

پetroگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در برش زال، آذربایجان شرقی: کاربرد در بررسی خاستگاه، جایگاه تکتونیکی و هوازدگی قدیمه

مریم برزگر^۱، مهدی جعفرزاده^{۲*}، عادل نجف‌زاده^۳، فاضل خالقی^۴ و رحیم مهاری^۵

۱- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

۲- استادیار دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۳ و ۴- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

۵- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

نویسنده مسئول: m_jafarzadeh@shahroodut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در این مطالعه، ترکیبی از روش‌های پتروگرافی و ژئوشیمی عناصر اصلی نهشته‌های سیلیسی‌آواری سازند دورود به سن پرمین زیرین در برش زال در جنوب جلفا جهت بررسی خاستگاه، جایگاه تکتونیکی و هوازدگی قدیمه مورد استفاده قرار گرفته است. ضخامت سازند دورود در برش مورد مطالعه ۱۱۲ متر متشکل از میکروکنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل قرمز می‌باشد. ۱۳ نمونه ماسه‌سنگی دانه متوسط توسط روش نقطه‌شماری و ۶ نمونه نیز جهت تعیین مقدار عناصر اصلی آن‌ها به روش فلورسانس اشعه‌ایکس (XRF) بررسی شدند. از لحاظ ترکیب سنگ‌شناسی، نمونه‌های مورد مطالعه اکثراً در محدوده ساب‌لیتیک‌آرنایتی قرار گرفته‌اند. بررسی میزان و نوع کوارتزهای تک‌بلور و چندبلور، استفاده از توابع تفکیکی، سنگ مادر غالب این نهشته‌ها را سنگ‌های دگرگونی و آذرین فلسیک و همچنین چرخه مجدد رسوبی نشان داده است. وجود چرت در مطالعات پتروگرافی، تأثیر چرخه مجدد رسوبی از سازندهای قدیمی‌تر را نیز در این ماسه‌سنگ‌ها تأیید نموده است. مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی همچنین نشان‌دهنده خاستگاه کراتونی و جایگاه تکتونیکی حاشیه غیرفعال قاره‌ای در زمان تهنشست رسوبات سازند دورود می‌باشد. تعیین اندیس شیمیایی دگرسانی در نمونه‌های مورد مطالعه، بیانگر میزان هوازدگی شدید در منطقه منشأ و وجود آب و هوای مرطوب می‌باشد که با جغرافیای قدیمه پرمین پیشین ایران مطابقت دارد. به نظر می‌رسد عواملی همچون مسیر حمل طولانی رسوبات بر روی کراتون عربی، چرخه مجدد رسوبی از سازندهای قدیمی‌تر و همچنین آب و هوای مرطوب در زمان تهنشست سازند دورود، در کنار هم، در بلوغ نسبتاً بالای این ماسه‌سنگ‌ها نقش مهمی داشته‌اند.

واژگان کلیدی: سازند دورود، خاستگاه، سنگ مادر، چرخه مجدد رسوبی، هوازدگی قدیمه

۱- پیشگفتار

عموماً به عنوان داده مکمل در تعیین خاستگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد (جعفرزاده و حسینی‌برزی، ۲۰۰۸؛ بلانکو و همکاران، ۲۰۱۱؛ حسین و همکاران، ۲۰۱۴؛ آرمسترانگ آلتترین و همکاران، ۲۰۱۵؛ طاهری و همکاران، ۲۰۱۸؛ هاشمی‌عزیزی و همکاران، ۲۰۱۸). بررسی رسوبات و سنگ‌های رسوبی سیلیسی‌آواری پالئوزویک نهشته شده روی پوسته قاره‌ای ایران می‌تواند منعکس کننده مشتق شدن این رسوبات از منشأهایی مانند گندوانا یا خرد قاره ایران باشد (شغایی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۷). این موضوع در مطالعات مختلفی که بر روی سازندهای پالئوزویک البرز (خزایی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شرفی و همکاران، ۱۳۹۷؛

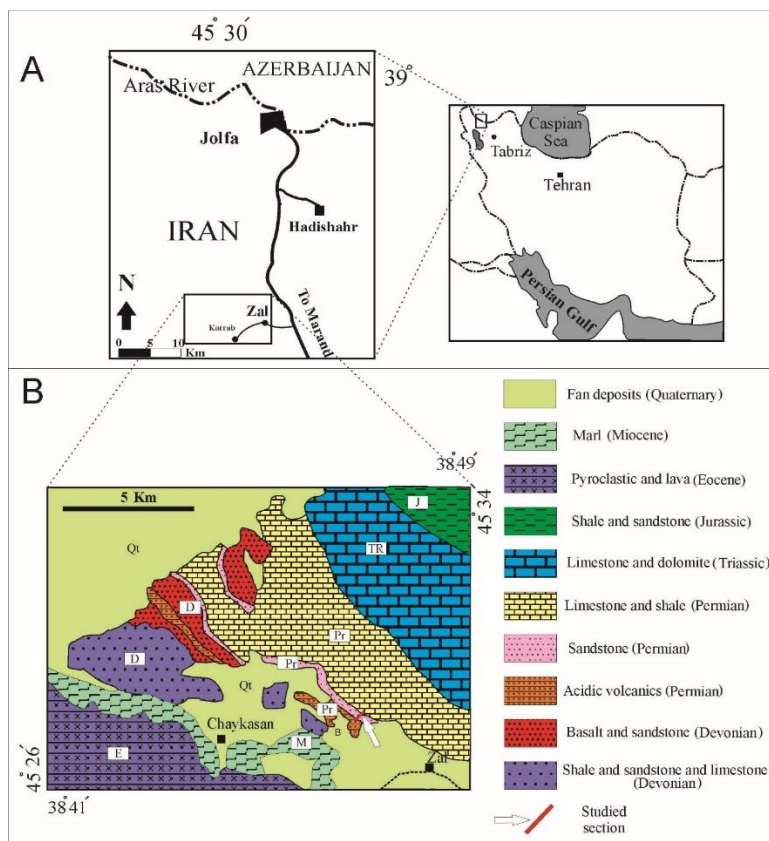
خاستگاه رسوبات و سنگ‌های رسوبی سیلیسی‌آواری را می‌توان بر اساس ویژگی‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی آن‌ها مورد بررسی قرار داد و بدین‌وسیله اطلاعاتی در مورد سنگ مادر، جایگاه تکتونیکی و شرایط هوازدگی آن‌ها در منطقه منشأ بدست آورد (اینگرسول، ۱۹۸۳؛ باتیا و کروک، ۱۹۸۶؛ مک‌لنن و همکاران، ۱۹۹۳؛ هویک و همکاران، ۱۹۹۹؛ گرزانتی و همکاران، ۲۰۰۴؛ ورما و آرمسترانگ آلتترین، ۲۰۱۶؛ آگوستسن، ۲۰۲۱). پتروگرافی اجزای تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها معمولاً به عنوان داده اولیه و ژئوشیمی رسوبات و سنگ‌های رسوبی سیلیسی‌آواری

