



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

ابوالفضل جمشیدی پور، محمد خانه باد<sup>\*</sup>، سید رضا موسوی حرمی، اسدالله محبوبی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

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

چکیده: سازند سیبزار به سن دونین میانی در برش خرو در ۳۰ کیلومتری شرق نیشابور از سنگ دولومیت با میانلایه‌های ماسه سنگی پایینی، سیل بازالتی میانی و سنگ دولومیت‌های آهکی بالایی با ضخامت ۳۳۴ متر تشکیل شده است. بر اساس اندازه بلور، در این سازند ۳ نوع دولومیت مختلف ( $Vd$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ) شناسایی شد و بر اساس رده‌بندی بافتی، دولومیت‌های این سازند بیشتر از نوع غیر مسطح- $a$  (موزاییک نامنظم)، ( $Xenotopic mosaic$ )) تشکیل شده‌اند که پس از آن نوع مسطح-S-Planar-e (Idiotopic mosaic) و نوع مسطح-e (Hypidiotopic mosaic) (موزاییک منظم)، ((Planar-s (Hypidiotopic mosaic))) فراوان‌ترین بافت‌های بلوری دولومیت‌ها هستند. دولومیت‌های سازند سیبزار از نظر غلظت عناصر اصلی به طور میانگین دارای ۲۱٪۶ درصد کلسیم و ۱۰٪۹ درصد منیزیم هستند. غلظت بالای آهن (میانگین ۱۸۳۵۸.۴۳ ppm) و منگنز (میانگین ۱۸۲۴۶.۶ ppm) بیانگر شرایط احیایی طی تدفین عمیق بوده است. غلظت عنصر سدیم (میانگین ۱۱۰.۸.۶۷ ppm) بیانگر ورود جریانات سورابه فوق اشباع به محیط است. میانگین غلظت استرانسیوم ۴۵۵.۴۱ ppm است. خاستگاه یون منیزیم، آبهای دریایی غنی از منیزیم به همراه آبهای دریایی محبوب و مهاجرت سیال‌های گرمابی 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 سیبزار، شرق نیشابور، بررسی زمین‌شیمیایی عنصری.

پیچیدگی‌های فراوانی است، بطوریکه اغلب در چندین مرحله متفاوت رخ می‌دهد [۶،۵]. با استفاده از ویژگی‌هایی مانند بافت و اندازه بلورها، شکل و مرز بلورها، مشخصه‌های رسوبی، جدایش ایزوتوبی، دما، شوری، ترکیب سیال‌ها و شرایط اکسایش-کاهش را تشخیص داد و دولومیت‌های میانزادی اولیه و ثانویه را از هم تفکیک کرد [۸-۷]. 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 سیبزار در برش خرو در شرق نیشابور انواع مختلف دولومیت‌ها بر اساس نوع بافت و اندازه بلوری شناسایی و

مقدمه دولومیت یک کانی کربناته است. اما سازوکار تشکیل آن هنوز به طور کامل شناخته نشده است [۲-۱]. 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)، گرمابی 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

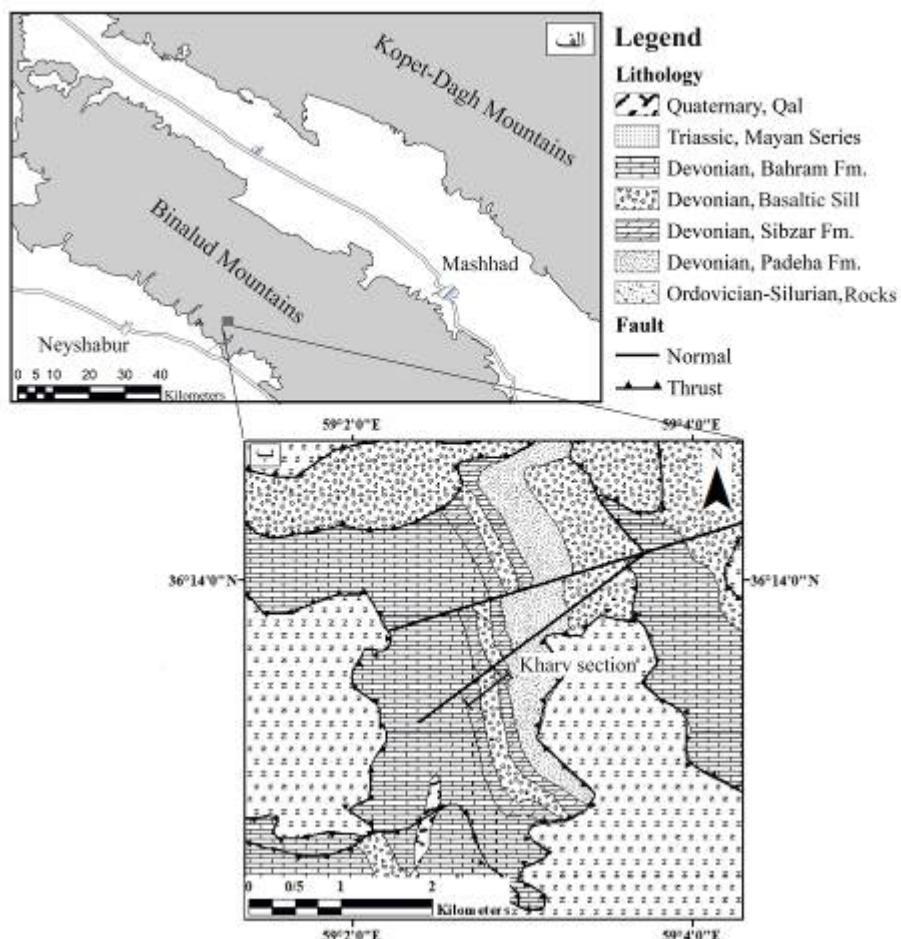
سنوزئیک رانده شده است [۱۶]. لایه‌های دولومیت خاکستری رنگ بین سازندهای بهرام و پادها با سن دونین میانی در کوههای ازبک‌کوه توسط فلوگل و همکارش [۱۷] مشاهده گردید و بعدها دولومیت سیبزار نامیده شد [۱۸]. این سازند در کوههای بینالود دیده شده است [۱۹]. این سازند بیشتر دارای دولومیت است و به ندرت با میان‌لایه‌های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

برش مورد بررسی سازند سیبزار دارای مختصات "۲۴° ۱۳' شمالي و ۵۲° ۰' ۵۹" شرقی و در قسمت جنوبی کوههای 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).

