

ارتباط بین اندازه بلورهای دولومیت و ویژگی‌های فیزیکی آنها به منظور مطالعات ژئومکانیکی مخازن دولومیتی

علی لکی روحانی^{۱*}، فرهاد عاصمی^۱ و افشین زهدی^۲

۱- گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه زنجان، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۸

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۲

چکیده

بر پایه مطالعات گسترده‌ای که تاکنون انجام شده است، بی شک، نقش داده‌های سرعت عبور امواج از سنگ‌ها در ارزیابی مخازن هیدروکربنی حیاتی است. در این بین، مطالعه سرعت عبور امواج در سنگ‌های دولومیتی که اغلب در سیستم‌های کربناته یکی از بهترین بخش مخازن هیدروکربنی را تشکیل می‌دهند، از اهمیت زیادی برخوردار است. مسلماً بافت سنگ‌ها، نوع و جنس کانی‌ها، اندازه بلورها، درصد کوارتز موجود در سنگ و بسیاری از خواص ریزساختار بر رفتار فیزیکی و مهندسی آنها اثر می‌گذارد. در راستای مطالعات گذشته و برای درک بهتر این ارتباط، برنامه جامعی از آزمایشات بر روی ۳ دسته سنگ دولومیتی ریز بلور، متوسط بلور و درشت بلور طراحی شد. در این مقاله نتایج مرتبط با اندازه‌گیری دانسیته، سرعت موج برشی و فشاری برای ۳۲ نمونه شامل ۱۲ نمونه دولومیت ریزبلور، ۹ نمونه دولومیت متوسط بلور و ۱۱ نمونه دولومیت درشت بلور آورده شده است. مطابق با نتایج به‌دست آمده با افزایش اندازه بلورها، دانسیته سنگ کاهش می‌یابد. سرعت موج فشاری و برشی برای نمونه‌های ریز بلور حدود ۹٪ و برای نمونه‌های درشت بلور ۱۲٪ کمتر از نمونه‌های متوسط بلور می‌باشد. نتایج نشان داد که برای نمونه‌های ریزبلور، متوسط بلور و درشت بلور نسبت V_p/V_s به ترتیب برابر ۱/۷۸، ۱/۸۱ و ۱/۷۷ است. همچنین مشاهده شد که مدول یانگ دینامیکی برای نمونه‌های متوسط بلور حدود ۱۵٪ از نمونه‌های ریز بلور و حدود ۲۷٪ از نمونه‌های درشت بلور بیشتر می‌باشد. علاوه بر این دیده شد که با افزایش در اندازه بلور تغییر قابل توجهی در نسبت پواسون سنگ‌های دولومیتی رخ نمی‌دهد.

کلمات کلیدی: دولومیت، اندازه بلور، سرعت موج برشی و فشاری، ثابت‌های الاستیک دینامیکی، سازندهای سلطانیه و الیکا.

*مسئول مکاتبات

rou001@znu.ac.ir

آدرس الکترونیکی

شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2017.2688.2238)

مقدمه

آزمایش برروی ۵ نمونه از سه نوع سنگ گرانیتی با ترکیب کانی‌شناسی یکسان ولی با اندازه دانه‌های متفاوت مشاهده کردند که با وجود کاهش دانسیته با افزایش اندازه دانه، سرعت عبور امواج برای نمونه‌های متوسط‌دانه بیشتر از نمونه‌های ریزدانه و درشت دانه به‌دست آمده است [۵]. با آزمایش برروی سنگ‌های کربناته به نتیجه‌ای مشابه با نتیجه Eberhardt et al., 1999 رسیدند [۹].

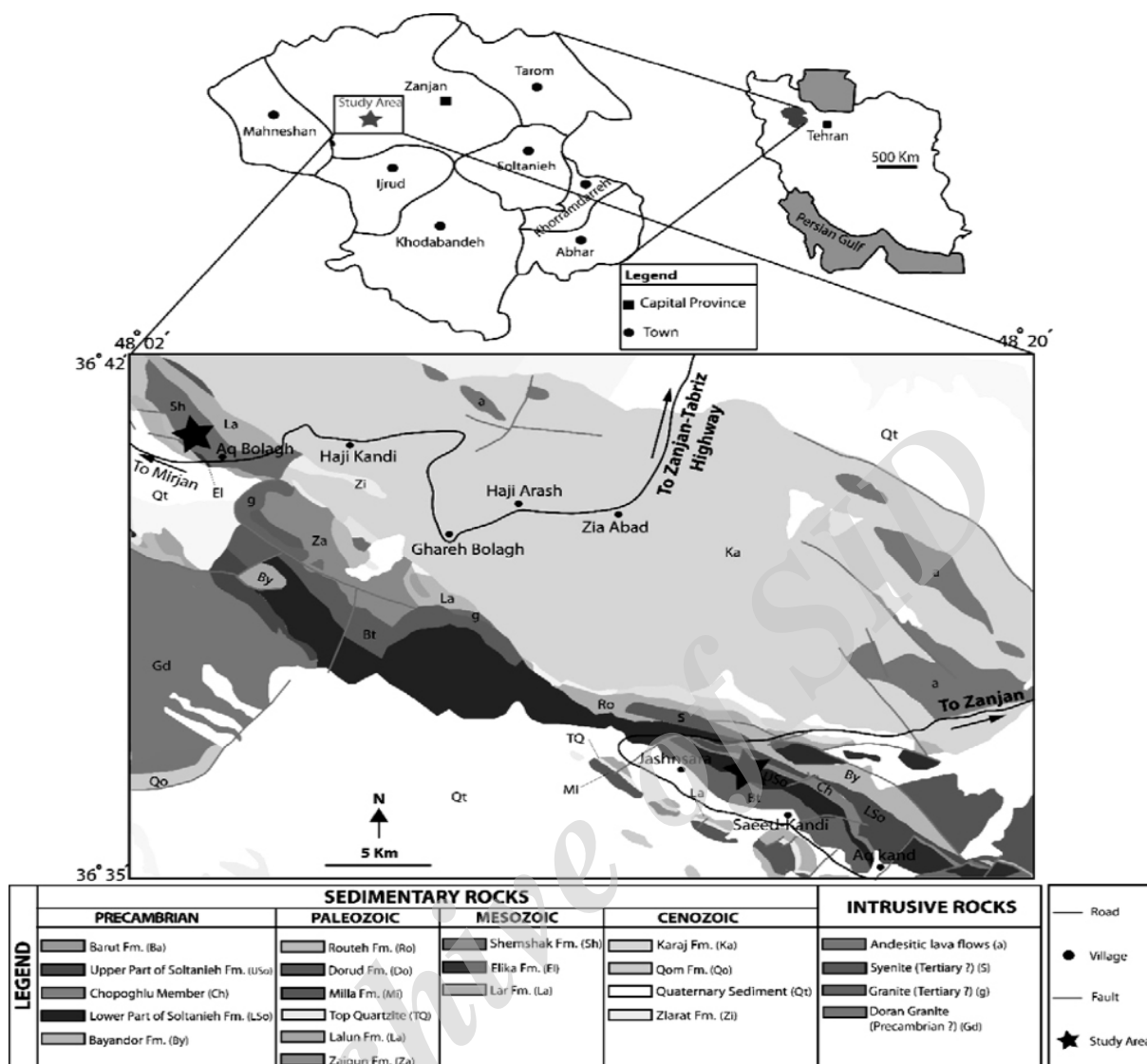
در این پژوهش با هدف بررسی اثر اندازه بلور سنگ‌های دولومیتی بر ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها اقدام به تهیه سه گروه سنگی شامل سنگ دولومیتی ریزبلور، متوسط بلور و درشت بلور از سازندهای سلطانیه و الیکا در استان زنجان شد. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این راستا و برای درک بهتر این ارتباط، برنامه جامعی از آزمایشات برنامه‌ریزی گردید.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