طول جغرافیایی خاوری و "۷۲' ۴۳° ۳۸ عرض جغرافیایی شمالی واقع شده است، مورد مطالعه گرفته است (شکل ۱). در این منطقه سنگ‌های پالئوزویک بالایی و مزوزویک برون‌زد دارند. سنگ‌های پالئوزویک بالایی شامل واحد ماسه‌سنگی دونین بالایی و سنگ‌های ریوداسیتی و آندزیت داسیتی دونین بالایی تا کربونيفر، سازند دورود، روته و احتمالاً نسن می‌باشد (یوسفی‌راد و خاموشی، ۱۳۹۲). سنگ‌های مزوزویک منطقه نیز شامل سازند الیکا است. آسرتو (۱۹۶۳) سازند دورود را در بالای دره جاجرود، در محل دوراهی دورود- شمشک معرفی کرد. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی گروه‌های فسیلی مختلف سازند دورود از قبیل فوزولینیدها، براکیوپودها و پالینومورفها، سن این سازند در برش الگو، پرمین پیشین در نظر گرفته شده است. به علت عدم وجود لایه‌های حاوی روزن‌داران در سازند دورود ناحیه زال، تعیین سن دقیق آن‌ها ممکن نبوده ولی با مقایسه آن با واحدهای هم‌ارز خود در البرز سن آسیلین- ساکمارین برای آن پذیرفته شده است (شعبانیان و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به ساخت‌های رسوبی، دانه‌بندی و ترکیب کانی‌شناسی، بخش اعظم رسوبات این سازند در یک محیط ساحلی ته‌نشست یافته‌اند (نوروزپور، ۱۳۹۹). بسطامی و همکاران (۱۳۹۷)، با توجه به بلوغ ترکیبی و بافتی پتروفاسیس‌های مچور تا سوپر مچور، لامیناسیون‌های مورب کم زاویه، مورب مسطح و تراف، جریانات قدیمه بایمدال تا پلی‌مدال، وجود گلوکونیت سبزرنگ کروی در اندازه ماسه و همراهی با کربنات‌های دریایی، محیط رسوبی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در البرز مرکزی را محیطی ساحلی در نظر گرفته‌اند. نوروزپور (۱۳۹۹)، پتروفاسیس‌های ساب‌آرکوزی در این سازند را با توجه به وجود ریپل‌مارک‌های نامتقارن، مرتبط با محیط‌های رودخانه‌ای و پتروفاسیس‌های چرت آرنایتی این سازند را مرتبط با محیط ساحلی در نظر گرفته است. لاسمی (۱۳۷۹) و نیکپی (۱۳۹۴) با توجه به ویژگی‌های رسوب‌شناسی و رنگ ماسه‌سنگ‌های سازند دورود، بیشتر این آواری‌ها را متعلق به محیط غیردریایی و تحت نفوذ رودخانه می‌دانند. ضخامت سازند دورود در برش زال ۱۱۲ متر می‌باشد که مرز زیرین آن با گدازه‌های داسیتی آندزیتی دونین بالایی و مرز بالایی آن با آهک‌های متراکم فسیل‌دار خاکستری رنگ سازند روته می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۳).

بسطامی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شفایی‌مقدم و همکاران، ۲۰۱۷؛ پورسلطانی و پی‌پایپر، ۲۰۲۰، جعفرزاده و همکاران، ۲۰۲۱؛ زلیخایی و همکاران، ۲۰۲۲) آذربایجان (نجف‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰؛ بونوا و همکاران، ۲۰۲۱) و ایران مرکزی (اعتمادسعید و همکاران، ۲۰۱۱؛ زندمقدم و همکاران، ۲۰۱۳) صورت گرفته، مورد توجه قرار گرفته است. در این میان نهشته‌های تخریبی سازند دورود به سن پرمین که در البرز و آذربایجان گسترش قابل توجهی دارند، بیشتر در زمینه‌های چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی (آسرتو، ۱۹۶۳؛ بزرگ‌نیا، ۱۹۷۳؛ پرتوآذر، ۱۹۹۵؛ وزیری و یاقو، ۲۰۰۵؛ شعبانیان و همکاران، ۱۳۸۶؛ لنگرانی و همکاران، ۲۰۰۹) بررسی شده‌اند و مطالعات خاستگاه این نهشته‌ها، بصورت محدود تنها در منطقه البرز انجام شده است. بسطامی و همکاران (۱۳۹۷) در البرز مرکزی (برش خور)، ماسه‌سنگ‌های سازند دورود را بر اساس مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که این ماسه‌سنگ‌ها دارای سنگ مادر دگرگونی و آذرین اسیدی و سنگ‌های رسوبی قدیمی هستند که در جایگاه زمین‌ساختی غیرفعال قاره‌ای و تحت یک آب و هوای مرطوب ته‌نشست یافته‌اند. نتایج مشابهی نیز در بررسی‌های جاویدان و همکاران (۲۰۱۵)، بر روی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در برش‌های کیاسر و تلمادره در البرز مرکزی به دست آمده است. از اینرو انجام مطالعات خاستگاهی بر روی نهشته‌های سازند دورود در منطقه آذربایجان و مقایسه با نتایج بدست آمده از مطالعات مشابه در منطقه البرز می‌تواند در بازسازی جغرافیایی دیرینه پرمین پیشین منطقه آذربایجان مورد استفاده قرار گیرد.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

نهشته‌های پرمین در بخش اعظم پهنه آذربایجان از نظر سنگ‌شناسی و محتوای فسیلی تا حدودی شبیه به واحدهای هم‌ارز خود در البرز مرکزی و غربی هستند. ذوب یخچالی صورت گرفته در آسیلین- ساکمارین (و پفتر، ۲۰۱۳) که پس از گسترش شدید یخچال‌ها در گذر از کربنیفر به پرمین صورت گرفته است باعث ته‌نشست رسوبات مخلوط سیلیسی آواری- کربناته سازند دورود شده است (بسطامی و همکاران، ۱۳۹۷). در این مطالعه سازند دورود در برش زال که در شمال‌باختر واحد رسوبی- ساختاری البرز- آذربایجان و در محدوده "۰۳' ۳۵° ۴۵