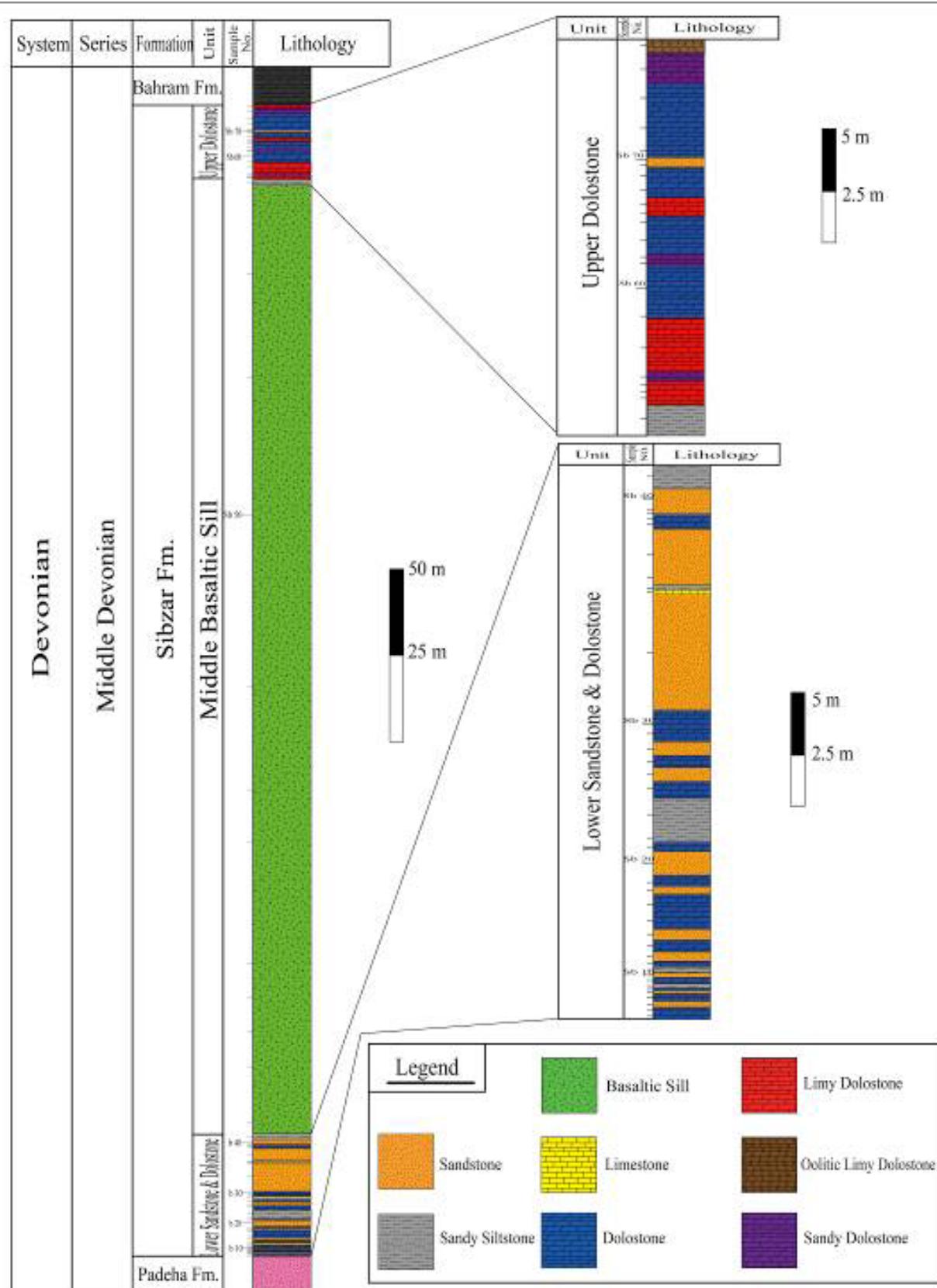
بررسی می‌شود و در ادامه با استفاده از داده‌های تجزیه‌های زمین شیمیایی خاستگاه تشکیل سیال‌های دولومیت ساز و نوع محیط میانزایی آن بررسی می‌گردد. دولومیت‌های سازند سیبزار تاکنون بجز بررسی موردي سازند سیبزار در برش الگو (در معدن ازبک‌کوه) [۱۴] موضوع پژوهش دیگری نبوده‌اند.

#### 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 پالئوتیس در شمال این ارتفاعات قرار دارد [۱۵]. این ناحیه بیشتر از سنگ‌های پالئوزوئیک پایینی، ژوراسیک، کرتاسه و سنوزئیک تشكیل شده است. ارتباط این واحدهای پالئوزوئیک و واحدهای سنگی جوان‌تر اغلب به صورت گسله بوده به طوری که این رسوبات بر رسوبات



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]).

