



سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی عنصری دولومیت‌های سازند سبزار (دونین میانی) در شرق نیشابور

ابوالفضل جمشیدی پور، محمدخانه باد*، سید رضا موسوی حرمی، اسداله محبوبی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

(دریافت مقاله: ۹۷/۳/۲۹، نسخه نهایی: ۹۷/۷/۲۸)

چکیده: سازند سبزار به سن دونین میانی در برش خرو در ۳۰ کیلومتری شرق نیشابور از سنگ دولومیت با میان‌لایه‌های ماسه سنگی پایینی، سیل‌بازالتی میانی و سنگ دولومیت تا سنگ دولومیت‌های آهکی بالایی با ضخامت ۳۳۴ متر تشکیل شده است. بر اساس اندازه بلور، در این سازند ۳ نوع دولومیت مختلف (D_1 , D_2 , Vd) شناسایی شد و بر اساس رده‌بندی بافتی، دولومیت‌های این سازند بیشتر از نوع غیر مسطح-a (موزاییک نامنظم)، ($Nonplanar-a$ (Xenotopic mosaic)) تشکیل شده‌اند که پس از آن نوع مسطح-S (موزاییک نیمه‌منظم)، ($Planar-s$ (Hypidiotopic mosaic)) و نوع مسطح-e (موزاییک منظم)، ($Planar-e$ (Idiotopic mosaic)) فراوان‌ترین بافت‌های بلوری دولومیت‌ها هستند. دولومیت‌های سازند سبزار از نظر غلظت عناصر اصلی به طور میانگین دارای ۲۱/۳۶ درصد کلسیم و ۱۰/۹ درصد منیزیم هستند. غلظت بالای آهن (میانگین ۱۸۳۵۸/۴۳ ppm) و منگنز (میانگین ۱۸۲۴۶۲ ppm) بیانگر شرایط احیایی طی تدفین عمیق بوده است. غلظت عنصر سدیم (میانگین ۱۱۰۸/۶۷ ppm) بیانگر ورود جریان‌ات شورابه فوق اشباع به محیط است. میانگین غلظت استرانسیوم ۴۵۵/۴۱ ppm است. خاستگاه یون منیزیم، آب‌های دریایی غنی از منیزیم به همراه آب‌های دریایی محبوس و مهاجرت سیال‌های گرمایی است. بر اساس شواهد سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی، دولومیت‌های نوع D_1 در یک محیط جزر و مدی، دولومیت‌های نوع D_2 در اثر فعالیت نوریختی افزایشی دولومیت‌های نوع D_1 و دولومیت‌های نوع Vd طی فرایند میانزایی تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: دولومیت؛ سازند سبزار؛ شرق نیشابور؛ بررسی زمین‌شیمیایی عنصری.

مقدمه

پیچیدگی‌های فراوانی است، بطوریکه اغلب در چندین مرحله متفاوت رخ می‌دهد [۵،۶]. با استفاده از ویژگی‌هایی مانند بافت و اندازه بلورها، شکل و مرز بلورها، مشخصه‌های رسوبی، جدایش ایزوتوپی، دما، شوری، ترکیب سیال‌ها و شرایط اکسایش-کاهش را تشخیص داد و دولومیت‌های میانزادی اولیه و ثانویه را از هم تفکیک کرد [۷-۸]. برای دولومیت‌ها بر اساس بافت بلوری (شکل بلوری و نوع مرز صفحات) [۹-۱۲] و اندازه بلورها [۱۳] رده‌بندی‌هایی ارائه شده است.

در این پژوهش، با استفاده از نتایج سنگ‌نگاری دولومیت‌های سازند سبزار در برش خرو در شرق نیشابور انواع مختلف دولومیت‌ها بر اساس نوع بافت و اندازه بلوری شناسایی و

دولومیت یک کانی کربناته است. اما سازوکار تشکیل آن هنوز به طور کامل شناخته نشده است [۱-۲]. تشکیل دولومیت و دولومیت‌زایی از دیرباز تاکنون مورد توجه زمین‌شناسان بوده است. این کانی در محیط‌های کربناته کم عمق فراوان تر است، اما با جوانتر شدن توالی‌های رسوبی مقدار آن کم می‌شود، به طوری که در رسوبات هلوسن کمیاب است. دولومیت‌ها دارای سازوکارهای تشکیل بسیار متنوعی چون جزر و مدی، سبخایی، دریاچه‌ای، دریایی کم‌عمق، دریایی عمیق، پهنه مخلوط (دریایی-جوی)، گرمایی و میانزایی تدفینی کم‌عمق تا عمیق هستند [۳-۴]. فرآیندهای مربوط به دولومیتی‌شدن دارای

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۵۴۹۳، پست الکترونیکی: mkhanehbad@ferdowsi.um.ac.ir

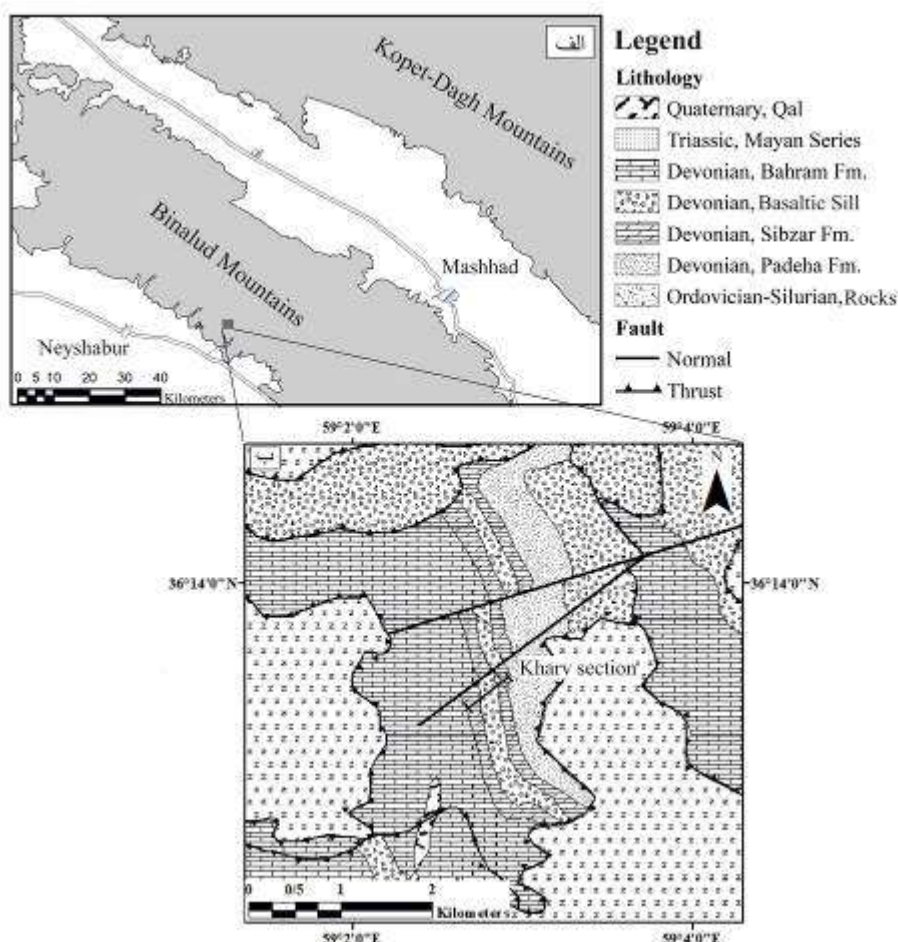
بررسی می‌شود و در ادامه با استفاده از داده‌های تجزیه‌های زمین شیمیایی خاستگاه تشکیل سیال‌های دولومیت ساز و نوع محیط میانزایی آن بررسی می‌گردد. دولومیت‌های سازند سبزار تاکنون بجز بررسی موردی سازند سبزار در برش الگو (در معدن ازبک کوه) [۱۴] موضوع پژوهش دیگری نبوده‌اند.