شکل ۱. A) نقشه شماتیک مسیر دسترسی به برش زال (با تغییرات از نجف‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰): B) نقشه زمین‌شناسی برش زال (اسکویی و حاج‌علیلو، ۱۳۷۴)

SYSTEM	UPPER SERIES	FORMATION	THICKNESS (m)	LITHOLOGY	SAMPLE LOCATION		DESCRIPTION			
					Petro	Geo				
Permian	Upper	Murg.	12	Gray Limestone			Gray Limestone			
	Lower	Asselian-Sakmarian	Doroud Formation			Z17	Z16	Cross bedded Red Sandstone		
						Z16	Z15			
						Z15	Z14			
						Z14	Z14			
						Z13	Z12			
						Z11		Red Conglomerate		
								Red Shale		
								Z10		Cross bedded Red Sandstone
								Z9	Z9	
				Z8	Z8					
						Z6	Z5	Red Conglomerate		
						Z5	Z5			
Dev.	Upper Devonian			Andesite			Andesite			

شکل ۲. ستون لیتواستراتیگرافی سازند دورود در برش زال و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده به منظور مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی



شکل ۳. نمای کلی از برش مورد مطالعه. سازند دورود و مرز زیرین (آندزیت‌های داسیتی دونین) و بالایی (سازند روته) این سازند

۳- روش‌ها

در این مطالعه از روش گزی-دیکینسون (اینگرسول و همکاران، ۱۹۸۴) برای نقطه‌شماری ماسه‌سنگ‌ها استفاده گردیده است که بر روی ۱۳ نمونه ماسه‌سنگی جور شده و دانه متوسط انتخاب شده در برش زال صورت گرفته است (جدول ۱). بدین ترتیب، اثرات تغییرات اندازه دانه‌ها بر روی ترکیب اجزای ماسه‌سنگ‌ها کاهش می‌یابد. در این روش، دانه‌ها یا بلورهای تک‌بلوری در اندازه ماسه که تشکیل‌دهنده بخشی از دانه‌های چندبلوری بزرگ‌تر هستند، به عنوان دانه‌های منفرد در نظر گرفته می‌شوند. تنها دانه‌های چندبلوری که دارای ذرات دانه‌ریز (اندازه بلور کمتر از ۰/۰۶۲۵ میلی‌متر) باشند، به عنوان خرده‌سنگ‌ها در نظر گرفته می‌شوند (اینگرسول و همکاران، ۱۹۸۴). داده‌های حاصل از نقطه‌شماری (بصورت میانگین حدود ۳۲۰ نقطه در هر نمونه)، در مرحله بعد برای بررسی ترکیب ماسه‌سنگ‌ها و همچنین مطالعات خاستگاه، به صورت درصد‌های کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ مشخص گردیدند (جدول ۲). به منظور بررسی سنگ‌شناسی این نمونه‌ها، از طبقه‌بندی پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷) استفاده شده است. در ادامه ۶ نمونه از ماسه‌سنگ‌های متوسط دانه که دارای کمترین میزان سیمان کربناته بودند جهت انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی انتخاب شدند و برای تعیین مقدار عناصر اصلی آن‌ها، پس از خرد و پودر شدن با آسیاب، به آزمایشگاه شرکت کانسارهای بلورین آمیتیس شرق در مشهد ارسال گردیده و اکسید عناصر اصلی به

روش طیف‌نگاری فلئوئورسانس اشعه‌ایکس (XRF) در نمونه‌های سازند دورود مشخص شدند (جدول ۳).