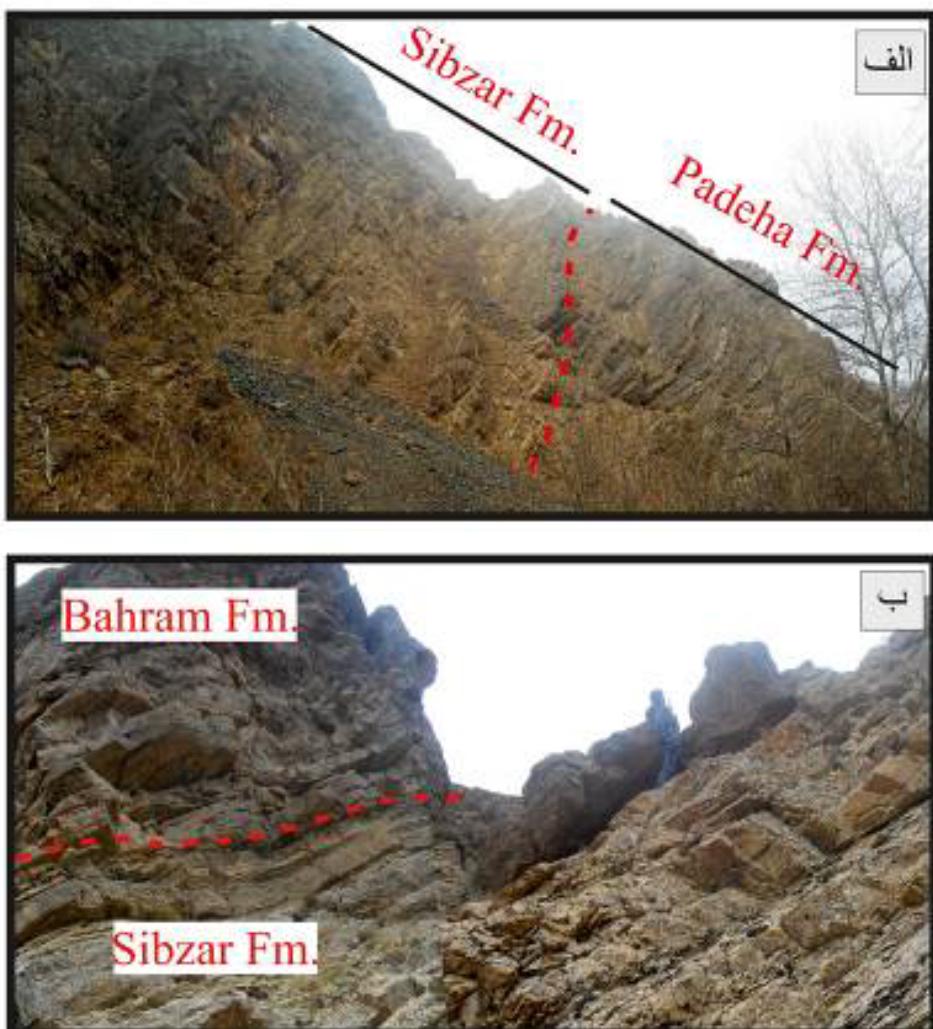


شکل ۲ ستون چینه‌شناسی سازند سیبزار در برش خرو.

شناسی عمومی سنگ‌های کربناته است، انجام شد. همچنان رده‌بندی دولومیت‌ها بر اساس مراجع [۱۰-۱۲] و همیسطور بر اساس اندازه بلوری آن‌ها انجام گرفت. به منظور تفکیک دولومیت و کلسیت از یکدیگر، از محلول آلیارین قرمزاًس 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 شده‌القایی (ICP-OES) پودر دولومیت‌ها که با استفاده از یک مته ریز با دقیق بالا به دست آمده بود، برای ۱۴ نمونه دولومیتی در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده است.

### روش بررسی

پس از بررسی‌های صحرایی و تفکیک مرزهای بالا و پایین، سازند سیبزار در برش خرو نمونه‌برداری شد (شکل ۳). تعداد ۸۰ نمونه از بخش‌های رسوبی سازند سیبزار 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 تهییه شد. بررسی سنگنگاری این نمونه‌ها به منظور شناخت «جزء»، 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



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

اندازه ریزبلورها (کمتر از ۳۰ میکرون) و همچنین بافت بلورها (غیر مسطح-a یا موزاییک نامنظم) این نوع دولومیت‌ها هم‌زمان با رسوبگذاری (تصویر اولیه) و یا در مراحل اولیه میانزایی در یک محیط کم عمق 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 باشد [۵-۲۷].

- دولومیت‌های ریز بلور تا متوسط بلور (D<sub>2</sub>): این نوع به نسبت نوع D<sub>1</sub> از فراوانی کمتری برخوردار بوده و دارای اندازه ۱۵۰-۲۰۰ میکرون هستند. آنها از نظر رده‌بندی بافت دولومیت‌ها [۱۰، ۱۲] نیز بیشتر از دولومیت‌های غیر مسطح-a (موزاییک نامنظم) و سپس از مسطح-s (موزاییک نیمه منظم) 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).

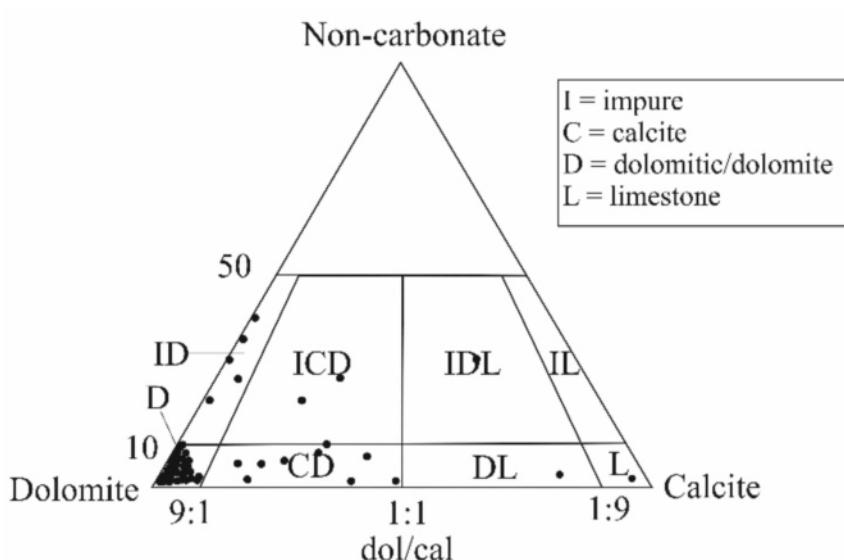
بافت مسطح بلورهای نیمه شکل‌دار (مسطح-s یا موزاییک نیمه منظم) در اثر رشد بلورها به دنبال جریان پیوسته‌ای از سیال دولومیت ساز بوجود آمده است [۱۲-۱۰]. بلورهای شکل‌دار (مسطح-s یا موزاییک نیمه منظم) از نظر ترمودینامیکی امکان تشکیل بیشتری در دماهای پایین یا درجه اشباع شدگی پایین در زمان طولانی را دارند [۱۲].