زمین‌شناسی منطقه

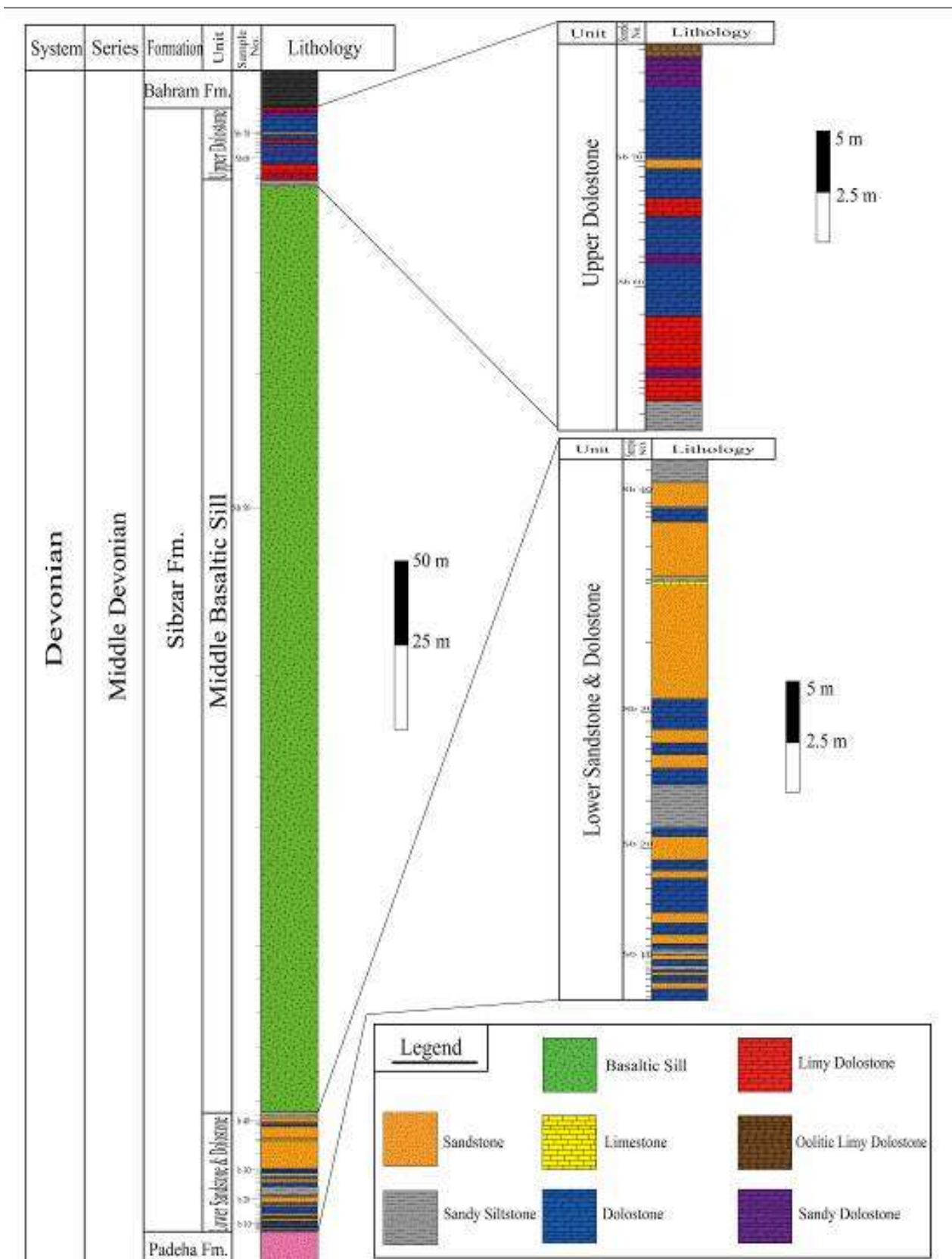
رشته کوه بینالود ارتفاعاتی منحنی‌شکل و دارای روند شمال غربی - جنوب شرقی است و در شمال شرقی ایران قرار دارد. این رشته کوه از سمت غرب به رشته کوه البرز و از شرق به کوه‌های پاراپامیسوس در شمال افغانستان، از شمال به دشت مشهد-قوچان و از جنوب به دشت نیشابور-سبزوار محدود می‌شود، همچنین خط درز پالئوتتیس در شمال این ارتفاعات قرار دارد [۱۵]. این ناحیه بیشتر از سنگ‌های پالئوزوئیک پایینی، ژوراسیک، کرتاسه و سنوزوئیک تشکیل شده است. ارتباط این واحدهای پالئوزوئیک و واحدهای سنگی جوان‌تر اغلب به صورت گسله بوده به طوری که این رسوبات بر رسوبات

سنوزوئیک رانده شده است [۱۶]. لایه‌های دولومیت خاکستری‌رنگ بین سازندهای بهرام و پادها با سن دونین میانی در کوه‌های ازبک‌کوه توسط فلوگل و همکارش [۱۷] مشاهده گردید و بعدها دولومیت سبزار نامیده شد [۱۸]. این سازند در کوه‌های بینالود دیده شده است [۱۹]. این سازند بیشتر دارای دولومیت است و به ندرت با میان‌لایه‌های آهکی دیده می‌شود. این سازند فاقد فسیل بوده و بسیار به ندرت اشباحی از مرجان و دیگر خرده‌های فسیلی دیده می‌شود و به صورت دولومیت توده است [۲۰-۱۸].

برش مورد بررسی سازند سبزار دارای مختصات $13^{\circ}24'$ شمالی و $59^{\circ}02'51''$ شرقی و در قسمت جنوبی کوه-های بینالود و در فاصله ۳۰ کیلومتری شرق نیشابور قرار دارد (شکل ۱). این سازند دارای ۳۳۴ متر ضخامت و شامل سنگ دولومیت با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی پایینی، سیل بازالتی میانی و سنگ دولومیت تا سنگ‌های دولومیت آهکی بالایی است (شکل ۲).



شکل ۱ (الف) نقشه موقعیت مکانی منطقه مورد بررسی و (ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی (برگرفته از مرجع [۱۶] با تغییرات از مرجع [۲۱]).



شکل ۲ ستون چینه‌شناسی سازند سبزار در برش خرو.

روش بررسی

پس از بررسی‌های صحرایی و تفکیک مرزهای بالا و پایین، سازند سبزار در برش خرو نمونه‌برداری شد (شکل ۳). تعداد ۸۰ نمونه از بخش‌های رسوبی سازند سبزار با فاصله‌های گوناگون از ۱۰ سانتی متر تا ۴ متر بر حسب نوع لایه‌بندی و تغییرات سنگ‌شناختی برداشت گردید، که از این میان، از ۴۰ نمونه دولومیتی به منظور بررسی سنگ‌نگاری مقاطع نازک تهیه شد. بررسی سنگ‌نگاری این نمونه‌ها به منظور شناخت اجزاء، شکل بلوری و اندازه بلورهای دولومیت و خاستگاه آن‌ها بوده است. رده‌بندی سنگ‌های کربناته (سنگ دولومیت و سنگ آهک) با توجه به مرجع [۲۲] که بر پایه ترکیب کانی

شناسی عمومی سنگ‌های کربناته است، انجام شد. همچنین رده‌بندی دولومیت‌ها بر اساس مراجع [۱۰-۱۲] و همینطور بر اساس اندازه بلوری آن‌ها انجام گرفت. به منظور تفکیک دولومیت و کلسیت از یکدیگر، از محلول آلزاین قرمز-اس به روش ارائه شده در مرجع [۲۳] استفاده شده است. تعیین مقادیر عناصر اصلی (کلسیم و منیزیم) و عناصر فرعی (آهن، منگنز، سدیم و استرانسیوم) موجود در دولومیت‌ها به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده‌ی القایی (ICP-OES) پودر دولومیت‌ها که با استفاده از یک مته ریز با دقت بالا به دست آمده بود، برای ۱۴ نمونه دولومیتی در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است.



شکل ۳ تصاویر صحرایی سازند سبزار در برش خرو در شرق نیشابور: (الف) قسمت پایینی سازند سبزار و برخوردگاه آن با سازند پادها و (ب) قسمت بالایی سازند سبزار و برخوردگاه آن با سازند بهرام (جهت دید هر دو تصویر به سمت غرب است).

سنگ‌نگاری

به منظور تفکیک بهتر سنگ‌های دولومیت سازند سبزار، با استفاده از نتایج برآورد فراوانی دانه‌ها [۲۴،۲۵] درصد کانی دولومیت، کانی کلسیت و اجزای غیرکربناته در هریک از نمونه سنگ‌های دولومیت، بدست آمد پس از آن بر اساس رسم داده‌های برآمده از سنگ‌نگاری بر نمودار رده‌بندی عمومی سنگ‌های کربناته بر اساس کانی‌شناسی اجزاء [۲۲] مشخص شد که سازند سبزار بیشتر از نوع سنگ دولومیت، سنگ‌های دولومیت ناخالص و سنگ‌های دولومیت آهکی است (شکل ۴). بررسی‌های سنگ‌نگاری منجر به شناسایی ۳ نوع دولومیت بر اساس اندازه بلوری در مقاطع نازک میکروسکوپی شد که به شرح زیر است:

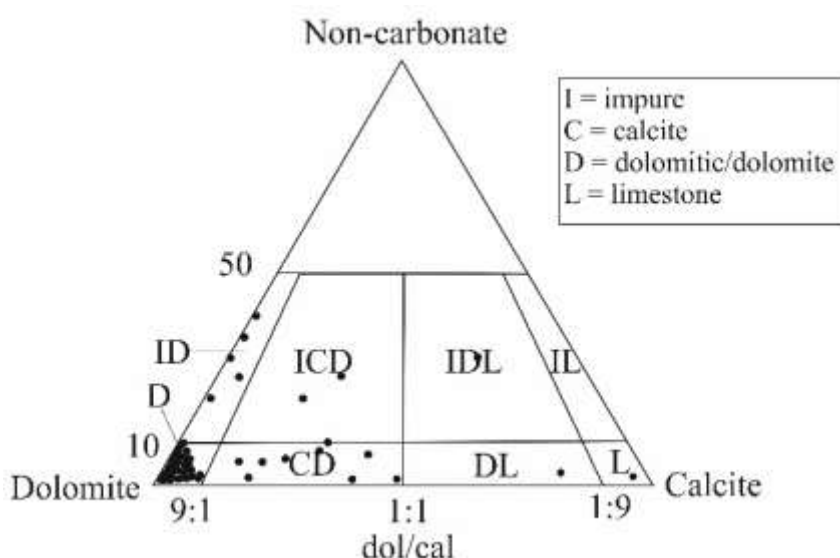
۱- دولومیت‌های ریز بلور (D_1): این نوع فراوانترین دولومیت‌های سازند سبزار هستند که اندازه آنها کمتر از ۳۰ میکرون است. ریز بودن دولومیت‌ها نشان‌دهنده فراوانی مکان‌های مناسب جهت تشکیل هسته‌های بلور دولومیت در رسوبات دانه-ریز است [۱۲]. از نظر رده‌بندی بافت دولومیت‌ها [۱۰-۱۲] آنها بیشتر از غیر مسطح a- (موزاییک نامنظم) و بصورت تک مودال هستند. از دیگر دانه‌های موجود در این نوع دولومیت می‌توان به کوارتز، مسکویت، پیریت و کلسیت اشاره کرد که بطور میانگین کمتر از ۱۰ درصد حجم کل را شامل می‌شوند (شکل ۵ الف).