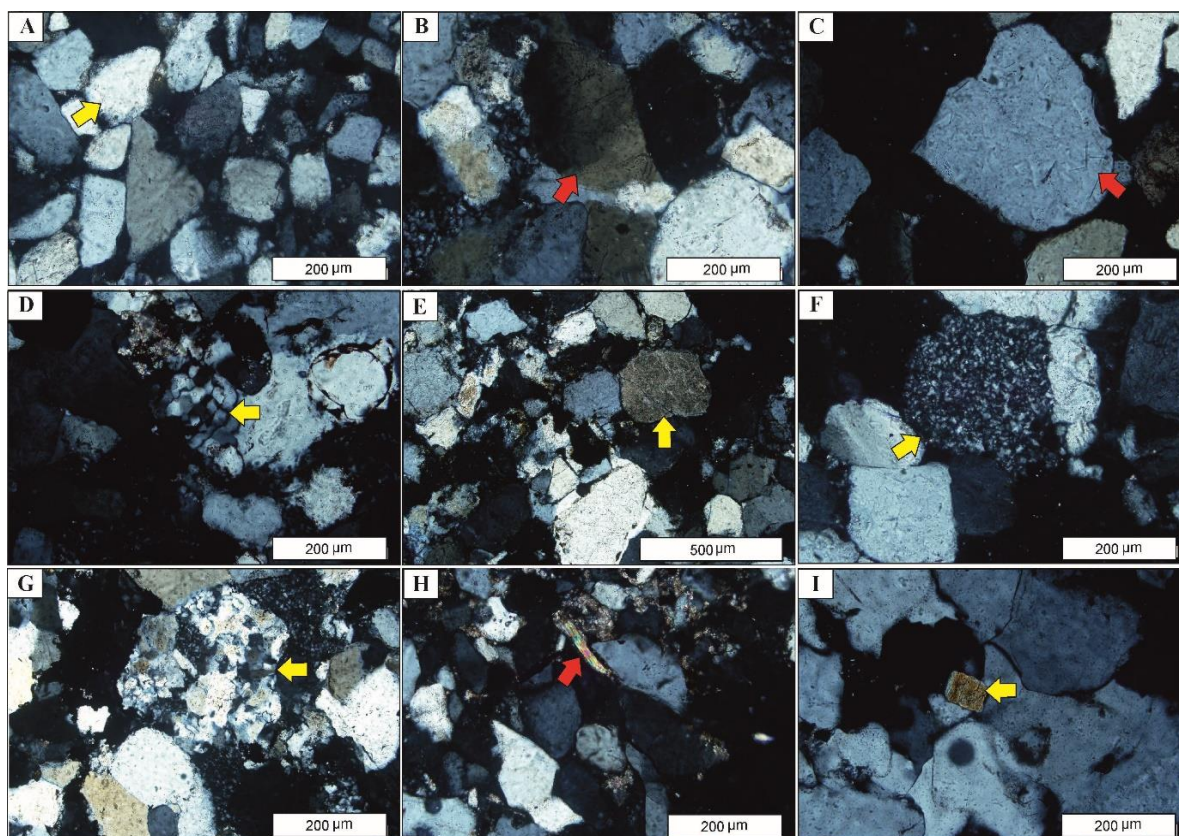
۴- داده‌ها

۴-۱- پتروگرافی

فراوان‌ترین کانی مشاهده شده در ماسه‌سنگ‌های سازند دورود، کوارتز است. در این ماسه‌سنگ‌ها، کوارتزهای مشاهده شده اغلب از نوع کوارتزهای تک‌بلوری می‌باشند که به دو صورت کوارتز تک‌بلوری با خاموشی مستقیم (شکل ۴، A) و کوارتز تک‌بلوری با خاموشی موجی (شکل ۴، B) وجود دارند. کوارتزهای تک‌بلوری مشاهده شده در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه دارای ادخال‌هایی از کانی‌هایی همچون زیرکن، تورمالین و سوزن‌های روتیل هستند (شکل ۴، C). به مقدار خیلی کم در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، کوارتز چندبلوری بیش از سه ریزبلور در هر دانه (شکل ۴، D) نیز مشاهده شده است. با بررسی نتایج نقطه‌شماری بر روی مقاطع ماسه‌سنگی در برش زال (جدول ۱)، درصد کوارتزهای تک‌بلوری و چندبلوری محاسبه و مشخص شد که میزان کوارتزهای تک‌بلوری با خاموشی مستقیم حدود ۳۳-۴۶ درصد (میانگین ۳۹ درصد)، میزان کوارتزهای تک‌بلوری با خاموشی موجی حدود ۲۳-۳۲ درصد (میانگین ۲۷)، و درصد کوارتزهای چندبلوری بیش از سه ریزبلور حدود ۱-۴ درصد (میانگین ۳) می‌باشد. فلدسپات پتاسیم‌دار اغلب بصورت دگرسان شده، در ماسه‌سنگ‌های سازند دورود (به‌طور میانگین ۳ درصد کل اجزا در برش زال) مشاهده شده است (شکل ۴،

درصد اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این ماسه‌سنگ‌ها (کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ) بدون در نظر گرفتن سیمان، زمینه و اجزای فرعی عبارتند از کوارتز (از ۸۱ درصد تا ۹۴ درصد (به‌طور متوسط ۸۶ درصد) و در مرحله بعد، فلدسپات (از ۳ درصد تا ۱۰ درصد، به‌طور متوسط ۵ درصد) و خرده‌سنگ از ۲ تا ۱۳ درصد (میانگین ۹ درصد) (جدول ۲). با بررسی فراوانی دانه‌های مطالعه شده در نمونه‌ها در جدول ۲، از قاعده به سمت رأس سازند، روند کاهش را در میزان کوارتز چندبلوری با بیش از سه ریزبلور در هر دانه می‌توان مشاهده نمود. درصد‌های محاسبه شده به منظور بررسی سنگ‌شناسی این نمونه‌ها، بر روی دیاگرام پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷) ترسیم شدند. با توجه به درصد زمینه در ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در برش زال (جدول ۱)، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده لیتیک گری‌وک (۲ نمونه)، کوارتز آرنایت (۲ نمونه) و ساب‌لیتیک آرنایت (۹ نمونه) قرار گرفته‌اند (شکل ۵).

(E). در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، تنها خرده‌سنگ‌ها از نوع رسوبی مشاهده شده‌اند که اغلب شامل خرده‌سنگ‌های چرت (شکل ۴، F) و ماسه‌سنگی (شکل ۴، G) و به ندرت خرده‌سنگ‌های شیلی می‌باشند. با بررسی نتایج نقطه‌شماری میزان خرده‌سنگ‌های چرتی حدود ۲-۷ درصد (میانگین ۴ درصد) و فراوانی خرده‌سنگ‌های رسوبی (ماسه‌سنگی و شیلی) حدود ۰-۴ درصد (میانگین ۲ درصد) می‌باشد. در مطالعات نقطه‌شماری انجام شده بر روی ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، مسکویت (شکل ۴، H) و کانی‌های سنگین زیرکن، تورمالین و روتیل (شکل ۴، I) تا اندازه‌ای که در برش‌های نازک قابل تشخیص هستند شمارش شده‌اند و میانگین ۳ درصد را تشکیل می‌دهند (جدول ۱). فراوان‌ترین سیمان‌های تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های سازند دورود عبارتند از سیمان سیلیسی (به‌طور متوسط ۶ درصد کل اجزا) و سیمان اکسید آهن (به‌طور متوسط ۵ درصد کل اجزا). سیمان کربناته (به‌طور متوسط ۱ درصد کل اجزا) نیز به میزان کمتری در این ماسه‌سنگ‌ها مشاهده شده‌اند.



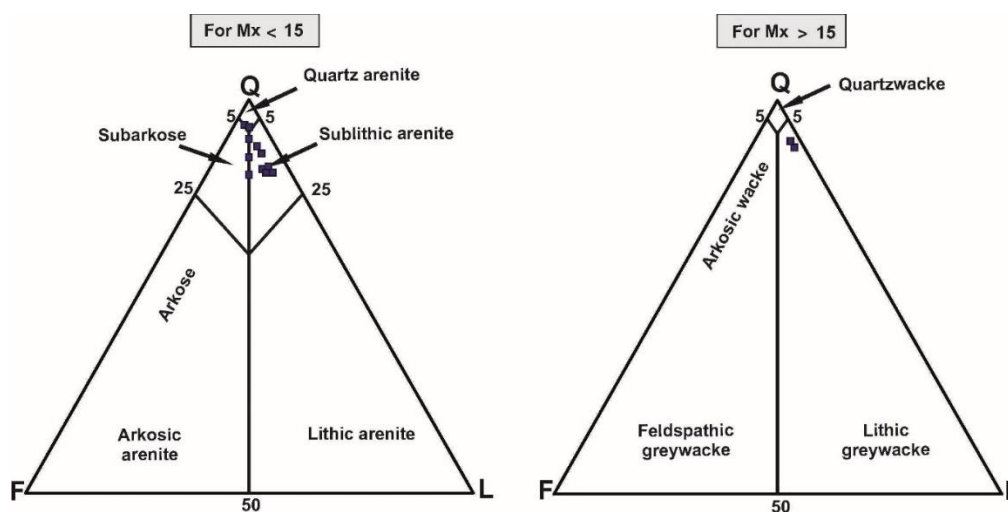
شکل ۴. اجزای تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در زیر میکروسکوپ پلاریزان: (A) کوارتزهای تک‌بلوری یا خاموشی مستقیم (پیکان زرد رنگ)؛ (B) کوارتز تک‌بلوری یا خاموشی موجی (پیکان قرمز رنگ)؛ (C) دانه کوارتز تک‌بلوری دارای ادخال از نوع روتیل سوزنی (پیکان قرمز رنگ)؛ (D) دانه کوارتز چندبلوری (پیکان زرد رنگ)؛ (E) فلدسپات پتاسیم‌دار دگرسان شده (پیکان زرد رنگ)؛ (F) خرده سنگ رسوبی از نوع چرت (پیکان زرد رنگ)؛ (G) خرده‌سنگ رسوبی از نوع ماسه‌سنگی (پیکان زرد رنگ)؛ (H) دانه مسکویت (پیکان قرمز رنگ)؛ (I) کانی سنگین از نوع تورمالین (پیکان زرد رنگ) در ماسه‌سنگ‌های سازند دورود.