چینه‌شناسی سازند سلطانیه

این سازند به سن پرکامبرین پسین - کامبرین پیشین در حوضه رسوبی البرز (به‌ویژه در بخش‌های غربی و مرکزی آن) در حدود ۵۰۰ km گسترش یافته است. حمدی سازند سلطانیه را به پنج افق سنگ‌شناسی شامل دولومیت زیرین، شیل زیرین (شیل چپقلو)، دولومیت میانی، شیل بالایی و بالاخره دولومیت بالایی تقسیم‌بندی نموده است [۱۱]. این سازند در برش مورد مطالعه واقع در ۳۵ جنوب‌غرب شهر زنجان، در نزدیکی روستای جشن‌سرا و به مختصات جغرافیایی $48^{\circ} 13' 45''$ شرقی و $36^{\circ} 36' 24''$ شمالی، ۹۸۵ m ضخامت دارد که از نظر لیتولوژی عمدتاً از لایه‌های متوسط تا ضخیم دولومیت به رنگ خاکستری روشن تا تیره به‌همراه لایه‌های نازک شیل سبز رنگ تشکیل شده است.

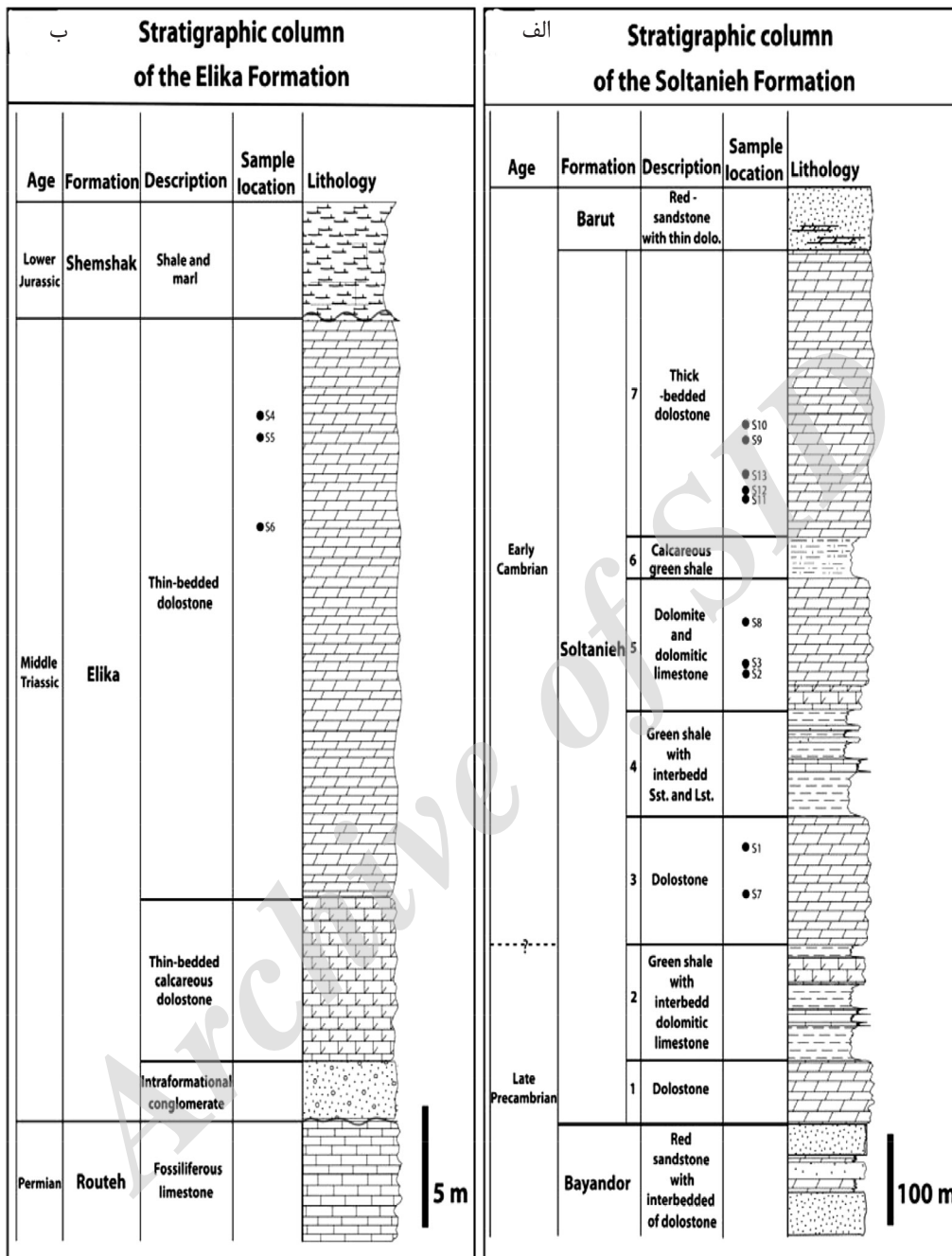
مخازن دولومیتی حدود نیمی از مخازن کربناته دنیا را در بر می‌گیرند. رخساره‌های دولومیتی در سیستم‌های کربناته غالباً بهترین بخش مخازن هیدروکربنی را تشکیل می‌دهند [۱]. در ایران نیز بخش‌هایی از سنگ مخزن‌های متعلق به سازندهای آسماری، جهرم و مزدوران را لایه‌های دولومیتی تشکیل می‌دهند. همچنین بخش عمده سنگ مخزن میدان‌های نار، کنگان، آغار و پارس را سنگ‌های دولومیتی سازندهای کنگان و دالان تشکیل می‌دهند. در سال‌های اخیر شناسایی خصوصیات فیزیکی و مهندسی سنگ‌ها و بررسی ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های پتروگرافی مورد توجه محققین حوزه مکانیک سنگ قرار گرفته است. مطالعات مختلف نشان می‌دهند که میزان پایداری درازمدت توده سنگ را می‌توان از طریق شناسایی سرعت موج فشاری توده سنگ با دقت مناسبی تخمین زد [۲]. همچنین تعیین سرعت موج برشی در به‌دست آوردن دید روشن‌تر از مخزن و در نتیجه اتخاذ تصمیم‌های درست در فازهای مختلف اکتشاف و تولید نقش کلیدی دارد. پژوهش‌های قبلی حاکی از آن است که سرعت امواج از پارامترهای مختلف سنگ تأثیر می‌پذیرد [۴ و ۳]. ارتباط بین اندازه بلور سنگ‌ها و خواص فیزیکی آن‌ها از قبیل دانسیته و سرعت عبور امواج و... مدنظر بسیاری از محققین در سال‌های گذشته بوده است. اما به‌دلیل وجود و مؤثر بودن پارامترهای دیگر در این رابطه، نتایج به‌دست آمده توسط محققین مختلف یکسان نیست و رابطه جامعی که بتوان آن را برای همه انواع سنگ‌ها نسبت داد، همچنان وجود ندارد. به‌عنوان مثال ارتباط بین اندازه بلور و دانسیته، درصد کانی کوارتز و مقاومت فشاری و اندازه بلور و مقاومت فشاری و... همچنان نامشخص است [۹-۵]. تاکنون هیچ مجموعه آزمایشی انجام نشده که بتواند همه پارامترهای مؤثر در رفتار نمونه‌ها را اندازه‌گیری و بررسی کند. در این راستا، با