### سنگ‌نگاری

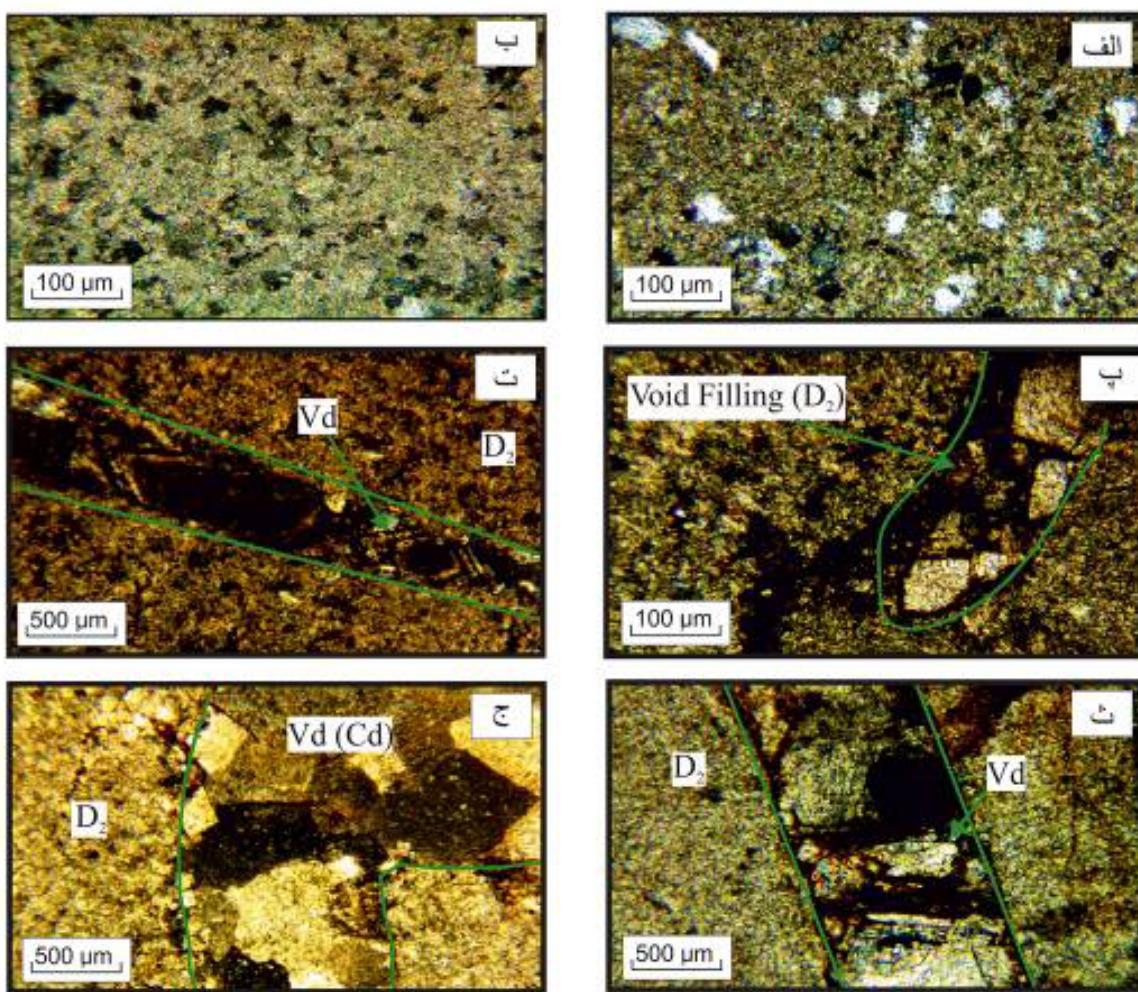
به منظور تفکیک بهتر سنگ‌های دولومیت سازند سیبزار، با استفاده از نتایج برآورد فراوانی دانه‌ها [۲۵، ۲۴] درصد کانی دولومیت، کانی کلسیت و اجزای غیرکربناته در هریک از نمونه سنگ‌های دولومیت، بدست آمد پس از آن بر اساس رسم داده‌های برآمده از سنگ‌نگاری بر نمودار رده‌بندی عمومی سنگ‌های کربناته بر اساس کانی‌شناسی اجزاء [۲۲] مشخص شد که سازند سیبزار 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<sub>1</sub>): این نوع فراوانترین دولومیت‌های سازند سیبزار 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، مسکوویت، 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،



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



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

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

این دولومیت‌ها به دلیل ویژگی‌های بافتی و اندازه بلوری، احتمالاً در مرحله تدفین کم‌عمق به صورت جانشینی 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 دفن کم‌عمق و همراه با تاثیر سیال‌های جوی و دریایی شکل گرفته باشند [۲۶-۲۸].

۳- دولومیت‌های رگه‌ای ( $Vd$ ): دولومیت‌های نوع رگه‌ای متوسط تا درشت بلور بوده و بیشتر در اندازه‌ی ۷۰۰-۴۰۰

اصلی در ساختار دولومیت‌ها هستند. مقدار کلسیم در دولومیت‌های نوع D<sub>1</sub> 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<sub>2</sub> 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 در تغییر است. درصد (میانگین ۲۱,۶ درصد) عنصر Vd دارای ۲۱,۴ تا ۲۱,۸ درصد (میانگین ۲۱,۶ درصد) 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<sub>2</sub> 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<sub>1</sub> (با نسبت مولی ۴۴,۸ : ۵۵,۲) هستند (شکل ۶ الف).

روزادی (MVT) یافت می‌شود [۳]. این دولومیت‌ها اغلب در شرایط دفنی عمیق یا گرمابی‌های بسیار شور در دمای بالا یا از احیای گرمابی-شیمیابی 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<sub>1</sub>) شروع شده و تا مراحل میانزایی تدفینی بدلیل حضور دولومیت‌های زین اسبی شکل را شامل شود (شکل‌های ۵ ت، ث، ج).