جدول ۱. نتایج نقطه‌شماری تعداد ۱۳ نمونه ماسه‌سنگی سازند دورود در برش زال (علائم اختصاری: Straight: خاموشی مستقیم; Undulose extinction: خاموشی موجی; Plg: پلاژیوکلاز; Kf: فلدسپات پتاسیم‌دار; Cht: خرده‌سنگ رسوبی چرت; S: خرده‌سنگ ماسه‌سنگی و شیلی; Cal: سیمان کربناته; MX: زمینه; Acc: اجزای فرعی; Sum: مجموع ذرات شمارش شده بدون سیمان و ماتریکس).

Sample no.	Quartz				Feldspar		Rock Fragment		Cement				Acc	Sum
	Monocrystal		Polycrystal		Kf	Plg	Cht	S	Cal	Fe Oxi	Silica	Clay MX		
	Straight	Undulose extinction	< or = 3 Crystal	> 3 Crystal										
Z5	143	99	0	16	22	8	18	11	0	20	23	15	11	328
Z6	145	102	0	12	15	4	14	9	0	32	25	23	12	313
Z7	139	97	0	14	12	0	27	13	31	21	24	28	14	316
Z8	148	104	0	11	10	0	22	7	16	20	25	20	11	313
Z9	149	102	0	15	14	0	22	17	0	15	27	21	9	328
Z10	155	108	0	7	11	0	18	11	0	10	30	14	11	321
Z11	154	103	0	10	10	0	12	12	0	15	15	48	10	311
Z12	146	101	0	10	10	0	15	8	0	19	15	55	10	300
Z13	177	122	0	7	12	0	7	0	0	16	27	8	11	336
Z14	160	95	0	9	11	4	9	6	7	25	14	43	9	303
Z15	164	120	0	8	12	0	9	0	4	17	20	14	11	324
Z16	153	95	0	5	13	5	21	13	8	18	17	42	10	315
Z17	149	113	0	7	17	0	27	15	11	21	25	14	12	340

جدول ۲. درصدهای کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ محاسبه شده از نتایج نقطه‌شماری نمونه‌های مطالعه شده، جهت استفاده در نمودار پتی جان و همکاران (۱۹۸۷) و دیاگرام های دیکینسون و همکاران (۱۹۸۳): (علائم اختصاری: Rf: کل خرده‌سنگ‌ها به همراه چرت; F: کل فلدسپات‌ها; Q: کل کوارتزهای تک بلوری و چندبلوری; Qm: کوارتزهای تک بلوری; Qt: کل دانه‌های کوارتز تک‌بلوری و چندبلوری به همراه چرت; Lt: کل خرده‌سنگ‌ها به همراه کوارتزهای چندبلوری; L: خرده‌سنگ‌ها بجز چرت).

Sample	Q F Rf (%)			Qt F L (%)			Qm F Lt (%)		
	Q	F	Rf	Qt	F	L	Qm	F	Lt
Z5	81	10	9	87	10	4	76	10	14
Z6	86	6	8	91	6	3	82	6	12
Z7	83	4	13	92	4	4	78	4	18
Z8	87	3	10	94	3	2	83	3	13
Z9	83	4	12	90	4	5	79	4	17
Z10	87	4	9	93	4	4	85	4	12
Z11	89	3	8	93	3	4	85	3	11
Z12	89	3	8	94	3	3	85	3	11
Z13	94	4	2	96	4	0	92	4	4
Z14	90	5	5	93	5	2	87	5	8
Z15	93	4	3	96	4	0	91	4	5
Z16	83	6	11	90	6	4	81	6	13
Z17	82	5	13	90	5	5	80	5	15

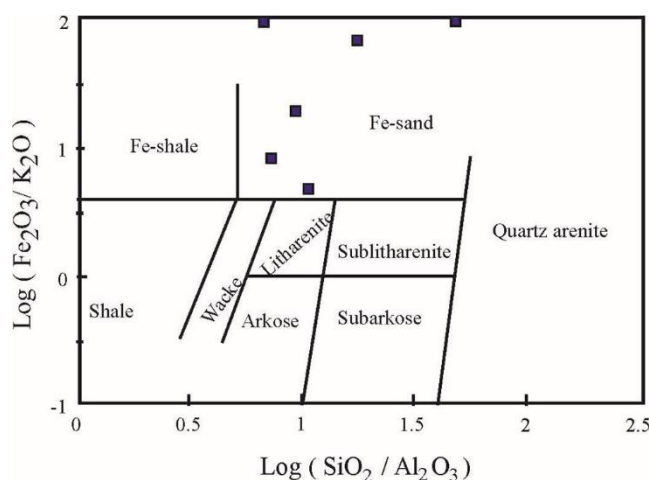


شکل ۵. نمودار مثلثی پتی جان و همکاران (۱۹۸۷) به منظور طبقه‌بندی نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند دورود در برش زال