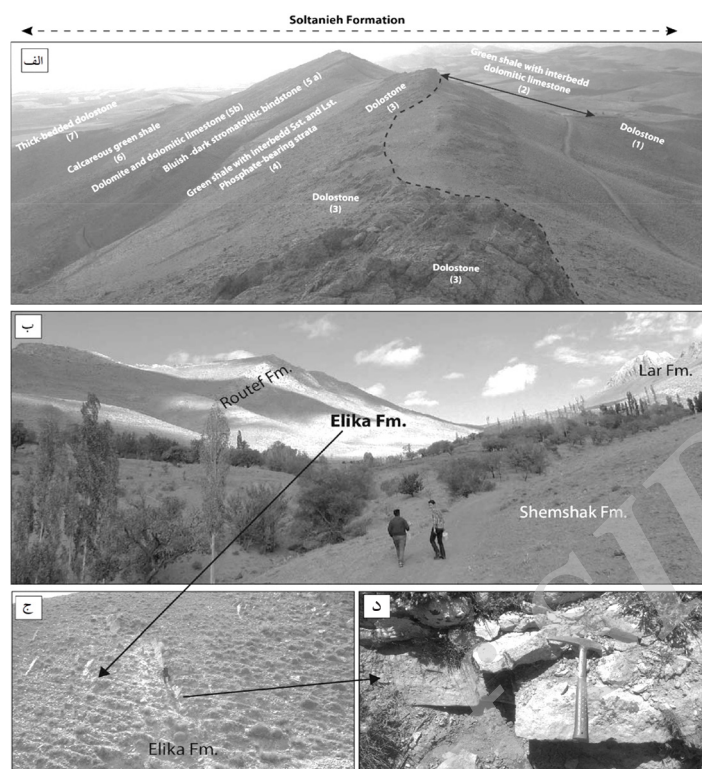
شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (اقتباس با تغییراتی از حاجیان و زاهدی، ۱۳۸۳) [۱۰]

علاوه بر لایه‌های دولومیت و شیل در این سازند، به صورت بین لایه‌ای می‌توان توالی‌هایی از سنگ آهک دولومیتی و حتی سنگ آهک، ماسه سنگ دانه متوسط و شیل آهکی نیز شناسایی نمود. بر این اساس، مطالعات انجام شده توسط زهدی و همکاران نشان داد که سازند سلطانیه در برش مورد مطالعه از ۷ بخش مختلف تشکیل شده است شکل ۲ و ۳. این بخش‌ها از پایین به بالا عبارتند از: (۱): بخش دولومیتی با ضخامتی در حدود ۷۰ m، که به صورت ناگهانی بر روی شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ سازند بایندور قرار گرفته است. (۲): شیل‌های نازک لایه سبز رنگ همراه با میان لایه‌های

دولومیت آهکی با ضخامتی در حدود ۱۳۰ m. (۳): بخش دولومیتی با ضخامتی در حدود ۱۵۰ m که از دولومیت‌های متراکم خاکستری رنگ تشکیل شده است. (۴): شیل‌های نازک لایه سبز رنگ با ضخامتی در حدود ۱۲۰ m که به صورت بین لایه‌ای دارای ماسه‌سنگ و سنگ آهک است. (۵): دولومیت‌های توده‌ای تا سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه با ضخامتی در حدود ۱۴۵ m، (۶): شیل آهکی سبز رنگ با لایه‌بندی نازک (۵۰ m)، و در نهایت بخش (۷): که از دولومیت‌های ضخیم لایه با ضخامتی در حدود ۳۲۰ m تشکیل شده است [۱۲].