با توجه به وجود ذرات دانه ریز کوارتز به صورت پراکنده،

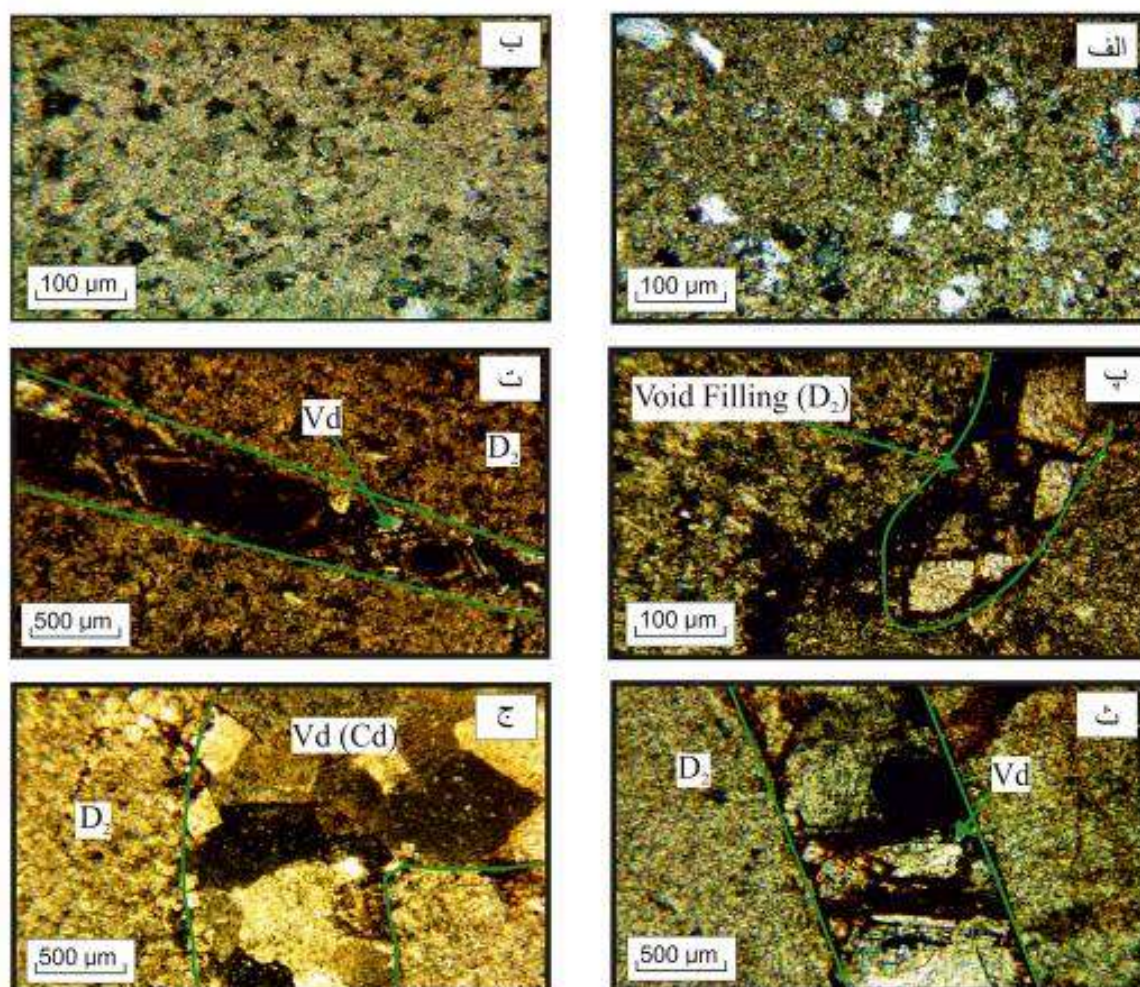
اندازه ریزبلورها (کمتر از ۳۰ میکرون) و همچنین بافت بلورها (غیر مسطح-a یا موزاییک نامنظم) این نوع دولومیت‌ها همزمان با رسوبگذاری (بصورت اولیه) و یا در مراحل اولیه میانزایی در یک محیط کم‌عمق مانند جزر و مدی (محیط بالای مد تا جزر و مدی) تشکیل شده‌اند [۲۶]. آب دریا یا محلول‌های غنی از Mg نیز ممکن است عامل تشکیل این نوع دولومیت باشند [۲۷-۵].

۲- دولومیت‌های ریز بلور تا متوسط بلور (D_2): این نوع به نسبت نوع D_1 از فراوانی کمتری برخوردار بوده و دارای اندازه ۱۵۰-۲۰ میکرون هستند. آنها از نظر رده‌بندی بافت دولومیت-ها [۱۰،۱۲] نیز بیشتر از دولومیت‌های غیرمسطح-a (موزاییک نامنظم) و سپس از مسطح-s (موزاییک نیمه‌نامنظم) و مسطح-e (موزاییک منظم) تشکیل شده‌اند قرار دارند. این نوع دولومیت بصورت چند مودال است. دولومیت‌های شکل‌دار فقط حفره پرکن به صورت همراه با اکسیدهای آهن هستند (شکل‌های ۵ ب و پ).

بافت مسطح بلورهای نیمه شکل‌دار (مسطح-s یا موزاییک نیمه منظم) در اثر رشد بلورها به دنبال جریان پیوسته‌ای از سیال دولومیت ساز بوجود آمده است [۱۰-۱۲]. بلورهای شکل‌دار (مسطح-s یا موزاییک نیمه منظم) از نظر ترمودینامیکی امکان تشکیل بیشتری در دماهای پایین یا درجه اشباع شدگی پایین در زمان طولانی را دارند [۱۲].



شکل ۴ نمودار رده‌بندی عمومی سنگ‌های کربناته بر اساس کانی‌شناسی اجزاء [۲۲].



شکل ۵ تصاویر مقاطع میکروسکوپی دولومیت‌های سازند سبزار: (الف) دولومیت نوع D_1 دارای بافت غیر مسطح-a (موزایک نامنظم) همراه با ذرات کوارتز، (ب) دولومیت نوع D_2 دارای بافت غیر مسطح-a (موزایک نامنظم)، (پ) دولومیت نوع D_2 بصورت حفره پرکن دارای بافت مسطح-e (موزایک منظم)، (ت) دولومیت رگه‌ای Vd دارای بافت مسطح-e (موزایک منظم) که توسط اکسید آهن قسمتی از رگه پوشیده شده است و دولومیت نوع D_2 دارای بافت غیر مسطح-a (موزایک نامنظم) (ث) دولومیت رگه‌ای Vd دارای بافت مسطح-e (موزایک منظم) و مسطح-s (موزایک نیمه منظم) و دولومیت نوع D_2 دارای بافت غیر مسطح-a (موزایک نامنظم) و (ج) دولومیت رگه‌ای Vd دارای بافت دولومیت زین اسبی شکل، (Cd: Saddle dolomite) و دولومیت نوع D_2 دارای بافت غیر مسطح-a (موزایک نامنظم).

میکرون هستند. آنها از نظر رده‌بندی بافتی دولومیت‌ها [۱۰-۱۲] بیشتر مسطح-s (موزایک نیمه منظم) و (موزایک منظم) مسطح-e هستند و نوع غیر مسطح-a (موزایک نامنظم) بندرت دیده می‌شود. همچنین دولومیت‌های زین اسبی شکل در اندازه‌ی ۴۰۰-۷۰۰ میکرون که دارای خاموشی موجی، سطوح انحنادار و حالت ابری شکل و دارای میانبارهای با آثار کانیاپی و سیالی اغلب آهن‌دار هستند، در این نوع دولومیت‌ها دیده شده‌اند. این نوع از دولومیت‌ها بیشتر در سنگ‌های کربناته میزبان سولفات همراه با هیدروکربن و سولفیدهای

این دولومیت‌ها به دلیل ویژگی‌های بافتی و اندازه بلوری، احتمالاً در مرحله تدفین کم‌عمق به صورت جانیشینی و یا فعالیت نوریختی از دولومیت‌های ریزتر بوجود آمده است [۶]. دولومیت‌هایی که در اثر فعالیت نوریختی تشکیل شده‌اند می‌توانند در محیط‌های سبخایی که بلافاصله در معرض جریان‌های دریایی قرار گرفته‌اند یا در دفن کم‌عمق و همراه با تاثیر سیال‌های جوی و دریایی شکل گرفته باشند [۲۸-۲۶].