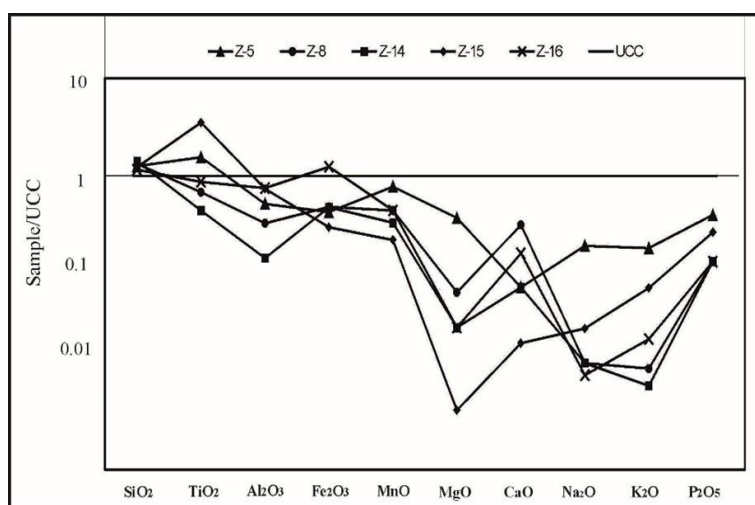
۲-۴- ژئوشیمی عناصر اصلی

ترکیب ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس مقادیر SiO_2 در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه بالا و متنوع (از ۷۶/۸ درصد الی ۹۳/۶ درصد و میانگین ۸۵/۰۶ درصد) است و مقادیر Al_2O_3 در این ماسه‌سنگ‌ها پایین تا متوسط (از ۲/۲۲ درصد تا ۱۱/۵۱ درصد و میانگین ۷/۸۸ درصد) است. برخلاف این دو اکسید، سایر اکسیدها غلظت نسبتاً کمتری را دارا هستند. غلظت Fe_2O_3 در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از ۱/۴ تا ۶/۹۳ درصد تغییر می‌کند (میانگین ۲/۹۵ درصد). سایر اکسیدها اکثراً مقادیر کمتر از ۱ درصد را دارا هستند. نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در برش زال بین ۶/۶۸ تا ۴۲/۲۰ (میانگین ۱۵/۵۷) در تغییر است که نشان‌دهنده بلوغ کانی‌شناسی نسبتاً بالای نمونه‌ها است. بر اساس

نسبت لگاریتم $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در مقابل لگاریتم $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ (هرون، ۱۹۸۸)، نمونه‌های مورد مطالعه از سازند دورود در محدوده ماسه‌های آهن‌دار قرار می‌گیرند (شکل ۶). مقادیر بالای $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه می‌تواند در ارتباط با فراوانی سیمن‌های آهن‌دار و میزان کم فلدسپات‌های پتاسیم‌دار در نمونه‌ها باشد (جدول ۱). در شکل ۷ مقادیر اکسیدهای اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند دورود در برش زال با ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (رادنیک و گائو، ۲۰۰۳) بهنجار شده‌اند. در بین عناصر اصلی نمونه‌های سازند دورود، تنها مقدار SiO_2 از میانگین ترکیب پوسته قاره‌ای بیشتر است که با توجه به مطالعات پتروگرافی می‌تواند به دلیل مقادیر فراوان کوارتز در نمونه‌های مورد مطالعه باشد. مقادیر کم فلدسپات در نمونه‌های مورد مطالعه نیز می‌تواند از دلایل تهی‌شدگی K_2O و Na_2O در نمونه‌های مورد مطالعه باشد (شکل ۷).



شکل ۶. طبقه‌بندی نمونه‌های مورد مطالعه از سازند دورود در برش زال بر اساس طبقه‌بندی هرون (۱۹۸۸)



شکل ۷. نتایج بهنجارسازی عناصر اصلی نمونه‌های سازند دورود در برش زال نسبت به میانگین پوسته قاره‌ای بالایی (رادنیک و گائو، ۲۰۰۳)

جدول ۳. درصد اکسیدهای اصلی و مقادیر اندیس شیمیایی دگرسانی در ماسه‌سنگ‌های انتخابی از سازند دورود در برش زال

Samples	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	CIA
Z-5	83.55	0.98	7.95	2.39	0.07	0.92	0.26	0.63	0.51	0.06	2.58	80.57
Z-8	88.31	0.43	5.04	2.69	0.04	0.16	1.13	0.04	0.03	0.02	1.98	96.85
Z-9	86.3	0.52	9.27	1.4	0.02	0.08	0.07	0.11	0.07	0.03	2.14	96.74
Z-14	93.68	0.28	2.22	2.67	0.03	0.07	0.26	0.04	0.02	0.02	0.75	93.54
Z-15	81.68	2.21	11.34	1.67	0.02	0.01	0.07	0.09	0.2	0.04	2.51	96.63
Z-16	76.84	0.55	11.51	6.93	0.04	0.07	0.58	0.03	0.06	0.02	3.42	98.60
MEAN	85.06	0.82	7.88	2.95	0.03	0.21	0.39	0.15	0.14	0.03	2.23	93.82

۵- بحث

۵-۱- لیتولوژی سنگ مادر

با توجه به اهمیت بررسی کوارتزهای دارای خاموشی موجی و مستقیم و همچنین کوارتزهای چندبلوری و تک‌بلوری، باسو و همکاران (۱۹۷۵) نمودار چهارتایی خستی را ارایه نمودند. با توجه به این دیاگرام و با توجه به ویژگی‌های ذرات کوارتز در ماسه‌سنگ‌های سازند دورود، سنگ مادر این ماسه‌سنگ‌ها، دگرگونی درجه پایین تا متوسط مشخص گردیده است (شکل ۸ قسمت A). همچنین داده‌های مربوط به نقطه‌شماری و کوارتزهای شمارش شده در نمودار چهارتایی توروتوزا و همکاران (۱۹۹۱) پلات شد و مشخص گردید که سنگ مادر ماسه‌سنگ‌های سازند دورود مربوط به سنگ‌های پلوتونیک می‌باشد (شکل ۸ قسمت B) که با توجه به وجود کوارتزهای تک‌بلوری با خاموشی مستقیم و موجی در این ماسه‌سنگ‌ها مورد تایید قرار می‌گیرد. هر چند یکی از عللی که ممکن است باعث افزایش میزان کوارتزهای تک‌بلوری به چندبلوری شود ممکن است در اثر از هم پاشیدگی کوارتزهای چندبلوری اولیه در اثر یک محیط پراورزی و یا حمل طولانی مدت باشد. کوارتزهای چندبلوری موجود در ماسه‌سنگ‌های سازند دورود نیز بیشتر از نوع کوارتزهای تبلور مجدد یافته^۱ بوده و کوارتزهای دگرگونی جهت یافته^۲ در آن‌ها مشاهده نشده است. بر اساس مقادیر اکسیدهای اصلی و بکارگیری نمودار تفکیک کننده تابعی روسر و کورش (۱۹۸۸)، نمونه‌ها در محدوده رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند (شکل ۹) که می‌تواند نشان‌دهنده ورود رسوبات سازند دورود از بخش‌های داخل کراتونی و همچنین می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر چرخه مجدد رسوبی باشد (روسر و همکاران، ۱۹۹۶). ژئوشیمی عناصر اصلی بویژه نسبت