شکل ۲ الف) ستون چینه‌شناسی سازند سلطانیه در برش جشن سرا واقع در جنوب غرب زنجان [۱۲] و ب) ستون چینه‌شناسی سازند الیکا در برش آقبلاغ واقع در غرب زنجان [۱۳]



شکل ۳ (الف) نمای کلی از سازند سلطانیه در برش جشن سرا واقع در ۳۵ km جنوب غرب زنجان که از نظر سنگ‌شناسی به ۷ واحد تقسیم شده است، (ب) نمای کلی از سازندهای روته، الیکا، شمشک و لار در برش آق بلاغ واقع در غرب زنجان، (ج) مرز زیرین سازند الیکا و (د) نمای نزدیک‌تر از بخش دولومیتی سازند الیکا در برش آق بلاغ

چینه‌شناسی سازند الیکا

سازند الیکا به سن تریاس میانی، در غرب استان زنجان و به مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 41'$ شمالی و $48^{\circ} 03'$ شرقی از حدود ۳۵ m سنگ کربناته تشکیل شده است. این سازند در منطقه مورد مطالعه (روستای آقبلاغ) به دو بخش اصلی قابل تقسیم است: (۱) بخش زیرین با ضخامتی در حدود ۲ m که عمدتاً از کنگلومرای آهکی که از قطعات درون حوضه‌ای تشکیل شده است و (۲) بخش بالایی که از لایه‌های دولومیتی نازک لایه به رنگ زرد متمایل به خاکستری و به ضخامت ۳۳ m تشکیل شده است. شکل ۲ و ۳ واحدهای سنگی سازند الیکا را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد [۱۳].

روش پژوهش

در این پژوهش، نمونه‌های بلوکی از سنگ‌های

دولومیتی با ابعاد تقریبی $40 \times 40 \times 40$ cm از سازندهای سلطانیه و الیکا در استان زنجان برداشت شد. در هنگام مطالعات صحرایی و پتروگرافی برای دسته‌بندی نمونه‌ها، تمامی پارامترهای رسوب‌شناسی نظیر تخلخل بین بلوری، درزه‌ها و حفرات خالی و پر موجود، درصد اکسید آهن و... برای همه نمونه‌ها به صورت ماکروسکوپی و میکروسکوپی برای هر سه گروه سنگی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت نمونه‌هایی برای آزمایش انتخاب شوند که دارای شرایط یکسانی باشند و تنها پارامتر متغیر اندازه بلور در آن‌ها باشد. در این راستا، به عنوان مثال نمونه‌های تهیه شده از سازند سلطانیه در برش الگو (برش چپقلو) پس از ارزیابی‌های صحرایی و رسوب‌شناسی به دلیل فعالیت‌های تکتونیکی بالا در منطقه و وجود حفرات و درزه‌های اولیه بالا برای مطالعه نامناسب تشخیص داده شد.

با نتایج آنالیزهای پتروگرافی و کانی‌شناسی (XRD)، کانی دولومیت با فراوانی بالای ۹۵٪ به‌عنوان کانی اصلی و غالب و کانی‌های کلسیت و کوارتز با فراوانی تقریبی ۵٪ به‌عنوان کانی‌های فرعی و جزئی در نمونه‌ها وجود دارند. در شکل ۴ و جدول ۱ نتایج آنالیز XRD آورده شده است. این نوع دولومیت از بلورهای خیلی ریز تا ریز بی‌شکل با مرزهای بین بلوری غیر مسطح^۲ تشکیل شده است (شکل ۵).

دولومیت‌های نوع ۲: دولومیت متوسط بلور

دولومیت‌های نوع دوم عمدتاً از بلورهای متراکم و نیمه شکل‌دار با مرزهای بین‌بلوری صفحه‌ای-s تشکیل شده است شکل ۵. اندازه بلورها در دولومیت‌های متوسط بلور سازند سلطانیه، بین ۲۰ تا ۱۰۰ μ (میانگین 54μ) متغیر است. این نوع بافت معادل هایپیدئوتاپیک^۳ و صفحه‌ای-s [۱۶ و ۱۵] است. این گروه از دولومیت‌ها غالباً از تبلور مجدد دولومیکرایت‌ها و دولومیت‌های ریزبلور سازند سلطانیه به وجود آمده‌اند. در دولومیت‌های متوسط بلور، کانی دولومیت با فراوانی بالای ۹۵٪ و کانی‌های کلسیت و کوارتز با فراوانی کمتر از ۵٪ به‌عنوان کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های آزمایش شده می‌باشند (شکل ۴ و جدول ۱).

دولومیت‌های نوع ۳

دولومیت درشت بلور: دولومیت‌های نوع سوم دارای بلورهای بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ μ (میانگین 110μ) می‌باشند. در سازند سلطانیه، این نوع دولومیت از موزایک‌های درشت‌بلور متراکم، نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل و دارای توزیع اندازه غیریکنواخت تشکیل شده است. این دولومیت‌ها اغلب از تبلور مجدد دولومیت‌های متوسط بلور تشکیل شده‌اند و همراه آن‌ها دولومیت‌های نسل اول و دوم نیز مشاهده می‌شوند. بافت این نوع دولومیت، معادل با بافت هایپیدئوتاپیک تا زئوتاپیک و صفحه‌ای-s تا غیر صفحه‌ای است (شکل ۵).

برای مطالعه بافت و ویژگی‌های پتروگرافی نمونه‌های برداشت شده، از بلوک‌های سنگی، مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شد و با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه برای تعیین ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های مورد مطالعه، علاوه بر مطالعات پتروگرافی انجام شده، تعداد ۵ نمونه انتخاب شده و با استفاده از دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) مورد آنالیز قرار گرفت. مقاطع نازک نمونه‌ها و نتایج آنالیز XRD مطالعه شده و در نهایت دولومیت‌ها به سه گروه سنگی ریزبلور، متوسط بلور و درشت بلور تقسیم‌بندی شد. سپس از بلوک‌های سنگی، مغزه‌های استوانه‌ای تهیه شده و بر روی نمونه‌ها تست‌های سرعت موج برشی و فشاری انجام شد.