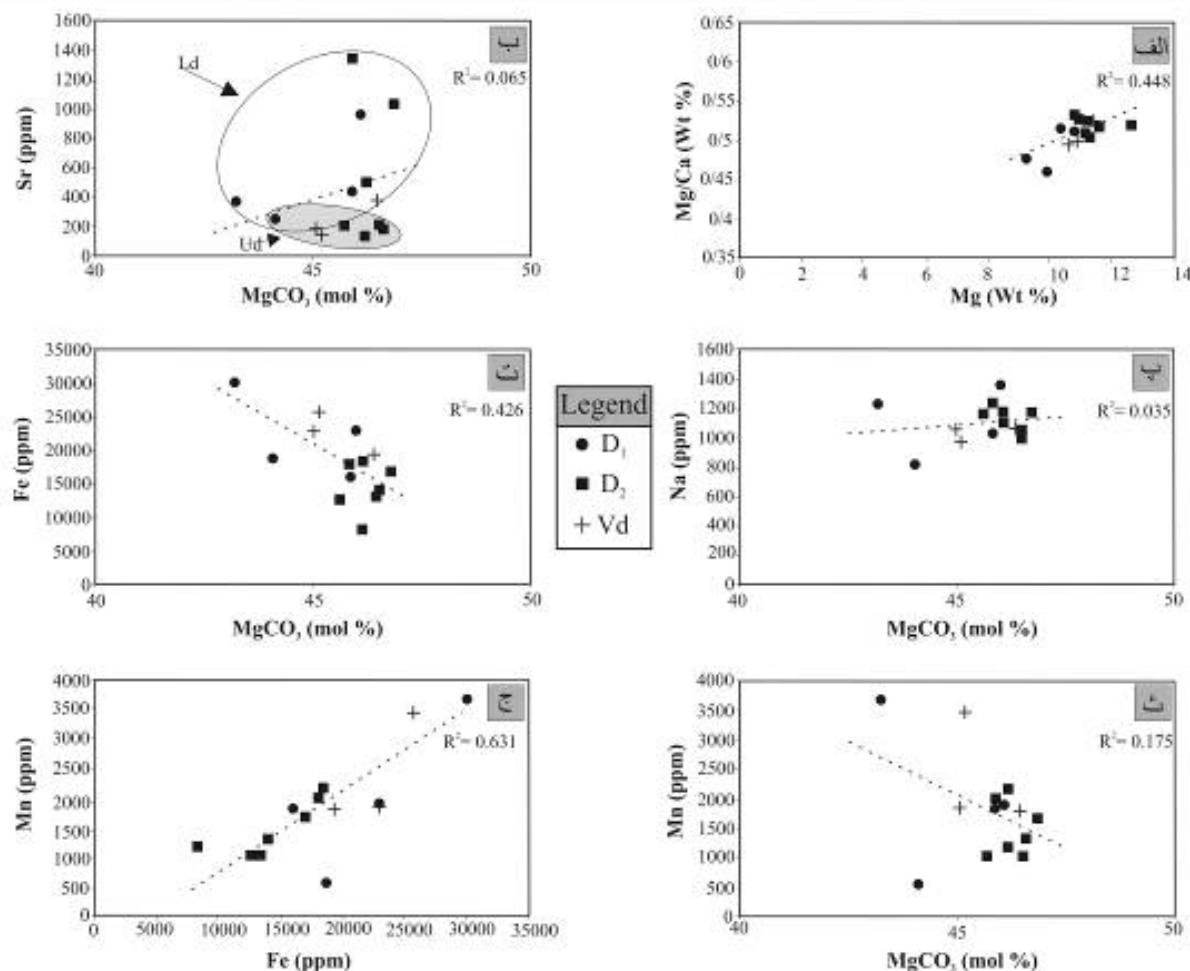
#### تجزیه زمین‌شیمیابی عنصری

تغییر مقادیر عناصر اصلی و فرعی در دولومیت‌ها بدلیل تغییر در ترکیب سیال‌های دولومیت ساز است [۸]. ترکیب داده‌های زمین‌شیمیابی 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 زمین‌شیمیابی 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) و منیزیم دو عنصر

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

Dolomite type	Rock unite	Sample No#	CaCO <sub>3</sub> (mole %)	MgCO <sub>3</sub> (mole %)	Ca (wt %)	Mg (wt %)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Sr (ppm)	Mn/Sr
<b>D<sub>1</sub></b>	Ld	<b>Sb ۱۹</b>	۵۴,۲	۴۵,۸	۲۰,۹۳۶	۱۰,۷۴۹	۱۵۹۹۷	۱۸۳۲,۵۳	۱۰۳۶,۴۲	۴۴۳,۰۹۱	۴,۱
	Ld	<b>Sb ۲۱</b>	۵۴	۴۶	۱۹,۹۵۳	۱۰,۳۱۶	۲۲۹۶۵	۱۹۰۵,۷۵	۱۳۶۵,۲۱	۹۶۲,۴۸۶	۲
	Ld	<b>Sb ۳۶</b>	۵۶,۸	۴۳,۲	۲۱,۳۸۱	۹,۸۶	۳۰۰۸۰,۹	۳۶۷۵,۷۹	۱۲۲۹,۷۳	۳۷۲۰,۵۴۱	۹,۹
	Ud	<b>Sb ۷۴</b>	۵۵,۹	۴۴,۱	۱۹,۳۲۷	۹,۲۳۹	۱۸۷۱۷,۳	۵۶۰,۰۷۲	۸۲۲,۲	۲۵۶,۵۵۲	۲,۲
<b>D<sub>2</sub></b>	Ld	<b>Sb ۱۶</b>	۵۳,۲	۴۶,۸	۱۹,۲۸۵	۱۰,۸۱۹	۱۶۸۶۸,۴	۱۶۷۴,۹۳	۱۱۸۲,۲۹	۱۰۳۳,۷۹	۱,۶
	Ld	<b>Sb ۱۷</b>	۵۴,۲	۴۵,۸	۲۱,۷۴۷	۱۱,۱۶۱	۱۸۰۲۰,۸	۲۰۱۲,۶۸	۱۲۴۱,۶۸	۱۳۴۸,۵۳	۱,۵
	Ld	<b>Sb ۳۰</b>	۵۳,۹	۴۶,۱	۲۲,۰۴۷	۱۱,۴۵۹	۱۸۴۵۶,۵	۲۱۶۸,۶۴	۱۱۰۸,۸۸	۵۰۱,۴۲۵	۴,۳
	Ud	<b>Sb ۶۴</b>	۵۳,۹	۴۶,۱	۲۴,۳۳	۱۲,۶۳۲	۸۲۸۸,۳۲	۱۱۸۵,۵۶	۱۱۸۴,۴۷	۱۳۳,۹۲۱	۱,۹
	Ud	<b>Sb ۶۸</b>	۵۴,۴	۴۵,۶	۲۱,۹۵۵	۱۱,۱۷۵	۱۲۶۷۰,۸	۱۰۴۰,۶۸	۱۱۸۶,۰۵	۲۰۶,۹۰۹	۵
	Ud	<b>Sb ۷۱ - a</b>	۵۳,۵	۴۶,۵	۲۱,۰۴۶	۱۱,۱۰۲	۱۳۹۱۶,۱	۱۳۱۸,۸۵	۱۰۱۶,۴۷	۱۹۹,۱۰۲	۶,۶
	Ud	<b>Sb ۷۲</b>	۵۳,۵	۴۶,۵	۲۱,۱۶	۱۱,۱۳۴	۱۳۱۴۸,۹	۱۰۳۹,۸۶	۱۰۵۶,۸۳	۲۱۶,۰۴۶	۴,۸
<b>Vd</b>	Ld	<b>Sb ۳</b>	۵۳,۶	۴۶,۴	۲۱,۷۵۱	۱۱,۴۱۹	۱۹۳۰,۴,۴	۱۸۱۸,۳۷	۱۰۷۲,۲۲	۳۷۹,۳۳۲	۴,۸
	Ud	<b>Sb ۶۳ - v</b>	۵۴,۹	۴۵,۱	۲۱,۷۶۶	۱۰,۸۵۴	۲۵۶۱۸,۶	۳۴۵۴,۰,۴	۹۷۱,۹۳۶	۱۴۴,۱۰۶	۲۴
	Ud	<b>Sb ۷۱ - b</b>	۵۴,۲	۴۵,۸	۲۱,۳۷۳	۱۰,۶۱۱	۲۲۹۶۵	۱۸۵۶,۹۲	۱۰۶۶,۰۸	۱۷۷,۸۹۸	۱۰,۴