۳- دولومیت‌های رگه‌ای (Vd): دولومیت‌های نوع رگه‌ای متوسط تا درشت بلور بوده و بیشتر در اندازه‌ی ۴۰-۷۰۰

روزادی (MVT) یافت می‌شود [۳]. این دولومیت‌ها اغلب در شرایط دفنی عمیق یا گرمایی‌های بسیار شور در دمای بالا یا از احیای گرمایی-شیمیایی سولفات‌ها شکل می‌گیرند [۲۵]. این نوع بنظر می‌رسد که دارای سازوکار و زمان تشکیل بسیار گسترده‌ای باشد، به طوریکه تشکیل آنها از کمی پس از ایجاد دولومیت‌های نوع اول (D_1) شروع شده و تا مراحل میانزایی تدفینی بدلیل حضور دولومیت‌های زین اسبی شکل را شامل شود (شکل‌های ۵ ت، ۵ ث، ج).

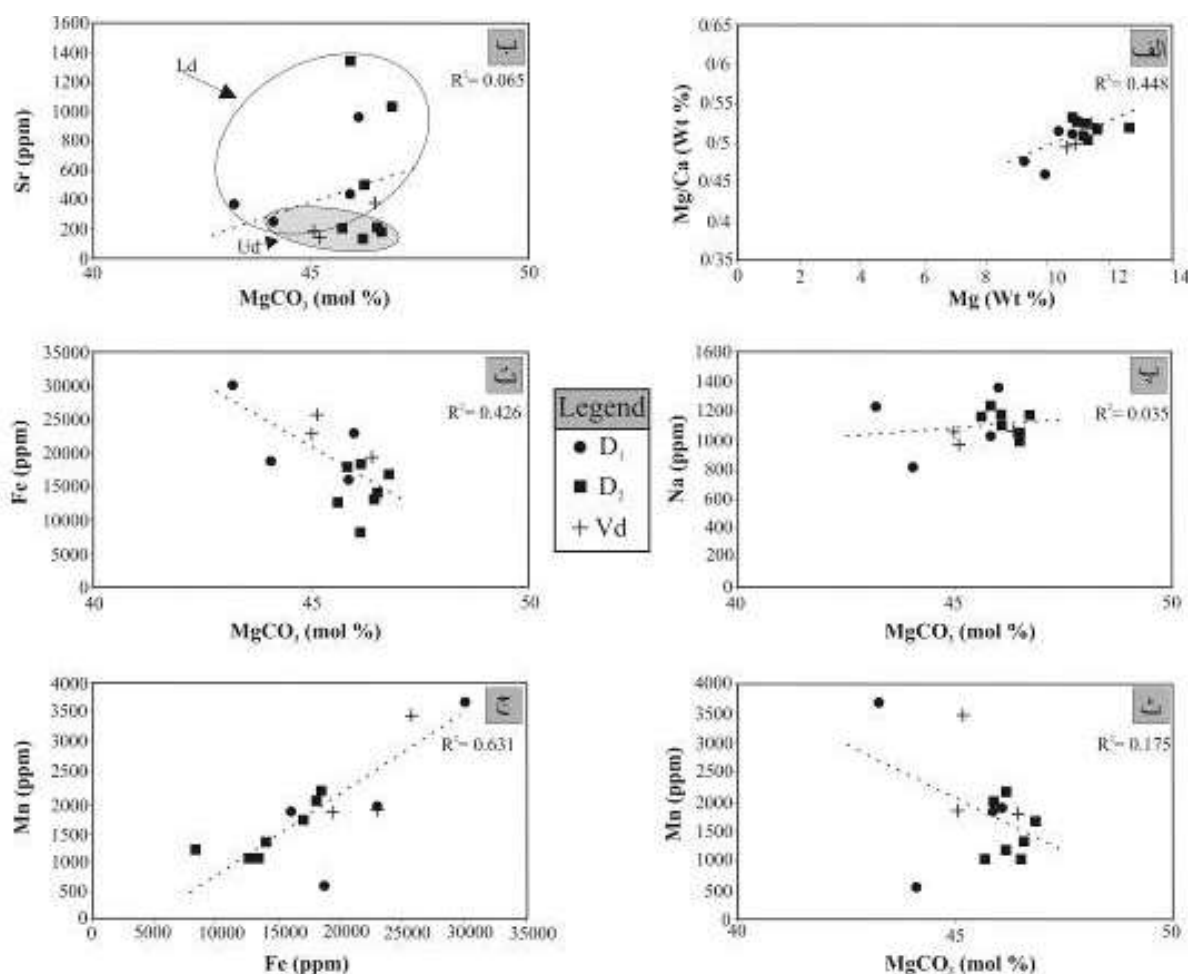
تجزیه زمین شیمیایی عنصری

تغییر مقادیر عناصر اصلی و فرعی در دولومیت‌ها بدلیل تغییر در ترکیب سیال‌های دولومیت ساز است [۸]. ترکیب داده‌های زمین شیمیایی با نتایج سنگ‌نگاری می‌تواند درک بهتری از خاستگاه، زمان تشکیل، ترکیب سیال دولومیت‌ساز، مدل دولومیتی شدن و نوع فرآیند و سیال‌های میانزایی را فراهم کند [۲۹]. نتایج بدست آمده از بررسی داده‌های زمین‌شیمیایی عناصر اصلی (Ca و Mg) و فرعی (Sr, Na, Fe and Mn) در جدول ۱ آورده شده است و در ادامه توضیح داده می‌شود. کلسیم و منیزیم (Ca, Mg): کلسیم و منیزیم دو عنصر

اصلی در ساختار دولومیت‌ها هستند. مقدار کلسیم در دولومیت‌های نوع D_1 از ۱۹٫۳ تا ۲۱٫۴ درصد (میانگین ۲۰٫۴ درصد) متغیر است؛ مقدار منیزیم نیز در این نوع از دولومیت‌ها ۹٫۲ - ۱۰٫۷ درصد (میانگین ۱۰ درصد) است. دولومیت‌های نوع D_2 دارای ۲۰٫۳ تا ۲۴٫۳ درصد (میانگین ۲۱٫۸ درصد) عنصر کلسیم هستند، همچنین مقدار منیزیم در این نوع از دولومیت‌ها از ۱۰٫۸ تا ۱۲٫۶ درصد (میانگین ۱۱٫۴ درصد) در تغییر است. سومین نوع دولومیت‌ها یعنی دولومیت‌های رگه‌ای Vd دارای ۲۱٫۴ تا ۲۱٫۸ درصد (میانگین ۲۱٫۶ درصد) عنصر کلسیم هستند و مقدار منیزیم در این نوع از دولومیت‌ها ۱۰٫۶ - ۱۱٫۴ درصد (میانگین ۱۱ درصد) است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات مقدار منیزیم به کلسیم نسبت به درصد وزنی منیزیم دارای روند مثبتی است، که نشانگر میل دولومیت‌ها به حالت دولومیت ایده‌آل است. از نظر استوکیومتری دولومیت‌های نوع D_2 نزدیک‌ترین نوع دولومیت‌ها به حالت دولومیت ایده‌آل (با نسبت مولی ۴۶٫۲ : ۵۳٫۸)، پس از آن دولومیت‌های رگه‌ای Vd (با نسبت مولی ۴۵٫۵ : ۵۴٫۵) و دولومیت‌های D_1 (با نسبت مولی ۴۴٫۸ : ۵۵٫۲) هستند (شکل ۶ الف).

جدول ۱ نتایج برآمده از تجزیه زمین شیمیایی بر روی عناصر اصلی (Ca و Mg) و فرعی (Sr, Na, Fe and Mn) دولومیت‌های سازند سبزار (Ld: سنگ دولومیت و ماسه سنگ پایینی و Ud: سنگ دولومیت بالایی).