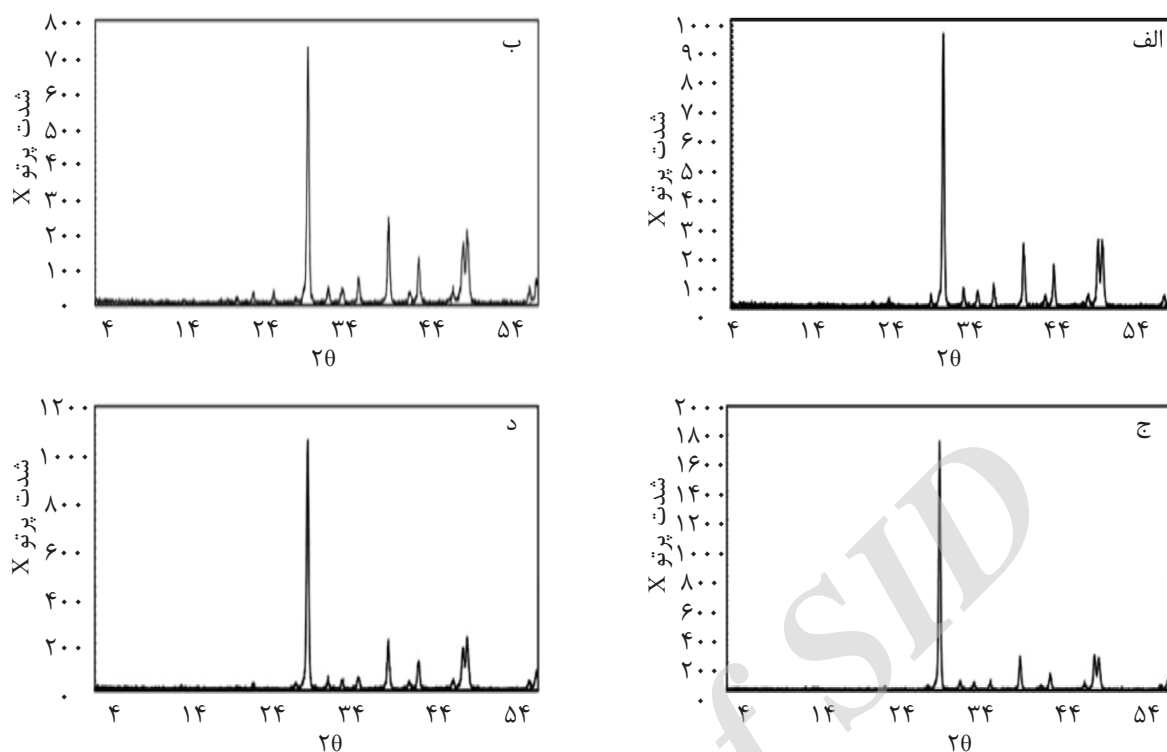
نتایج مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناسی دولومیت‌های مورد مطالعه

در این مطالعه، برای طبقه‌بندی دولومیت‌های مورد مطالعه از تلفیقی از روش‌های طبقه‌بندی گرگ و سیبلی، سیبلی و گرگ و مازولو استفاده شده است [۱۶ و ۱۵، ۱۴]. لازم به ذکر است که تمامی مقاطع نازک به منظور تشخیص کانی کلسیت از دولومیت توسط محلول آلزارین قرمز (Red-S) به روش دیکسون رنگ آمیزی گردید [۱۷]. دولومیت‌های مورد مطالعه براساس فابریک، اندازه بلور و توزیع بلورها در ماتریکس و شکل مرز آنها به سه گروه زیر تقسیم شده‌اند [۱۳ و ۱۲]:

دولومیت‌های نوع ۱

دولومیت‌های ریز بلور: دولومیت نوع اول از سازندهای سلطانیه و الیکا برداشت شد. اندازه بلورهای دولومیت در این گروه کوچک‌تر از 20μ (میانگین 12μ) می‌باشد و توزیع اندازه بلور در آن‌ها یکنواخت است. این گروه از دولومیت‌ها، معمولاً متراکم بوده و به رنگ خاکستری تیره مشاهده می‌شود. این نوع بافت معادل بافت غیر صفحه‌ای و زئوتاپیک^۱ می‌باشد. در این گروه سنگی مطابق

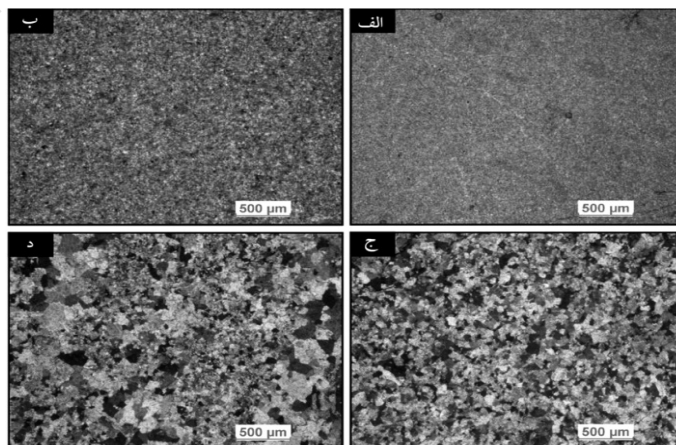
1. Xenotopic
2. Non-planer
3. Hypidiotopic



شکل ۴ نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) در دولومیت‌های مورد مطالعه. (الف) دولومیت نوع اول (ریز بلور) برداشته شده از سازند سلطانیه، (ب) دولومیت نوع اول برداشته شده از سازند الیکا، (ج) دولومیت نوع دوم (متوسط بلور) برداشته شده از سازند سلطانیه و (د) دولومیت نوع سوم (درشت بلور) برداشته شده از سازند سلطانیه. همانگونه که مشاهده می‌شود این تصاویر بیانگر کانی غالب و اصلی دولومیت در سه نوع دولومیت مورد مطالعه است

جدول ۱ ترکیب کانی‌شناسی دولومیت‌های مورد مطالعه با استفاده از نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)

نوع دولومیت	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی	کانی‌های جزئی
دولومیت نوع ۱- ریز بلور (سازند سلطانیه)	دولومیت (بالای ۰.۹۵٪)	کلسیت (کمتر از ۰.۵٪)	-
دولومیت نوع ۱- ریز بلور (سازند الیکا)	دولومیت (بالای ۰.۹۵٪)	کوارتز کلسیت (کمتر از ۰.۵٪)	-
دولومیت نوع ۲- متوسط بلور (سازند سلطانیه)	دولومیت (حدود ۰.۹۵٪)	کلسیت (حدود ۰.۳٪)	کوارتز (حدود ۰.۲٪)
دولومیت نوع ۳- درشت بلور (سازند سلطانیه)	دولومیت (بالای ۰.۹۷٪)	کلسیت (حدود ۰.۳٪)	-



شکل ۵ انواع مختلف دولومیت‌های مطالعه شده. (الف) دولومیت ریز بلور برداشت شده از سازند الیکا و (ب) دولومیت ریز بلور، (ج) دولومیت متوسط بلور و (د) دولومیت درشت بلور برداشت شده از سازند سلطانیه.