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

دولومیت‌های نوع D<sub>2</sub> دارای گستره وسیعی از استرانسیوم (از ۱۳۴۸/۵ ppm تا ۱۳۴۸/۹ ppm با میانگین ۱۳۴۸/۵ ppm) هستند؛ این مقادیر بسیار پراکنده می‌تواند به دلایل مختلفی چون تهنهنشست و تاثیر شورابه‌های غنی از استرانسیوم در دولومیت‌های بازتبولر یافته باشد [۲۸-۳۳]. در نوع سوم دولومیت‌ها در سازند سیبزار ppm مقدار استرانسیوم از ۲۳۲/۸ ppm (میانگین ۳۷۹/۳ تا ۱۴۴/۱) پنهان شده است، که با پیشرفت و گسترش فرآیندهای دولومیتی‌شدن و افزایش اندازه بلور دولومیت باعث کاهش تمرکز استرانسیوم در این نوع از دولومیت‌ها می‌شود، که این همچنین می‌تواند به دلیل اثر سیال‌های میانزدای باشد [۳۴-۳۵]. نزدیک شدن به حالت با

- 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 عموماً جایگزین کلسیم می‌شود و مقدار کلسیم در دولومیت‌ها نصف مقدار آن در کلسیت‌هاست، بنابراین تمرکز استرانسیوم در دولومیت‌ها کمتر از کلسیت‌هاست [۸]. دولومیت‌های نوع D<sub>1</sub> دارای ۲۵۶/۶ ppm 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 [۳-۲۷]، 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].

(میانگین  $14481.4 \text{ ppm}$ ) عنصر آهن هستند؛ مقدار منگنز نیز در این نوع از دولومیت‌ها  $1039.9 \text{ ppm}$  تا  $2186.6 \text{ ppm}$  (میانگین  $1491.6 \text{ ppm}$ ) است. سومین نوع دولومیت‌ها یعنی دولومیت‌های رگه‌ای  $Vd$  دارای  $1930.4 \text{ ppm}$  تا  $25618.6 \text{ ppm}$  (میانگین  $22629.3 \text{ ppm}$ ) عنصر آهن هستند؛ مقدار منگنز نیز در این نوع از دولومیت‌ها  $1818.4 \text{ ppm}$  تا  $3454 \text{ ppm}$  (میانگین  $2376.4 \text{ ppm}$ ) است. با افزایش مقدار منیزیم از غلظت این عناصر در دولومیت‌ها کاسته می‌شود (شکل‌های ۶ ت و ۷). 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 سیبزار است. این سیال‌ها طی مراحل میانزایی و دولومیت‌زایی سبب غنی‌شدن بلورهای دولومیت از منگنز می‌شوند. دولومیت‌هایی که در معرض سیال‌های جوی قرار می‌گیرند تا مقدار  $3400 \text{ ppm}$  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]. واحد‌های آذربین نفوذی، مثل واحد سیل بازالت میانی این سازند با واکنش روی آبهای سازندی و همچنین تاثیر بر سیال‌های میانزایی دولومیت‌های سیبزار طی میانزایی تدفینی شده است [۴۳-۳۱].

#### خاستگاه یون منیزیم

با توجه به شواهد صحرایی (دولومیتی شدن به صورت لایه‌ای و فراغیر در سراسر سازند سیبزار)، نتایج سنگنگاری و زمین‌شیمیایی بنظر می‌رسد که تنها خاستگاه یون منیزیم برای دولومیت‌های  $D_1$  (دولومیتی شدن 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، دولومیتی شدن صورت گرفته باشد [۲۷]. برای دولومیتی شدن دولومیت‌های نوع  $D_2$  ناشی از فعالیت نوریختی، خاستگاه یون منیزیم باید همان خاستگاه دولومیت‌های نوع  $D_1$  (آب دریا) به همراه آب‌های دریایی محبوس شده باشد. برای دولومیت‌های رگه‌ای  $Vd$  نیز می‌توان گفت که خاستگاه یون منیزیم آب‌های محبوس دریایی است. همچنین