Dolomite type	Rock unite	Sample No#	CaCO ₃ (mole %)	MgCO ₃ (mole %)	Ca (wt %)	Mg (wt %)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Sr (ppm)	Mn/Sr
D_1	Ld	Sb ۱۹	۵۴٫۲	۴۵٫۸	۲۰٫۹۳۶	۱۰٫۷۴۹	۱۵۹۹۷	۱۸۳۲٫۵۳	۱۰۳۶٫۴۲	۴۴۳٫۰۹۱	۴٫۱
	Ld	Sb ۲۱	۵۴	۴۶	۱۹٫۹۵۳	۱۰٫۳۱۶	۲۲۹۶۵	۱۹۰۵٫۷۵	۱۳۶۵٫۲۱	۹۶۲٫۴۸۶	۲
	Ld	Sb ۳۶	۵۶٫۸	۴۳٫۲	۲۱٫۳۸۱	۹٫۸۶	۳۰۰۸۰۹	۳۶۷۵٫۷۹	۱۲۲۹٫۷۳	۳۷۲٫۵۴۱	۹٫۹
	Ud	Sb ۷۴	۵۵٫۹	۴۴٫۱	۱۹٫۳۲۷	۹٫۲۳۹	۱۸۷۱۷٫۳	۵۶۰٫۷۲	۸۲۲٫۲	۲۵۶٫۵۵۲	۲٫۲
D_2	Ld	Sb ۱۶	۵۳٫۲	۴۶٫۸	۱۹٫۲۸۵	۱۰٫۸۱۹	۱۶۸۶۸٫۴	۱۶۷۴٫۹۳	۱۱۸۳٫۲۹	۱۰۳۳٫۷۹	۱٫۶
	Ld	Sb ۱۷	۵۴٫۲	۴۵٫۸	۲۱٫۷۴۷	۱۱٫۱۶۱	۱۸۰۲۰٫۸	۲۰۱۲٫۶۸	۱۲۴۱٫۶۸	۱۳۴۸٫۵۳	۱٫۵
	Ld	Sb ۳۰	۵۳٫۹	۴۶٫۱	۲۲٫۰۴۷	۱۱٫۴۵۹	۱۸۴۵۶٫۵	۲۱۶۸٫۶۴	۱۱۰۸٫۸۸	۵۰۱٫۴۲۵	۴٫۳
	Ud	Sb ۶۴	۵۳٫۹	۴۶٫۱	۲۴٫۳۳	۱۲٫۶۳۲	۸۲۸۸٫۳۲	۱۱۸۵٫۵۶	۱۱۸۴٫۴۷	۱۳۳٫۹۲۱	۸٫۹
	Ud	Sb ۶۸	۵۴٫۴	۴۵٫۶	۲۱٫۹۵۵	۱۱٫۱۷۵	۱۲۶۷۰٫۸	۱۰۴۰٫۶۸	۱۱۶۶٫۰۵	۲۰۶٫۹۰۹	۵
	Ud	Sb ۷۱ - a	۵۳٫۵	۴۶٫۵	۲۱٫۰۴۶	۱۱٫۱۰۲	۱۳۹۱۶٫۱	۱۳۱۸٫۸۵	۱۰۱۶٫۴۷	۱۹۹٫۱۰۲	۶٫۶
	Ud	Sb ۷۲	۵۳٫۵	۴۶٫۵	۲۱٫۱۶	۱۱٫۱۳۴	۱۳۱۴۸٫۹	۱۰۳۹٫۸۶	۱۰۵۶٫۸۳	۲۱۶٫۰۴۶	۴٫۸
Vd	Ld	Sb ۳	۵۳٫۶	۴۶٫۴	۲۱٫۷۵۱	۱۱٫۴۱۹	۱۹۳۰۴٫۴	۱۸۱۸٫۳۷	۱۰۷۲٫۲۲	۳۷۹٫۳۳۲	۴٫۸
	Ud	Sb ۶۳ - v	۵۴٫۹	۴۵٫۱	۲۱٫۷۶۶	۱۰٫۸۵۴	۲۵۶۱۸٫۶	۳۴۵۴٫۰۴	۹۷۱٫۹۳۶	۱۴۴٫۱۰۶	۲۴
	Ud	Sb ۷۱ - b	۵۴٫۲	۴۵٫۸	۲۱٫۳۷۳	۱۰٫۶۱۱	۲۲۹۶۵	۱۸۵۶٫۹۲	۱۰۶۶٫۰۸	۱۷۷٫۸۹۸	۱۰٫۴



شکل ۶ (الف) تغییرات نسبت وزنی منیزیم به کلسیم نسبت به درصد وزنی منیزیم، (ب) تغییرات استرانسیوم نسبت به درصد مولی کربنات منیزیم، (پ) تغییرات سدیم نسبت به درصد مولی کربنات منیزیم (ت) تغییرات آهن نسبت به درصد مولی کربنات منیزیم، (ث) تغییرات منگنز نسبت به درصد مولی کربنات منیزیم و (ج) تغییرات آهن و منگنز نسبت به هم که بیانگر شرایط احيایی محیط است.

۱۳۳/۹ تا ۱۳۴۸/۵ ppm با میانگین ۵۲۰ ppm هستند؛ این مقادیر بسیار پراکنده می‌تواند به دلایل مختلفی چون تهنشست و تاثیر شوره‌های غنی از استرانسیوم در دولومیت‌های باز تبلور یافته باشد [۲۸-۳۳]. در نوع سوم دولومیت‌ها در سازند سبزار یعنی دولومیت‌های رگه‌ای، Vd، مقدار استرانسیوم از ۱۴۴/۱ تا ۳۷۹/۳ (میانگین ۲۳۳/۸ ppm) متغیر است، که با پیشرفت و گسترش فرایندهای دولومیتی‌شدن و افزایش اندازه بلور دولومیت باعث کاهش تمرکز استرانسیوم در این نوع از دولومیت‌ها می‌شود، که این همچنین می‌تواند به دلیل اثر سیال‌های میانزادی باشد [۳۴، ۳۵]. نزدیک‌شدن به حالت با تناسب عنصری نیز باعث کاهش استرانسیوم در این دولومیت‌ها می‌شود [۳۶]. مقادیر استرانسیوم با روند مثبت نسبت به

- استرانسیوم (Sr): از میان عناصر فرعی موجود در دولومیت‌ها، استرانسیوم همواره بیشترین توجه را به خود جلب کرده است [۲۷-۳۰]. از آنجا که عنصر استرانسیوم معمولاً جایگزین کلسیم می‌شود و مقدار کلسیم در دولومیت‌ها نصف مقدار آن در کلسیت‌هاست، بنابراین تمرکز استرانسیوم در دولومیت‌ها کمتر از کلسیت‌هاست [۸]. دولومیت‌های نوع D1 دارای ۲۵۶/۶ تا ۹۶۲/۵ ppm (میانگین ۵۰۸/۷ ppm) استرانسیوم هستند، که بدلیل دولومیت اولیه بون مقادیر بالاتری از تمرکز عنصر استرانسیوم را در خود دارند [۲۷-۳۰]، و بسیار مشابه دولومیت‌های محیط بالای مد تا جزر و مدی و در جریان‌های اشباع از نمک (۱۰۰ تا ۷۰۰ ppm استرانسیوم) هستند [۳۱، ۳۲]. دولومیت‌های نوع D2 دارای گستره وسیعی از استرانسیوم (از

در این نوع از دولومیت‌ها ۱۰۳۹/۹ ppm تا ۲۱۸۶/۶ ppm (میانگین ۱۴۹۱/۶ ppm) است. سومین نوع دولومیت‌ها یعنی دولومیت-های رگه‌ای Vd دارای ۱۹۳۰/۴ تا ۲۵۶۱۸/۶ ppm (میانگین ۲۲۶۲۹/۳ ppm) عنصر آهن هستند؛ مقدار منگنز نیز در این نوع از دولومیت‌ها ۱۸۱۸/۴ تا ۳۴۵۴ ppm (میانگین ۲۳۷۶/۴ ppm) است. با افزایش مقدار منیزیم از غلظت این عناصر در دولومیت‌ها کاسته می‌شود (شکل‌های ۶ ت و ث). روند مثبت آهن و منگنز نسبت به هم نشان دهنده شرایط احیایی حاکم بر محیط طی میانزایی تدفینی است [۴۰] (شکل ۶ ج). مقدار منگنز بالا در دولومیت‌ها می‌تواند در اثر وجود محلول‌های غنی از این کاتیون در محیط ناشی شده باشد [۲۸]. سیال‌های جوی از عوامل موثر بر افزایش غلظت منگنز در دولومیت‌های سازند سبزار است. این سیال‌ها طی مراحل میانزایی و دولومیت‌زایی سبب غنی‌شدن بلورهای دولومیت از منگنز می‌شوند. دولومیت-هایی که در معرض سیال‌های جوی قرار می‌گیرند تا مقدار ۳۴۰۰ ppm منگنز در شبکه بلوری خود جای می‌دهند [۴۱]. منگنز و آهن برخلاف استرانسیوم و سدیم، طی میانزایی به سنگ افزوده می‌شوند و رابطه نزدیکی با هم دارند [۴۲]. واحد-های آذرین نفوذی، مثل واحد سیل بازالت میانی این سازند با واکنش روی آب‌های سازندی و همچنین تاثیر بر سیال‌های میانزادی منجر به افزایش مقدار آهن و منگنز در ترکیب شیمیایی دولومیت‌های سبزار طی میانزایی تدفینی شده است [۳۱-۴۳].