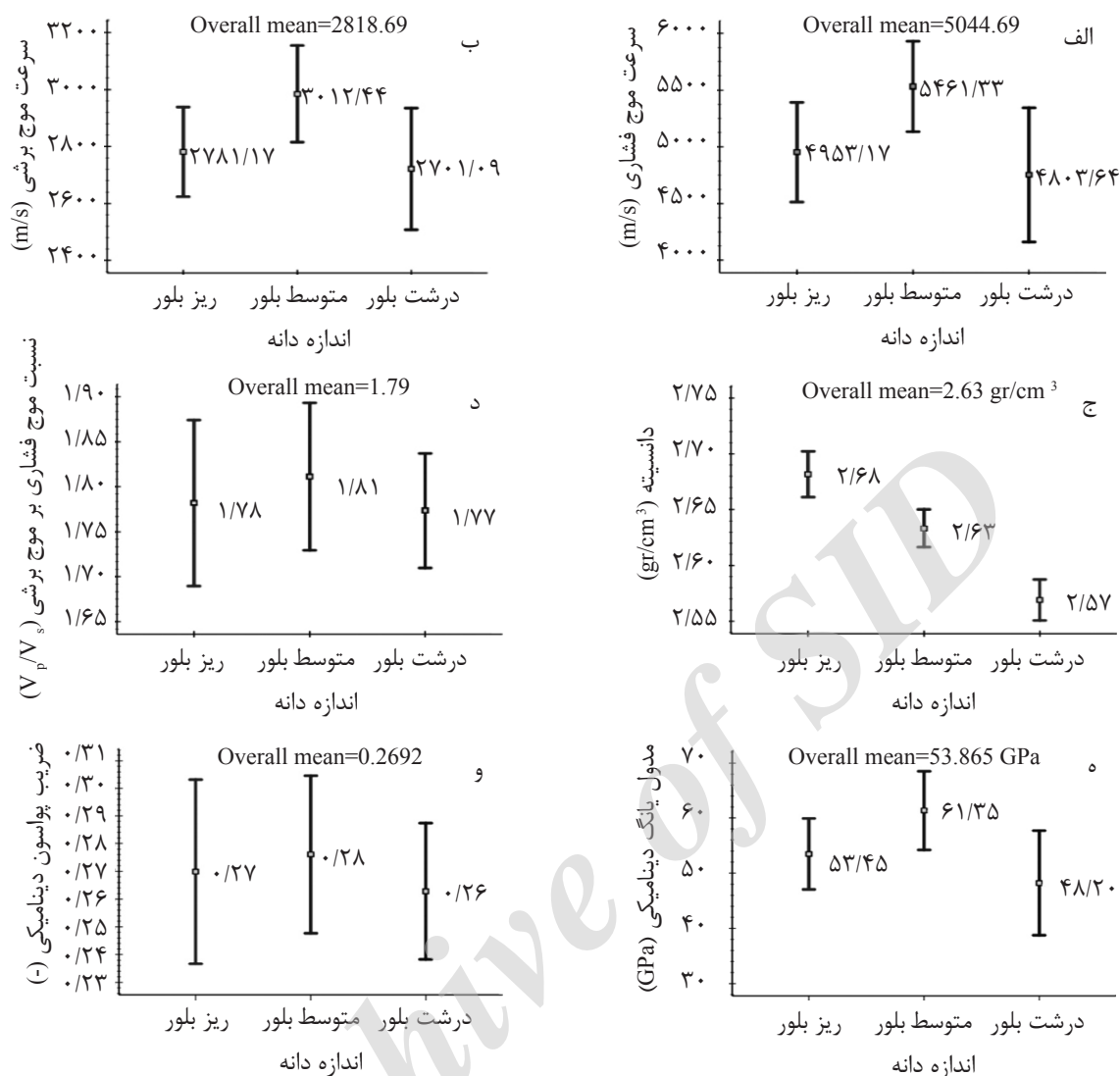
به اینکه، نمونه‌های ریزبلور از دو سازند سلطانیه و الیکا برداشت شده بودند، نتایج به‌دست آمده برای نمونه‌های تهیه شده از این دو سازند، از نظر آماری با هم مقایسه شدند و اختلاف ناچیزی (در حد ۱ الی ۲٪) بین آنها مشاهده شد. در این باره لازم به ذکر هست که با توجه به ماهیت رسوبی سنگ‌های دولومیتی و بررسی دقیق مشخصات بافتی و ریزساختاری سنگ‌های مطالعه شده و همچنین بررسی آماری داده‌های به‌دست آمده برای نمونه‌های تهیه شده از سازند سلطانیه و الیکا، ادغام نتایج به‌دست آمده برای نمونه‌های دو سازند تأثیری در نتایج به‌دست آمده ایجاد نمی‌کند. این مورد در مطالعات مختلف نیز مشاهده و تأیید شده است [۲۰ و ۱۹]. علاوه بر این، مطالعات مختلفی نیز بر روی دولومیت‌های مناطق مختلف و بر روی اثر اندازه بلور با صرف نظر از موقعیت نمونه‌برداری نمونه‌ها انجام شده است [۲۲ و ۲۱].

در طی سال‌های گذشته پژوهش‌های زیادی در رابطه با اندازه‌گیری سرعت موج برشی از موج فشاری انجام شده است. در سال ۱۹۸۵، کاستاکنا و همکارانش تعدادی روابط تجربی با استفاده از رگرسیون چند درجه براساس داده‌های مغزه و نگاره‌های چاه براساس لیتولوژی‌های مختلف برای تخمین سرعت موج برشی ارائه نمودند [۲۳]. همچنین پیکت براساس مطالعات آزمایشگاهی انجام داده بر روی مخازن کربناته به این نتیجه رسید که سرعت امواج برشی در سنگ‌های مختلف ضریب ثابتی از سرعت امواج فشاری در آنها است. وی نسبت سرعت موج فشاری به برشی را برای سنگ‌های دولومیتی و آهکی به ترتیب ۱/۸ و ۱/۹ ارائه کرد [۲۴]. در این پژوهش به ترتیب برای دولومیت‌های ریز بلور، متوسط بلور و ریز بلور نسبت V_p/V_s برابر با ۱/۷۸، ۱/۸۱ و ۱/۷۷ تعیین شد شکل ۶-د.

در این تیپ، کانی دولومیت با فراوانی بالای ۹۷٪ به‌عنوان کانی اصلی و غالب بوده و کانی کلسیت با فراوانی حدود ۳٪ به‌عنوان کانی فرعی می‌باشد (شکل ۴ و جدول ۱).