۵-۲- جایگاه تکتونیکی

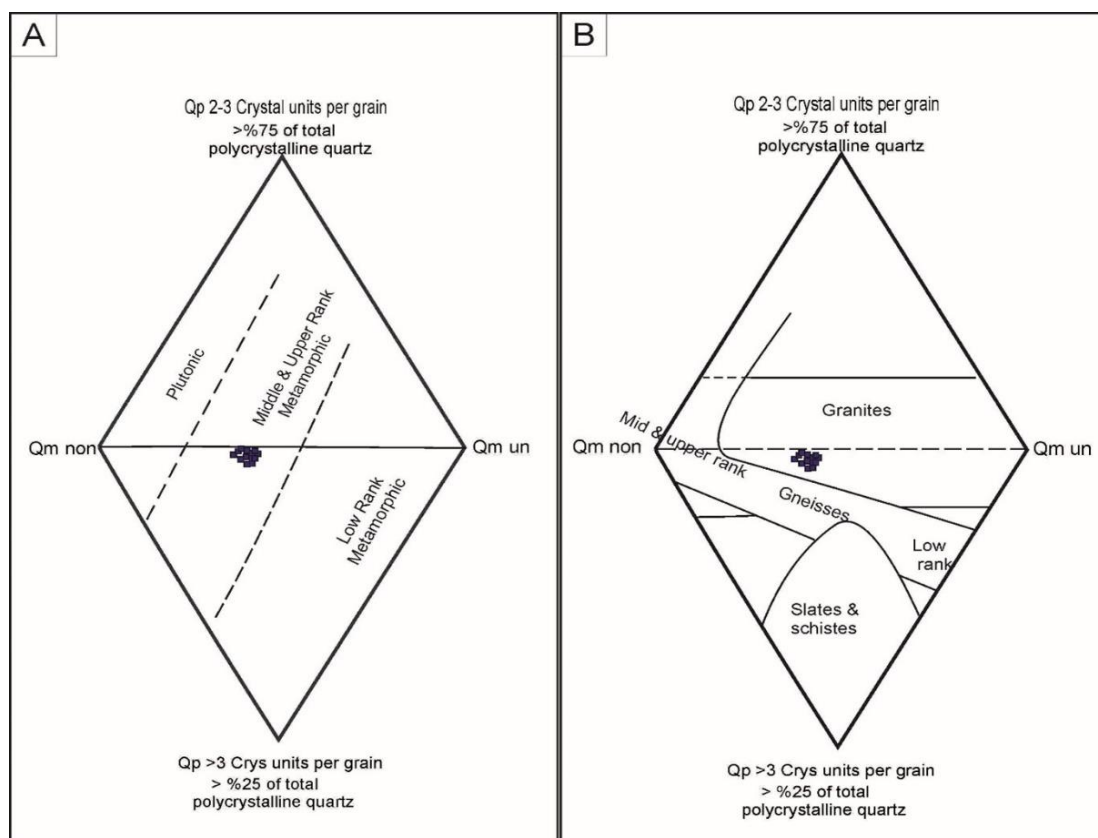
زمین‌ساخت، کنترل کننده توزیع انواع مختلف ماسه‌سنگ‌ها است به این دلیل که زمین‌ساخت صفحه‌ای، ارتباط بین خاستگاه و حوضه رسوبی را تعیین می‌کند. برای بدست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد خاستگاه و جغرافیای دیرینه، ارتباط بین منطقه منشأ، محیط رسوب‌گذاری و جایگاه زمین‌ساختی لازم و ضروری می‌باشد (کریتلی و همکاران، ۲۰۰۷). اجزای اصلی تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها شامل کوارتز، فلدسپات و انواع قطعات سنگی، انعکاس دهنده مناطق خاستگاهی از جمله بلوک‌های قاره‌ای، سیستم کمان‌های ماگمایی، کمربندهای برخوردی و نوع مرز بین صفحات هستند (دیکینسون و سوچک، ۱۹۷۹). دیکینسون و همکاران (۱۹۸۳) با استفاده از اجزای اصلی ماسه‌سنگ‌ها شامل کوارتز، فلدسپات و خرده‌های سنگی، این محدوده‌های خاستگاهی را در دیاگرام‌های مثلی مشخص کردند. با توجه به دیاگرام مثلی QmFLt و QtFL (دیکینسون و همکاران، ۱۹۸۳) مشخص می‌گردد که ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در

² stretched metamorphic quartz

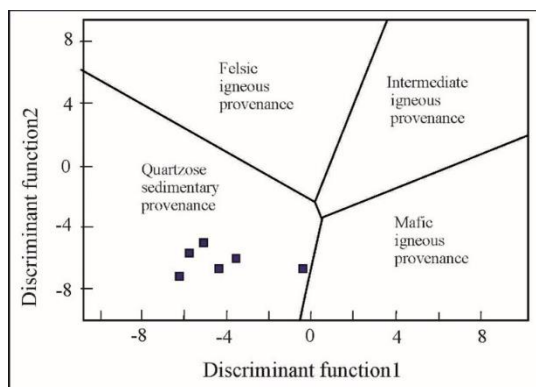
¹ recrystallized metamorphic quartz

نموده‌اند. چرخه مجدد رسوبی می‌تواند یکی از دلایل اصلی مقادیر بسیار کم اجزای ناپایدار همراه با مقادیر بالای کوارتزهای تک‌بلوری در این ماسه‌سنگ‌ها باشد، هر چند هوازدگی شیمیایی شدید در یک آب و هوای گرم و مرطوب در منطقه منشأ این ماسه‌سنگ‌ها نیز می‌تواند از سایر عوامل موثر در این امر باشد (پتی‌جان و همکاران، ۱۹۸۷).