خاستگاه یون منیزیم

با توجه به شواهد صحرایی (دولومیتی شدن به صورت لایه‌ای و فراگیر در سراسر سازند سبزار)، نتایج سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی بنظر می‌رسد که تنها خاستگاه یون منیزیم برای دولومیت‌های D₁ (دولومیتی‌شدن اولیه و همزمان با رسوبگذاری) آب دریا باشد، که احتمالاً در یک محیط جزر و مدی و در اثر پمپاژ آب‌های دریایی غنی از یون منیزیم به رسوبات این پهنه، دولومیتی‌شدن صورت گرفته باشد [۲۷]. برای دولومیتی شدن دولومیت‌های نوع D₂ ناشی از فعالیت نوریکتی، خاستگاه یون منیزیم باید همان خاستگاه دولومیت‌های نوع D₁ (آب دریا) به همراه آب‌های دریایی محبوس شده باشد. برای دولومیت‌های رگه‌ای Vd نیز می‌توان گفت که

افزایش غلظت منیزیم، افزایش می‌یابد (شکل ۶ ب). با رسم داده‌های پراکنده استرانسیوم نسبت به غلظت منیزیم یک تفکیک‌شدگی در نمودار دیده شد، به این صورت که نمونه‌های دولومیتی مورد بررسی از واحد سنگ دولومیت و ماسه سنگ پایینی (Ld) دارای گستره وسیعی از استرانسیوم در مقایسه با نمونه‌های دولومیتی واحد سنگ دولومیت بالایی (Ud) با گستره کاملاً محدودی از استرانسیوم از ۱۳۴ ppm تا ۲۵۶ ppm هستند. بنظر می‌رسد که این اختلاف ناشی از تاثیر سیال‌های میانزادی بر دولومیت‌های واحد سنگ دولومیت بالایی (Ud) که موجب کاهش غلظت استرانسیوم در این دولومیت‌ها شده است، باشد.

- سدیم (Na): سدیم فراوانترین کاتیون موجود در آب دریاست و به عنوان شاخص برای پی بردن به درجه شوری سیال‌های دیرینه استفاده می‌شود. [۳۷-۳]. مقادیر سدیم در دولومیت-های سازند سبزار دارای گستره نسبتاً نزدیک بوده و از ۸۲۲/۲ تا ۱۳۶۵/۲ ppm در تغییر است (به طور میانگین در دولومیت-های D₁ برابر با ۱۱۱۳/۴ ppm، در دولومیت‌های D₂ برابر با ۱۱۳۶/۸ ppm و در دولومیت‌های رگه‌ای Vd برابر با ۱۰۳۶/۷ ppm است). مقدار سدیم با افزایش غلظت منیزیم با شیب ملایم افزایش می‌یابد (شکل ۶ پ) و روند مثبت دارد. سدیم فراوان در دولومیت‌ها می‌تواند در ارتباط با ورود جریان‌های شورابه‌ای یاد شده باشد [۳۸]. مقادیر بیشتر سدیم در دولومیت‌های D₂ نسبت به دولومیت‌های D₁ می‌تواند در اثر نفوذ آب‌های محبوس دریایی شور و یا سیال‌های شورابه‌ای اشباع از نمک به این دولومیت‌ها طی فعالیت نوریکتی باشد. با این وجود، تفسیر منابع سدیم در دولومیت‌ها مشکل است، زیرا تمرکز بالای سدیم ممکن است به علت حضور میانبارهای مایع یا جامد غنی از NaCl یا دگرسانی‌های کانی رسی غنی از منیزیم باشد یا طی میانزایی نیز دچار تغییرات شده باشد [۳۸،۳۹].

- آهن و منگنز (Fe & Mn): مقدار آهن در دولومیت‌های نوع D₁ از ۱۵۹۹۷ تا ۳۰۰۸۰/۹ ppm (میانگین ۲۱۹۴۰/۱ ppm) متغیر است؛ همچنین مقدار منگنز در این نوع از دولومیت‌ها ۵۶۰/۱ تا ۳۶۷۵/۸ ppm (میانگین ۱۹۹۳/۵ ppm) است. دولومیت‌های نوع D₂ دارای ۸۲۸۸/۳ تا ۱۸۴۵۶/۵ ppm (میانگین ۱۴۴۸۱/۴ ppm) عنصر آهن هستند؛ مقدار منگنز نیز

خاستگاه یون منیزیم آب های محبوس دریایی است. همچنین برای دولومیت های زین اسبی شکل، خاستگاه با توجه به وجود حفره های انحلالی پر شده با دولومیت و همچنین خود دولومیت های رگه ای که می توانند در اثر انحلال و شکستگی در سنگ دولومیت ایجاد شده و پس از آن بدلیل وجود یون منیزیم فراوان در محیط سازند (از طریق دریافت یون منیزیم از آب دریا و آب های دریایی محبوس)، دوباره دولومیتی شده باشند، می توان چنین تفسیر کرد که یون های منیزیم خود را از انحلال دولومیت های نوع D_1 و D_2 طی مهاجرت سیال های گرمایی گرفته باشند [۴۴].

تکامل میانزادی دگرسانی

نسبت Mn/Sr شاخص درجه دگرسانی میانزادی در کربنات های قدیمه است. اساس این شاخص میانزادی این است که اغلب سیال های میانزادی غنی از منگنز هستند و مقادیر کمتری استرانسیوم در خود دارند، همچنین عواملی چون رخداد باز تبلور، فعالیت نوریختی و یا دولومیتی شدن باعث افزایش مقدار این شاخص می شود [۴۵، ۴۶]. اساس این اندازه گیری چنین است که نسبت های Mn/Sr کمتر از ۰/۶ نمایانگر عدم وجود دگرسانی میانزادی، کمتر از ۲ نشانگر دگرسانی میانزادی ضعیف و نسبت های بیش از ۲ بیانگر دگرسانی میانزادی از متوسط تا بسیار شدید است [۴۷]. همه دولومیت های سازند سبزار در برش خرو به طور میانگین دارای درجه دگرسانی میانزادی متوسط ($D_1: 4/5$ ، $D_2: 4/7$ و $Vd: 4/8$) (جدول ۱) هستند. البته بعضی از نمونه ها به ویژه نمونه دولومیت زین اسبی شکل با شاخص ۲۴ بشدت دچار دگرسانی میانزادی شده اند. افزایش میزان دگرسانی میانزادی در دولومیت های نوع D_2 به علت فعالیت نوریختی افزایشی آنها بوده است. همچنین افزایش درجه دگرسانی میانزادی در دولومیت های رگه ای Vd به علت ورود سیال های میانزایی غنی از منگنز و تهی از استرانسیوم به آنها بوده است.

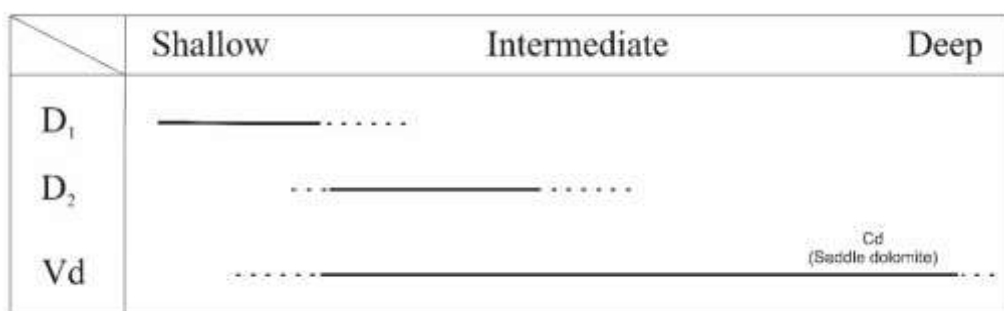
توالی همزادی

توالی همزادی برای دولومیت های سازند سبزار رسم شد براساس نتایج سنگ نگاری و تجزیه های زمین شیمیایی آنها، (شکل ۷). دولومیت های نوع D_1 ، دولومیت های اولیه و همزمان با رسوبگذاری تشخیص داده شدند که در یک محیط کم عمق

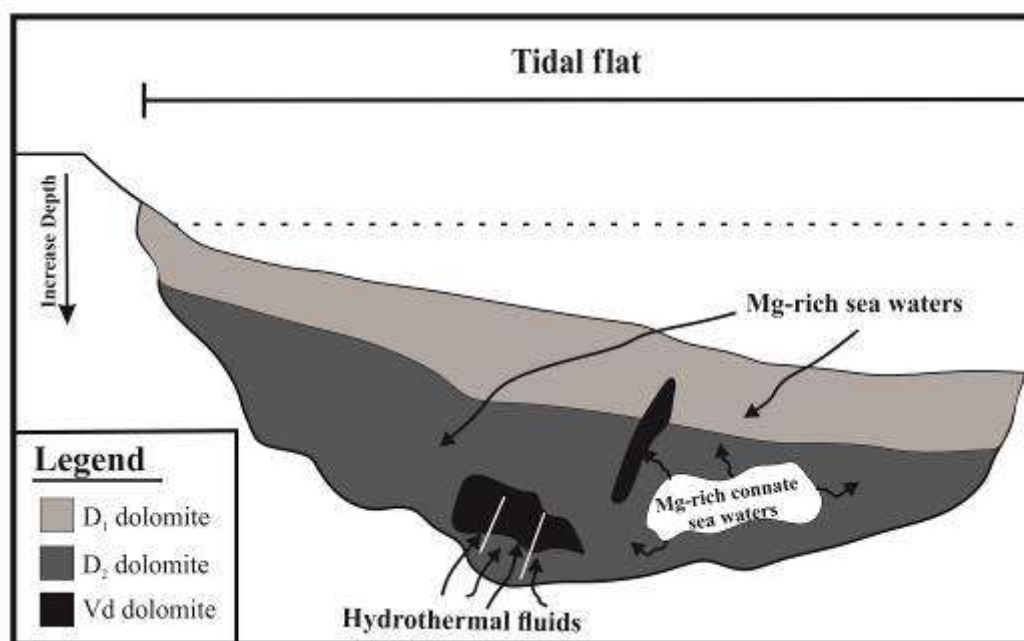
ایجاد شده اند. دولومیت های D_2 نیز براساس شواهد و نتایج بدست آمده، در اثر فعالیت نوریختی افزایشی دولومیت های D_1 ایجاد شده و کمی پس از دولومیت های نوع D_1 تشکیل شده اند. این پدیده در زیر سطح و در یک محیط به نسبت کم رخ داده است، دولومیت های رگه ای Vd بر اساس شواهد سنگ نگاری و تنوع بسیار زیاد در اندازه، شکل و بافت دولومیتی شدن و چنین ایجاد آن در هر دو نوع دولومیت پیشین، می توان گفت که این نوع دولومیت در گستره وسیعی از کمی پس از ایجاد دولومیت های نوع D_1 تا مراحل دفن عمیق شکل گرفته، که موجب ایجاد بافت های متنوع دولومیت و دولومیت های زین اسبی شکل (در مراحل دفن عمیق) شده است.