نتایج آزمایش سرعت موج فشاری و برشی و تفسیر نتایج آنها

با وجود اینکه سه گروه سنگی از نظر ترکیب سنگ‌شناسی مشابه هستند، اما مشاهده شد که سرعت موج فشاری و برشی برای نمونه‌های متوسط بلور حدود ۹٪ از نمونه‌های ریزبلور و حدود ۱۲٪ از نمونه‌های درشت‌بلور بیشتر می‌باشد (شکل ۶-الف و ب). اصولاً با افزایش اندازه بلورهای سنگ که منجر به کاهش مرزهای بلورها در یک حجم مشخص می‌گردد، سرعت صوت کاهش می‌یابد. همچنین مطابق با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه مشخص شد که با افزایش اندازه بلورها دانسیته کاهش می‌یابد شکل ۶-ج. نقش ماتریکس که بلورها در آن پخش هستند و چگونگی توزیع بلورها در آن عواملی هستند که در عدم یکنواخت بودن نتیجه سرعت امواج در این سه دسته اندازه بلورها، مؤثر است. بدین ترتیب که گفته شد از بین این سه دسته دولومیت، فقط دولومیت‌های متوسط بلور دارای بافت صفحه‌ای-S هستند. بافت صفحه‌ای-S یا بافت هایپیدیتوپیک در تسریع انتقال امواج نقش بسیار مهمی دارد. می‌توان سرعت بالای انتقال امواج را در متوسط بلورها نسبت به ریزبلور و درشت بلور به بافت صفحه‌ای-S آن مرتبط دانست. همچنین در درشت بلورها که دارای کمترین دانسیته هستند، کمترین سرعت امواج به‌دست آمد که قابل پیش‌بینی بود. پیش از این، تحقیقاتی بر روی اثر اندازه بلور و بافت بر روی خواص مکانیکی دولومیت‌ها انجام داده بودند و به این نتیجه رسیده بودند که در مطالعات رفتار سنگ‌های دولومیتی اثر بافت باید مورد توجه قرار بگیرد [۱۸]. با توجه



شکل ۶ اثر اندازه بلور بر ویژگی‌های فیزیکی و مهندسی سنگ‌های دولومیتی مورد مطالعه. اثر اندازه بلور بر (الف) سرعت موج فشاری، (ب) سرعت موج برشی، (ج) دانسیته، (د) نسبت موج فشاری بر موج برشی، (ه) مدول یانگ دینامیکی و (و) ضریب پواسون دینامیکی

که در آن E و ν به ترتیب مدول یانگ و نسبت پواسون دینامیکی سنگ بوده و دانسیته سنگ می‌باشد. نتایج حاصل برای مدول یانگ دینامیکی رفتاری مشابه با آنچه که در سرعت موج برشی و فشاری دیده شد. در واقع مشاهده شد که مدول یانگ برای سنگ‌های دولومیتی متوسط بلور به ترتیب حدود ۱۵ و ۲۷٪ از سنگ‌های دولومیتی ریزبلور و درشت بلور بیشتر است شکل ۶-ه. همچنین مطابق شکل ۶-و دیده شد که با افزایش اندازه بلور در سنگ‌های دولومیتی مورد مطالعه تغییر قابل توجهی در نسبت پواسون دینامیکی مشاهده نمی‌شود.

همچنین با توجه به نتایج آزمایش سرعت عبور امواج، ثابت‌های الاستیک دینامیکی سنگ از روابط زیر محاسبه گردید [۲۵]:

$$V_p^2 = \left[\frac{E}{\rho} \times \frac{(1-\nu)}{(1+\nu) + (1-2\nu)} \right] \quad (1)$$

$$V_s^2 = \left[\frac{E}{\rho} \times \frac{1}{2(1+\nu)} \right] \quad (2)$$

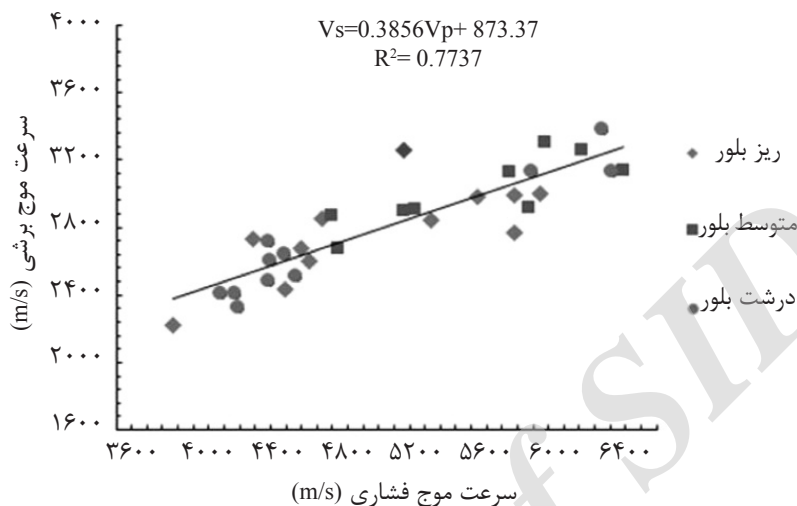
از تقسیم دو رابطه بالا بر یکدیگر رابطه زیر حاصل می‌شود که سرعت برشی و فشاری را از طریق ضریب پواسون دینامیکی سنگ به یکدیگر ارتباط می‌دهد:

$$\frac{V_s}{V_p} = \left[\frac{(1-2\nu)}{2(1+\nu)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

و برشی برای سنگ‌های دولومیتی مورد مطالعه مطابق رابطه ۴ محاسبه شد:

$$V_s = 0.3856V_p + 873.37 \quad (m/s) \quad (4)$$

در شکل ۷ مقادیر سرعت موج برشی در برابر سرعت موج فشاری اندازه‌گیری شده از آزمایشات برای نمونه‌های مختلف ترسیم شده است. در مطالعه حاضر، رابطه همبستگی بین سرعت موج فشاری



شکل ۷ ارتباط بین سرعت موج فشاری و برشی در سنگ‌های دولومیتی مورد مطالعه

متوسط بلور حدود ۹٪ از نمونه‌های ریز بلور و حدود ۱۲٪ از نمونه‌های درشت بلور بیشتر می‌باشد. ۴- نتایج نشان داد که برای نمونه‌های ریز بلور، متوسط بلور و درشت بلور نسبت به ترتیب برابر ۱/۷۸، ۱/۸۱ و ۱/۷۷ هستند.

۵- مدول یانگ دینامیکی برای نمونه‌های متوسط بلور حدود ۱۵٪ از نمونه‌های ریز بلور و حدود ۲۷٪ از نمونه‌های درشت بلور بیشتر است.