تناسب عنصری نیز باعث کاهش استرانسیوم در این دولومیت‌ها می‌شود [۳۶]. مقادیر استرانسیوم با روند مثبت نسبت به افزایش غلظت منیزیم، افزایش می‌یابد (شکل ۶ ب). با رسم داده‌های پراکنده استرانسیوم نسبت به غلظت منیزیم یک تفکیک‌شده‌گی 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  $134 \text{ ppm}$  تا  $256 \text{ ppm}$  هستند. بنظر می‌رسد که این اختلاف ناشی از تاثیر سیال‌های میانزایی 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 دولومیت‌های سازند سیبزار دارای گستره نسبتاً نزدیک بوده و از  $822.2 \text{ ppm}$  تا  $1365.2 \text{ ppm}$  در تغییر است (به طور میانگین در دولومیت‌های  $D_1$  برابر با  $1113.4 \text{ ppm}$ ، در دولومیت‌های  $D_2$  برابر با  $1136.8 \text{ ppm}$  و در دولومیت‌های رگه‌ای  $Vd$  برابر با  $1036.7 \text{ ppm}$ ). مقدار سدیم با افزایش غلظت منیزیم با شبیه 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  $D_2$  نسبت به دولومیت‌های  $D_1$  می‌تواند در اثر نفوذ آبهای محبوس دریایی شور و یا سیال‌های شورابه‌ای اشباع از نمک به این دولومیت‌ها طی فعالیت نوریختی 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 [۳۹، ۳۸].

- آهن و منگنز (Fe & Mn): مقدار آهن در دولومیت‌های نوع  $D_1$  از  $15997 \text{ ppm}$  تا  $21940.1 \text{ ppm}$  (میانگین  $30080.9 \text{ ppm}$ ) متغیر است؛ همچنین مقدار منگنز در این نوع از دولومیت‌ها  $560.1 \text{ ppm}$  تا  $3675.8 \text{ ppm}$  (میانگین  $1993.5 \text{ ppm}$ ) است. دولومیت‌های نوع  $D_2$  دارای  $18456.5 \text{ ppm}$  تا  $8288.3 \text{ ppm}$

و نتایج بدست آمده، در اثر فعالیت نوریختی افزایشی دولومیت های D<sub>1</sub> ایجاد شده؛ و کمی پس از دولومیت های نوع D<sub>1</sub> 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 هردو نوع دولومیت پیشین، می توان گفت که این نوع دولومیت در گستره وسیعی از کمی پس از ایجاد دولومیت های نوع D<sub>1</sub> تا مراحل دفن عمیق شکل گرفته، که موجب ایجاد بافت های متعدد 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 سبیزار دارای ۳ مدل مختلف دولومیتی شدن هستند، به طوری که دولومیت های نوع D<sub>1</sub> به دلیل ریزبلور بودن، بافت بلوری غیر مسطح-a (موزاییک نامنظم)، دولومیتی شدن فرآگیر 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 ۱۱۱۳/۴ ppm) و Na (میانگین ۵۰۸/۷ ppm) در محیط جزر و مدی و به صورت اولیه تشکیل شده اند. دولومیت های نوع D<sub>2</sub>، با توجه به شواهد سنگ نگاری چون افزایش اندازه بلوری (۲۰ تا ۱۵۰ میکرون)، چند مودال بودن، شباهت بافتی با دولومیت های نوع D<sub>1</sub> (بیشتر از نوع غیر مسطح-a یا موزاییک نا منظم هستند)، شباهت و نزدیکی با شواهد زمین شیمیایی دولومیت های نوع D<sub>1</sub> (شباهت در مقدار Sr با (میانگین ۱۱۳۶/۸ ppm) Na با (میانگین ۵۲۰ ppm) در اثر فعالیت نوریختی افزایشی از دولومیت های نوع D<sub>1</sub> و کمی پس از این دولومیت های 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 ۲۳۳/۸ ppm)، به صورت میانزادی و دولومیت های زین اسبی شکل در شرایط دفن عمیق در اثر محلول های گرمابی تشکیل شده اند (شکل ۸).

برای دولومیت های زین اسبی شکل، خاستگاه با توجه به وجود حفره های انحلالی پرشده 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 بدليل 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<sub>1</sub> و D<sub>2</sub> طی مهاجرت سیال های گرمابی گرفته باشند [۴۴].

### تمام میانزادی دگرسانی

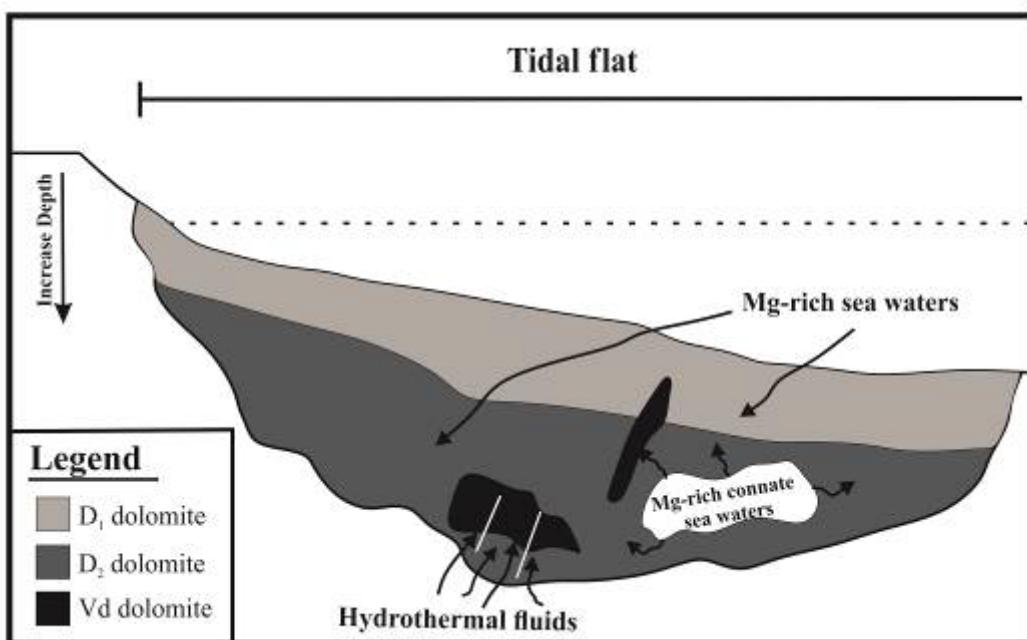
نسبت Mn/Sr شاخص درجه دگرسانی میانزادی در کربنات های قدیمه است. اساس این شاخص میانزادی این است که اغلب سیال های میانزادی غنی از منگنز هستند و مقادیر کمتری استرانسیوم در خود دارند، همچنین عواملی چون رخداد بازبلور، فعالیت نوریختی و یا دولومیتی شدن باعث افزایش مقدار این شاخص می شود [۴۵، ۴۶]. اساس این اندازه 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 سبیزار در برش خرو به طور میانگین دارای درجه دگرسانی میانزادی متوسط D<sub>1</sub>: ۴/۵، D<sub>2</sub>: ۴/۷ و Vd: ۴/۸ (جدول ۱) هستند. البته بعضی از نمونه ها بهویژه نمونه دولومیت زین اسبی شکل با شاخص ۲۴ بشدت دچار دگرسانی میانزادی شده اند. افزایش میزان دگرسانی میانزادی در دولومیت های نوع D<sub>2</sub> 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 سبیزار رسم شد بر اساس نتایج سنگنگاری و تعزیزی های زمین شیمیایی آنها، (شکل ۷). دولومیت های نوع D<sub>1</sub>، دولومیت های اولیه و همزمان با رسوبگذاری تشخیص داده شدند که در یک محیط کم عمق ایجاد شده اند. دولومیت های D<sub>2</sub> نیز بر اساس شواهد