مدل دولومیتی شدن

بر اساس بررسی های سنگ نگاری و زمین شیمیایی صورت گرفته، دولومیت های سازند سبزار دارای ۳ مدل مختلف دولومیتی شدن هستند، به طوری که دولومیت های نوع D_1 به دلیل ریز بلور بودن، بافت بلوری غیر مسطح- a (موزائیک نامنظم)، دولومیتی شدن فراگیر در سراسر سازند، وجود ذرات دانه ریز آواری (کوارتز، پیریت و مسکوویت)، عدم وجود فسیل و همچنین شواهد زمین شیمیایی چون بالا بودن مقدار Sr (میانگین $508/7$ ppm) و Na (میانگین $1113/4$ ppm)، در محیط جزر و مدی و به صورت اولیه تشکیل شده اند. دولومیت های نوع D_2 ، با توجه به شواهد سنگ نگاری چون افزایش اندازه بلوری (۲۰ تا ۱۵۰ میکرون)، چند مودال بودن، شباهت بافتی با دولومیت های نوع D_1 (بیشتر از نوع غیر مسطح- a یا موزائیک نامنظم هستند)، شباهت و نزدیکی با شواهد زمین شیمیایی دولومیت های نوع D_1 (شباهت در مقدار Sr با (میانگین 520 ppm) Na با (میانگین $1136/8$ ppm) در اثر فعالیت نوریختی افزایشی از دولومیت های نوع D_1 و کمی پس از این دولومیت ها تشکیل شده اند. دولومیت های رگه ای Vd به دلیل اندازه بلوری بزرگتر نسبت به دو نوع دولومیت پیشینی (۴۰ تا ۷۰۰ میکرون)، تنوع بافت بلوری، دولومیتی شدن درون شکستگی و رگه ها و همچنین شواهد زمین شیمیایی (کاهش مقدار Sr با (میانگین $233/8$ ppm)، به صورت میانزادی و دولومیت های زین اسبی شکل در شرایط دفن عمیق در اثر محلول های گرمایی تشکیل شده اند (شکل ۸).



شکل ۷ توالی همزادی دولومیت‌های سازند سبزار در برش خرو.



شکل ۸ مدل دولومیتی‌شدن سازند سبزار در برش خرو.

میانی و سنگ دولومیت تا سنگ‌های دولومیت آهکی بالایی، دارای ۳ نوع دولومیت (D₁, D₂, Vd) است. دولومیت‌های D₁ ریز بلور بوده و از نظر بافتی از نوع غیر مسطح-a (موزاییک نامنظم) هستند. دولومیت‌های D₂ در اندازه ریزبلور تا متوسط بلور و از نظر بافتی از نوع غیر مسطح-a (موزاییک نامنظم)، مسطح-s (موزاییک نیمه منظم) و مسطح-e (موزاییک منظم) هستند، که نوع مسطح-e (موزاییک منظم) بصورت حفره پرکن هستند. دولومیت‌های رگه‌ای Vd دارای بافت بلوری غیر مسطح-a (موزاییک نامنظم)، مسطح-e (موزاییک منظم) و مسطح-s (موزاییک نیمه منظم) و غیر مسطح زین اسبی شکل هستند. دولومیت‌های نوع D₂ به دلیل اثر فعالیت نوریکتی افزایشی نزدیک‌ترین نوع دولومیت به حالت استوکیومتری

با توجه به شواهد سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی، دولومیت‌های واحد سنگ دولومیت و ماسه سنگ پایینی (Ld) با دولومیت-های واحد سنگ دولومیت بالایی (Ud)، تنها در کاهش مقدار مواد آواری و ایجاد کلسیت همراه با سنگ دولومیت‌ها با هم اختلاف دارند، هرچند بررسی‌های زمین‌شیمیایی عنصری نشان داد که نوع مدل‌های دولومیتی‌شدن در هر دو واحد یکسان بوده است، اما سنگ‌های دولومیت‌های واحد سنگ دولومیت بالایی بیشتر دستخوش سیال‌های میانزادی (کاهش مقدار Sr در دولومیت‌های این واحد) بوده است.

برداشت

سازند سبزار در برش خرو با ۳۳۴ متر ضخامت، شامل سنگ دولومیت و میان‌لایه‌های ماسه سنگ پایینی، سیل بازالتی

- [4] Aqrabi A.A.M., Keramati M., Ehrenberg S.N., Pickard N., Moallemi A., Svana T., Darke G., Dickson J.A.D., Oxtoby N.H., "The origin of dolomite in the Asmari Formation (Oligocene-Lower Miocene), Dezful Embayment, SW Iran", *Journal of Petroleum Geology* 29 (2006) 381-402.
- [5] Adabi M.H., "Multistage dolomitization of Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet-Dagh Basin, N.E. Iran", *Carbonates and Evaporites* 24 (2009) 16-32.
- [6] Machel H.G., "Concepts and models of dolomitization: a critical reappraisal", In: *The Geometry and Petrogenesis of Dolomite Hydrocarbon Reservoirs* (Eds C.J.R. Braithwaite, G. Rizzi and G. Darke), *Geology Society (London), Special Publication* (2004) 235: 7-63.
- [7] Amthor J.E., Friedman G.M., "Early to late diagenetic Dolomitization of platform carbonates: Lower Ordovician Ellenburger Group, Permian Basin, West Texas", *Journal of Sedimentary Research* 62(1) (1992) 131-144.
- [8] Rao C.P., "Modern Carbonates, Tropical, Temperate, Polar: Introduction to Sedimentology and Geochemistry" *Tasmanian Government Printers* (1996). 206 p.
- [9] Friedman G.M., "Terminology of crystallization textures and fabrics in sedimentary rocks", *Journal of Sedimentary Research* 35(3) (1965) 643-655.
- [10] Gregg J.M., Sibley D.F., "Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture", *Journal of Sedimentary Research* 54(3) (1984) 907-931.
- [11] Mazzullo S.J., "Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: a review" *Carbonates and Evaporites* 7 (1992) 21-37.
- [12] Sibley D.F., Gregg, J.M., "Classification of dolomite rock texture", *Journal of Sedimentary Research* 57(6) (1987) 967-975.
- [13] Folk R.L., "The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of magnesium content and salinity", *Journal of Sedimentary Research* 44(1) (1974) 40-53.
- [14] Khashei M., "Estimation of $FeCO_3 + MnCO_3$ in dolomites using X-ray diffraction (XRD)-Case study: Soltanieh, Sibzar, Shotori and Mozduran Formations (in Persian)", M.Sc Thesis, University of Birjand (2011).
- [15] Alavi M., "Thrust tectonic of the Binalood region, NE Iran. *Tectonophysics*", *Tectonics* 11(2) (1992) 360-370.

هستند. غلظت استرانسیوم در دولومیت‌های واحد سنگ دولومیت بالایی (Ud) در مقایسه با واحد سنگ دولومیت و ماسه سنگ پایینی (Ld) در نتیجه تاثیر سیال‌های میانزادی بر دولومیت‌های واحد سنگ دولومیت بالایی (Ud) بسیار کمتر است. مقادیر بالای غلظت عنصر سدیم در دولومیت‌های این سازند نمایانگر ورود سیال‌های شورابه‌ای فوق اشباع است. غلظت بالای عناصر آهن و منگنز بیانگر محیط تدفینی و شرایط احیایی است. خاستگاه یون منیزیم برای دولومیت‌های سازند سببزار بیشتر آب‌های دریایی غنی از یون منیزیم است، با این تفاوت که در دولومیت‌های نوع D_2 و Vd آب‌های دریایی محبوس و مهاجرت سیال‌های گرمابی غنی از منیزیم نیز در فرآیند دولومیتی شدن مشارکت دارد. این دولومیت‌ها دارای درجه دگرسانی متوسط هستند. بر اساس شواهد سنگ‌نگاری وزمین شیمیایی، دولومیت‌های نوع D_1 به صورت اولیه و در محیط جزر و مدی تشکیل شده‌اند. دولومیت‌های نوع D_2 در اثر فعالیت نوریختی افزایشی دولومیت‌های نوع D_1 و در مراحل بعدی تدفین، دولومیت‌های رگه‌ای Vd به صورت میانزادی (در شکستگی و رگه‌ها) و به صورت تدفین عمیق و در اثر مهاجرت سیال‌ها و دولومیت‌های زمین اسبی شکل از کمی پس از تشکیل دولومیت‌های نوع D_1 تا مراحل دفن عمیق تشکیل شده‌اند.