۶- با افزایش در اندازه بلور تغییر قابل توجهی در نسبت پواسون سنگ‌های دولومیتی مشاهده نشد.

۷- رابطه تجربی خطی بین سرعت موج فشاری و برشی برای سنگ‌های مورد مطالعه، مطابق زیر با ضریب همبستگی ۰/۷۷۳۷ ارائه شد.

نتیجه‌گیری

هدف از این مقاله بررسی ارتباط بین اندازه بلور و خواص فیزیکی سنگ‌های دولومیتی می‌باشد. مطابق با نتایج به‌دست آمده از آزمایشات انجام شده:

۱- دولومیت‌های مورد مطالعه، بر اساس بافت، اندازه بلورها و توزیع آن‌ها و شکل مرز بین بلورها به سه گروه شامل دولومیت‌های ریز بلور، دولومیت‌های متوسط بلور و دولومیت‌های درشت بلور تقسیم شده‌اند.

۲- افزایش اندازه بلور، منجر به کاهش دانسیته در سنگ‌های دولومیتی مورد مطالعه گردید.

۳- سرعت موج فشاری و برشی برای نمونه‌های

مراجع

- [1]. Allan, J. R., & Wiggins, W. D., "Dolomite reservoirs: Geochemical techniques for evaluating origin and distribution," No. 36. Amer. Assn. of Petroleum Geologists, 1993.
- [2]. Singh T. N., Singh V. K., Monjezi M., and Kumar D., "Static and dynamic properties of rocks at sub-zero temperature," Ind. Min. Engg. J, pp. 27-31, 1999.
- [3]. Schön Jürgen H., "Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics," Pergamum Oxford UK., 1996.
- [4]. Nikrouz R., Moomivand H. and Azad R., "Effect of foliation orientation on the P-and S-wave velocity anisotropies and dynamic elastic constants of the quartz-micaschists metamorphic rocks, Angouran mine, Iran," Arab. J. Geosci., Vol. 9, No.16, p. 669, 2016.
- [5]. Eberhardt E., Stimpson B. and Stead D., "Effects of grain size on the initiation and propagation thresholds of stress-induced brittle fractures," Rock Mech. Rock Eng. Vol. 32, No. 2, pp. 81-99, 1999.
- [6]. Meng Z. and Pan J., "Correlation between petrographic characteristics and failure duration in clastic rocks," Eng. Geol. Vol. 89, No. 3, pp. 258-265, 2007.
- [7]. Sousa L. M., "The influence of the characteristics of quartz and mineral deterioration on the strength of granitic dimensional stones," Environ. Earth. Sci. Vol. 69, No. 4, pp. 1333-1346, 2013.
- [8]. Nicksiar M. and Martin C. D., "Crack initiation stress in low porosity crystalline and sedimentary rocks," Eng. Geol. Vol. 154, pp. 64-76, 2013.
- [9]. Ajalloeian R., Mansouri H. and Baradaran E., "Some carbonate rock texture effects on mechanical behavior, based on Koohrang tunnel data, Iran," B. Eng. Geol. Environ. Vol. 76, No. 1, pp. 295-307, 2017.
- [۱۰]. حاجیان ج. و زاهدی م، ۱۳۸۳. گزارش نقشه زمین‌شناسی زنجان، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [11]. Hamdi B., "Stratigraphy and Paleontology of the Late Precambrian to Early Cambrian in the Alborz Mountains Northern Iran," Geological Survey of Iran, 41 p., 1989.
- [۱۲]. زهدی ا، عاصمی ف. و لکی‌روحانی ع، "مدل دولومیتی‌شدن سازند سلطانیه در جنوب‌باختر زنجان،" فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، ۲۶(۱۰۴)، ۲۸-۱۷، ۱۳۹۶.
- [۱۳]. زهدی، ا، مدل دولومیتی‌شدن سازند الیکا در منطقه زنجان، نوزدهمین همایش سالانه انجمن زمین‌شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، ۱۳۹۴.
- [14]. Gregg J. M. and Sibley D. F., "Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture," J. Sediment. Res. Vol. 54, No. 3, pp. 908-931, 1984.
- [15]. Sibley D. F., and Gregg J. M., "Classification of dolomite rock textures," J. Sediment. Res. Vol. 57, No. 6, pp. 967-975, 1987.
- [16]. Mazzullo S. J., "Geochemical and neomorphic alteration of dolomite: a review," Carbonate. Evaporite. Vol. 7, No. 1, pp. 21-37, 1992.
- [17]. Dickson J. A. D., "A modified staining technique for carbonate in thin section," Nature, Vol. 205, No. 4971, pp. 205-587, 1965.

- [18]. Hatzor Y. H. and Palchik V., "The influence of grain size and porosity on crack initiation stress and critical flaw length in dolomites," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 34, No. 5, pp. 805–816, 1997.
- [19] Hidalgo K. P., and Nordlund E., "Comparison between stress and strain quantities of the failure–deformation process of Fennoscandian hard rocks using geological information," *Rock Mech. Rock Eng.* Vol. 46, No. 1, pp. 41-51, 2013.
- [20] Xue L., Qin S., Sun Q., Wang Y., Lee L. M. and Li W., "A study on crack damage stress thresholds of different rock types based on uniaxial compression tests," *Rock Mech. Rock Eng.* Vol. 47, No. 4, pp. 1183-1195, 2014.
- [21] Palchik V., and Hatzor Y. H., "Crack damage stress as a composite function of porosity and elastic matrix stiffness in dolomites and limestones," *Eng. Geol.* Vol. 63, No. 3, pp. 233-245, 2002.
- [22] Palchik V., "On the ratios between elastic modulus and uniaxial compressive strength of heterogeneous carbonate rocks," *Rock Mech. Rock Eng.* Vol. 44, No. 1, pp. 121-128, 2011.
- [23] Castagna J.P., Batzle M. L. and Eastwood R. L., "Relationship between compressional and shear wave velocities in silicate rocks," *Geophysics*, Vol. 50, pp.571–581. preliminary verification and applications, *Geophys. Prospect.* Vol. 40, pp. 195–209, 1985.
- [24] Pickett G. R., "Acoustic Character Logs and their Application in Formation Evaluation," *J. Petrol. Technol.* Vol. 15, pp. 650-667, 1963.
- [25] Hudson J. A., Harrison J. F., "Engineering Rock Mechanics," London, UK: Elsevier Science Ltd, p. 457, 2000.

Archive of SID