	Shallow	Intermediate	Deep
D <sub>1</sub>	—.....		
D <sub>2</sub>	.....—	.....—	
Vd	.....—	.....—	Cd (Saddle dolomite)

شکل ۷ توالی همزادی دولومیت‌های سازند سیبزار در برش خرو.



شکل ۸ مدل دولومیتی شدن سازند سیبزار در برش خرو.

میانی و سنگ دولومیت تا سنگ‌های دولومیت آهکی بالایی، دارای ۳ نوع دولومیت (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, Vd) است. دولومیت‌های D<sub>1</sub> ریز بلور بوده و از نظر بافتی از نوع غیر مسطح a- (موزاییک نامنظم) هستند. دولومیت‌های D<sub>2</sub> 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 رگه ای Vd دارای بافت بلوری غیر مسطح- a- (موزاییک نامنظم)، مسطح- e- (موزاییک منظم) و مسطح- s- (موزاییک نیمه منظم) و غیر مسطح زین اسی شکل هستند. دولومیت‌های نوع D<sub>2</sub> به دلیل اثر فعالیت نوریختی افزایشی نزدیک ترین نوع دولومیت به حالت استوکیومتری

با توجه به شواهد سنگ نگاری و زمین‌شیمیابی، دولومیت‌های واحد سنگ دولومیت و ماسه سنگ پایینی (Ld) با دولومیت‌های واحد سنگ دولومیت بالایی (Ud)، تنها در کاهش مقدار مواد آواری و ایجاد کلسیت همراه با سنگ دولومیت‌ها با هم اختلاف دارند، هرچند بررسی‌های زمین‌شیمیابی عنصری نشان داد که نوع مدل‌های دولومیتی شدن 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 سیبزار در برش خرو با ۳۳۴ متر ضخامت، شامل سنگ دولومیت و میانلایه‌های ماسه سنگ پایینی، سیل بازالتی

- [3] Warren J.K., "Dolomite: occurrence, evolution and economically important association", *Earth-Science Reviews* 52 (2000) 1-81.
- [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).

هستند. غلظت استرانسیوم در دولومیت های واحد سنگ دولومیت بالایی (Ud) در مقایسه با واحد سنگ دولومیت و ماسه سنگ پایینی (Ld) در نتیجه تاثیر سیال های میانزدگی بر دولومیت های واحد سنگ دولومیت بالایی (Ud) بسیار کمتر است. مقادیر بالای غلظت عنصر سدیم در دولومیت های این سازند نمایانگر ورود سیال های شورابه ای فوق اشباع است. غلظت بالای عناصر آهن و منگنز بیانگر محیط تدفینی و شرایط احیایی است. خاستگاه یون منیزیم برای دولومیت های سازند سیبزار بیشتر آب های دریایی غنی از یون منیزیم است، با این تفاوت که در دولومیت های نوع D<sub>2</sub> و Vd آب های دریایی محبوس و مهاجرت سیال های گرمابی غنی از منیزیم نیز در فرآیند دولومیتی شدن مشارکت دارد. این دولومیت ها دارای درجه دگرسانی متوسط هستند. بر اساس شواهد سنگ نگاری و زمین شیمیایی، دولومیت های نوع D<sub>1</sub> به صورت اولیه و در محیط جزر و مدی تشکیل شده اند. دولومیت های نوع D<sub>2</sub> در اثر فعالیت نوریختی افزایشی دولومیت های نوع D<sub>1</sub> و در مراحل بعدی تدفین، دولومیت های رگه ای Vd به صورت میانزدگی (در شکستگی و رگه ها) و به صورت تدفین عمیق و در اثر مهاجرت سیال ها و دولومیت های زین اسبی شکل از کمی پس از تشکیل دولومیت های نوع D<sub>1</sub> تا مراحل دفن عمیق تشکیل شده اند.

#### قدرتانی

نویسندها این پژوهش بر خود لازم می دانند تا از دانشگاه فردوسی مشهد به منظور تامین هزینه های مالی این طرح به شماره ۳۴۵۱۰۴ تشكر نمایند. همچنین از جناب آقایان مهندس فریدون احمدزاده، مهندس حمید مرادی نژاد راوری و مهندس محمد نیک بین برای کمک در انجام بازدههای صحرایی سپاسگزاری می شود.

#### مراجع

- [1] Schmidt M., Xeflida 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.

- [29] Azmy K., Veizer J., Misi A., Oliveira T.F., Sanches A.L., Dardenne M.A., "Dolomitization and isotope stratigraphy of the Vazante formation, 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 Aydincik 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
- [15] Alavi M., "Thrust tectonic of the Binalood region, NE Iran. Tectonophysics", Tectonics 11(2) (1992) 360-370.
- [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 Palaeozoikum 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., Bossolini A., "Diagrammi per la stima visive: 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.

- dolomites in Upper Cambrian carbonates, western Tarim Basin (northwest China): Implications for fault-related fluid flow", Marin 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 Cosmochimica 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.
- hydrothermal dolostone from the Emirli (Odemis, Western Turkey) Sb- Au deposit", Mineralogical Magazine 67(4) (2003) 671-688.*
- [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