قدردانی

نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانند تا از دانشگاه فردوسی مشهد به منظور تامین هزینه‌های مالی این طرح به شماره ۳/۴۵۱۰۴ تشکر نمایند. همچنین از جناب آقایان مهندس فریدون احمدزاده، مهندس حمید مرادی نژاد راوری و مهندس محمد نیک بین برای کمک در انجام بازدیدهای صحرایی سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- [1] Schmidt M., Xeflide S., Botz R., Mann S., "Oxygen isotope fractionation during synthesis of CaMg-carbonate and implications for sedimentary dolomite formation", *Geochimica et cosmochimica Acta* 69(19) (2005) 4665-4674.
- [2] Wacey D., Wright D.T., Boyce A.J., "A stable isotope study of microbial dolomite formation in the Coorong Region, South Australia", *Chemical Geology* 244 (2007) 155-174.
- [3] Warren J.K., "Dolomite: occurrence, evolution and economically important association", *Earth-Science Reviews* 52 (2000) 1-81.

São Francisco Basin, Brazil", Precambrian Research 112(3-4) (2001) 303-329.

[30] Veizer J., "Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique", In: Arthur, M. A., Anderson, T. F., Kaplan, I. R., Veizer, J., Land, L. S. (Eds.), Stable Isotopes in Sedimentary Geology, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course 3 (1983) 100:1-3.

[31] Franchi F., "Petrographic and geochemical characterization of the Lower Transvaal Supergroup stromatolitic dolostones (Kanye Basin, Botswana)", Precambrian Research 310 (2018) 93-113.

[32] Gregg J.M., Howard S.A., Mazzullo S.J., "Early diagenetic recrystallization of Holocene (<3000 years old) peritidal dolomites, Ambergris Cay, Belize", Sedimentology 39(1) (1992) 143-160.

[33] Budd D.A., "Cenozoic dolomites of carbonate islands: their attributes and origin", Earth Science Review 42(1-2) (1997) 1-47.

[34] Eren M., Kaplan M.Y., Kadir S., "Petrography, Geochemistry and Origin of Lower Liassic Dolomites in the Aydıncik Area, Mersin, Southern Turkey", Turkish Journal of Earth Sciences 16 (2007) 339-362.

[35] Hou M.C., Jiang W.J., Xing F.C., Xu S.L., Liu X.C., Xiao C., "Origin of dolomites in the Cambrian (upper 3rd-Furongian) formation, southeastern Sichuan Basin, China", Geofluids 16(5) (2016) 856-876.

[36] Vahrenkamp V.C., Swart P.K., "New distribution coefficient for the incorporation of strontium into dolomite and its implications for the formation of ancient dolomites", Geology 18(5) (1990) 387-391.

[37] Suzuki Y., Iryu Y., Inagaki S., Yamada T., Aizawa S., Budd D.A., "Origin of atoll dolomites distinguished by geochemistry and crystal chemistry: Kita-daito-jima, northern Philippine Sea", Sedimentary Geology 183(3-4) (2006) 181-202.

[38] Ren Y., Zhong D., Gao C., Sun H., Peng H., Zheng X., Qiu C., "Origin of dolomite of the lower Cambrian Longwangmiao Formation, eastern Sichuan Basin, China", Carbonates and Evaporites (2017a) 1-20.

[39] Akcay M., Ozkan H.M., Spiro B., Wilson R., Hoskin P.O., "Geochemistry of a high hydrothermal dolostone from the Emirli (Odemis, Western Turkey) Sb- Au deposit", Mineralogical Magazine 67(4) (2003) 671-688.

[16] Pourlatifi A., "Geological map of Torghabe (1:100000 scale)", Geological survey & mineral exploration of Iran publications (2000).

[17] Flugel H.W., Ruttner A., "Vorbericht über paläontologisch-stratigraphische Untersuchungen im Paläozoikum von Ozbak-Kuh (NE-Iran)", Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt 1 (1962) 146-150.

[18] Ruttner A.W., Nabavi M.H., Hajian J., "Geology of the Shirgesht area (Tabas area, east Iran)", Geological Survey of Iran, Reports 4 (1968) 1-133.

[19] Weddige K., "Externally controlled late Paleozoic events of the Iran Plate". Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 168 (1984) 278-286.

[20] Wendet J., Kaufmann B., Belka Z., Farsan N., Karimi Bavandpur, A., "Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and paleogeography of Iran. Part I. Southeastern Iran", Acta Geologica Polonica 52(2) (2005) 129-168.

[21] Rahimi B., Ghaemi F., "Sedimentation in related to thrust tectonics of Binalud Mountains (in Persian)", Sedimentary Facies 7(2) (2014) 218-235.

[22] Leighton M.W., Pendexter C., "Carbonate rock types", AAPG Memoirs 1 (1962) 33-61.

[23] Dickson J.A.D., "A modified staining technique for carbonate in the thin section", Nature (1965) 205-587.

[24] Bacelle L., Bosselini A., "Diagrammi per la stima visiva: Della composizione percentuale nelle rocce sedimentarie (in Italian)", Università di Ferrara. Annali. Nuova ser. Sez. IX: Scienze geologiche e paleontologiche 1(3) (1965) 59-62.

[25] Flugel E., "Microfacies of Carbonate Rocks: analysis, interpretation and application", Springer, Berlin Heidelberg, New York (2010) 984.

[26] Al-Aasm I.S., Packard J.J., "Stabilization of early-formed dolomite: a tale of divergence from two Mississippian dolomites", Sedimentary Geology 131(3-4) (2000) 97-108.

[27] Land L.S., "The origin of massive dolomite" Geological Education 33 (1985) 112-125.

[28] Al-Aasm I.S., "Chemical and Isotopic Constraints for Recrystallization of Sedimentary Dolomites from the Western Canada Sedimentary Basin", Aquatic Geochemistry 6(2) (2000) 227-248.

[29] Azmy K., Veizer J., Misi A., Oliveira T.F., Sanches A.L., Dardenne M.A., "Dolomitization and isotope stratigraphy of the Vazante formation,

fault-related fluid flow", *Marine and Petroleum geology* 26(8) (2009) 1428–1440.

[45] Derry L.A., Brasier M.D., Corfield R.M., Rozanov A.Y., Zhuravlev A.Y., "Sr and C isotopes in Lower Cambrian carbonates from the Siberian craton: A paleoenvironmental record during the 'Cambrian explosion'", *Earth and Planetary Science Letters* 128(3-4) (1994) 671-681.

[46] Higgins J.A., Blattler C.L., Lundstrom E.A., Santiago-Ramos D.P., Akhtar A.A., Cruger-Ahm A-S., Bialik O., Holmden C., Bradbury H., Murray S.T., Swart P.K., "Mineralogy, early marine diagenesis, and the chemistry of shallow-water carbonate sediments", *Geochemica et Cosmochemica Acta* 220 (2018) 512-534.

[47] Ren Y., Zhong D., Gao C., Yang Q., Xie R., Langbo J., Yangjinfeng J., Ningcong Z., "Dolomite geochemistry of the Cambrian Longwangmiao Formation, Eastern Sichuan Basin: implication for dolomitization and reservoir prediction", *Petroleum Research* 2(1) (2017b) 64-76.

[40] Tucker M.E., Wright V.P., "Carbonate Sedimentology Petrology", Black Well, Oxford (1990) 482.

[41] Jiang L., Cai C.F., Worden R.H., Li K.K., Xiang L., "Reflux dolomitization of the Upper Permian Changxing Formation and the Lower Triassic Feixianguan Formation, NE Sichuan Basin, China", *Geofluids*, 13(2) (2013) 232-245.

[42] Burns, S.J., Baker P.A., "A geochemical study of dolomite in the Monterey Formation, California", *Journal of Sedimentary Research*, 57(1) (1987) 128-139.

[43] Blomme K., Fowler S.J., Bachaud P., Nader F.H., Michel A., Swennen R., "Ferroan Dolomitization by Seawater Interaction with Mafic Igneous Dikes and Carbonate Host Rock at the Latemar Platform, Dolomites, Italy: Numerical Modeling of Spatial, Temporal, and Temperature Data", *Geofluids* 310 (2017) 93-113.

[44] Zhang J., Hu W., Qian Y., Wang X., Cao X., Zhu J., Li Q., Xie X., "Formation of saddle dolomites in Upper Cambrian carbonates, western Tarim Basin (northwest China): Implications for