, and the fine-grained matrix of the rock. Based on the textural classification provided by Sibley and Gregg (1987), 6 different textures for dolomite crystals in the Asmari Formation were identified and described as follow: Idiomatic, Hypidiomatic or Idiomatic-S, Xenotopic or non-planar-A, Idiomatic-C or planar-C, Porphyrotopic and Poikilotopic.

Based on textural characteristics (Sibley and Gregg, 1987; Mazzullo, 1992; Chen et al., 2004), four types of dolomites (D1 to D4) were identified and described in the sedimentary sequence studied from the Asmari Formation:

D1: very fine to fine-crystalline

D2: fine to medium-crystalline and fabric-retentive

D3: medium to coarse-crystalline and fabric-destructive

D4: coarse-crystalline.

### Conclusions

The Asmari Formation, with an Oligocene-Miocene age and 400 meters thick in the Shadegan Oil Field, consists of limestone with interbedded dolostone, sandstone, shale, and evaporites. Based on geochemical and textural characteristics, four types of dolomites (D1 to D4) were identified in the Asmari Formation. Dolomite D1 is very fine-crystalline to fine-crystalline and has a textural type of non-planar-A and anhedral. This type of dolomite has lower amounts of iron and manganese compared to other types of dolomites. Dolomite D2 is fine to medium-crystalline and acts as a fabric-retentive dolomite, with a texture consisting of subhedral to euhedral crystals with a homogeneous extinction pattern. This type of dolomite is quite abundant in the upper sections of the Asmari Formation. Geochemically, dolomite D2 has lower amounts of iron and manganese compared to dolomite D3.

Dolomite D3 is medium to coarse-crystalline and acts as a fabric-destructive type, consisting of anhedral to subhedral crystals with sub-planar to non-planar fabrics and curved, lenticular, and serrated crystal boundaries. This type of dolomite is scattered throughout the

entire sedimentary sequence of the Asmari Formation. These dolomites have relatively high concentrations of iron and manganese compared to other types of dolomites.

Dolomite D4 is coarse-crystalline, predominantly occurring as cement with a creamy, white, or reddish color, and has non-planar crystals. It has filled the existing cavities and fractures in the Asmari Formation either completely or partially, though it is present in very small quantities.

The average concentration of strontium in dolomitic samples is 483 ppm, and the average concentration of sodium is 1618 ppm. The enriched amounts of strontium and sodium could indicate that these dolomites formed as a

result of replacement of initially aragonitic carbonate minerals, precipitation of dolomite from saline dolomitizing fluids, high salinity of the depositional environment, or higher temperatures. The average iron concentration in the dolomitic samples is 3111 ppm, and the average manganese concentration is 111 ppm. Very fine to fine-crystalline dolomites (D1) with low iron and manganese content may have formed during the early diagenesis in an oxidizing environment or through minimal diagenetic alteration by meteoric fluids. The high amounts of iron and manganese in coarse-crystalline dolomites (D3 and D4) suggest deposition in a reducing environment during shallow to moderately deep burial stages.