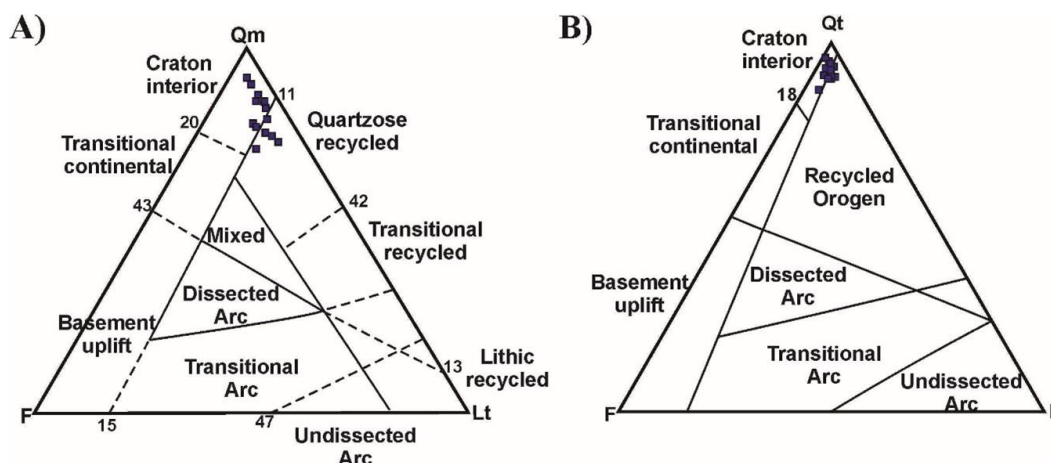
محدوده کراتونی و چرخه مجدد قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). مناطق منشأ کراتونی می‌تواند منعکس کننده ماسه سنگ‌های بسیار بالغ مشتق شده از مناطق منشأ گرانیتویدی و گنایسی کم ارتفاع باشند (دیکینسون و سوچک، ۱۹۷۹) که نمودارهای تعیین سنگ مادر (شکل‌های ۸ و ۹)، نیز وجود سنگ مادرهای دگرگونی و آذرین فلسیک و همچنین چرخه مجدد رسوبی را تایید



شکل ۸. A) نمودار چهارتایی باسو و همکاران (۱۹۷۵): B) نمودار چهارتایی تورنوزا و همکاران (۱۹۹۱). رئوس قطر کوچک این نمودار را کوارتزهای موجی با خاموشی بیش از ۵ درجه و کوارتزهای غیرموجی با خاموشی کمتر از ۵ درجه تشکیل می‌دهند و در راس قطر بزرگ نیز کوارتزهای چندبلوری (۲ تا ۳ واحد بلوری به ازای هر دانه در ۷۵٪ از کل کوارتزهای چندبلوری) و کوارتزهای چندبلوری (بیش از ۳ واحد بلور به ازای هر دانه در بیش از ۲۵٪ از کل کوارتز چندبلوری) قرار دارند.



شکل ۹. نمودار تفکیک کننده تابعی روسر و کورش (۱۹۸۸)، نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند دورود در برش زال در محدوده خاستگاه رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۰. جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود بر اساس اجزای اصلی در دیاگرام دیکینسون و همکاران (۱۹۸۳)

سیلیس بالای ورما و آرمسترانگ-آلتترین (۲۰۱۳) نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ریفتی درون قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱ قسمت B).

۵-۳- هوازگی منطقه منشأ

آب و هوای منطقه منشأ عموماً تأثیر بسیار زیادی بر روی ترکیب نهایی ماسه‌سنگ‌ها و لذا بر روی تعبیر و تفسیر مرتبط با خاستگاه می‌گذارد (ساتنر و داتا، ۱۹۸۶؛ مک و جرزیکیویکز، ۱۹۸۹). به عنوان مثال آب و هوای گرم و مرطوب، دگرسانی را توسعه می‌دهد اما آب و هوای سرد و خشک دگرسانی ناچیزی ایجاد می‌کند و لذا باعث حفظ ذرات ناپایدار می‌گردد (ساتنر و داتا، ۱۹۸۶). همانطور که از ترکیب اجزای ماسه‌سنگ‌های سازند دورود مشخص است در این ماسه‌سنگ‌ها اجزای ناپایدار، فراوانی کمتری نسبت به کوارتزهای چندبلوری و تک‌بلوری دارند (جدول ۱). برای بررسی وضعیت آب و هوایی و هوازگی منطقه منشأ، داده‌های نقطه‌شماری بر روی نمودار (Ln Q/F) در مقابل (Ln Q/L) ولتجه (۱۹۹۴) پلات شدند. با توجه به اینکه نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ۴، ۲ و ۱ قرار گرفته‌اند، می‌تواند نشان‌دهنده آب و هوای نیمه‌مرطوب معتدل تا مرطوب گرمسیری در مناطق با برجستگی متوسط تا کم ارتفاع است (شکل ۱۲ قسمت A و B). بر اساس این نمودار همچنین سنگ مادر مخلوط سنگ‌های دگرگونی و پلوتونیک نیز برای این ماسه‌سنگ‌ها مشخص می‌گردد. ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) نیز شاخصی برای تعیین وضعیت آب و هوا در زمان رسوب‌گذاری ایجاد نمودند که

در این مطالعه همچنین درصد عناصر اصلی به منظور تعیین جایگاه تکتونیکی مورد استفاده قرار گرفته است (روسر و کورش، ۱۹۸۶؛ آرمسترانگ-آلتترین و همکاران، ۲۰۰۴؛ ورما و آرمسترانگ-آلتترین، ۲۰۱۳). روسر و کورش (۱۹۸۶) معتقد هستند که محتوی SiO_2 و نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ در ماسه‌سنگ‌ها نیز یکی از مهم‌ترین نشانگرهای تفکیک جایگاه‌های تکتونیکی هستند. بر این اساس، روسر و کورش (۱۹۸۶) نموداری طراحی نمودند که براساس محتوی SiO_2 و نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ، به تفکیک سه جایگاه تکتونیکی غیرفعال قاره‌ای^۱، جایگاه فعال قاره‌ای^۲ و حواشی جزایر کمانی اقیانوسی^۳ پرداخته می‌شود. با ترسیم مقادیر مربوط به نمونه‌های سازند دورود مشخص می‌شود که جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود جایگاه غیرفعال قاره‌ای است (شکل ۱۱ قسمت A). ورما و آرمسترانگ-آلتترین (۲۰۱۳) از دیاگرام تفکیکی برای مشخص نمودن جایگاه تکتونیکی رسوبات سیلیسی‌آواری استفاده نموده‌اند که در این دیاگرام سه محدوده تکتونیکی کمان قاره‌ای، ریفت و جایگاه تکتونیکی برخوردی مشخص گردیده است. دیاگرام‌های ورما و آرمسترانگ-آلتترین (۲۰۱۳) برای دو دسته از رسوبات با مقدار سیلیس پایین (میزان SiO_2 بین ۳۵ تا ۶۳ درصد پس از حذف مواد فرار) و سیلیس بالا (میزان SiO_2 بین ۶۳ تا ۹۵ درصد پس از حذف مواد فرار) طراحی شده است که با توجه به مقادیر سیلیس پس از حذف مواد فرار در نمونه‌های سازند دورود (۷۹ تا ۹۴ درصد)، در این مطالعه از دیاگرام با مقدار سیلیس بالا استفاده شده است. بر اساس دیاگرام با مقدار

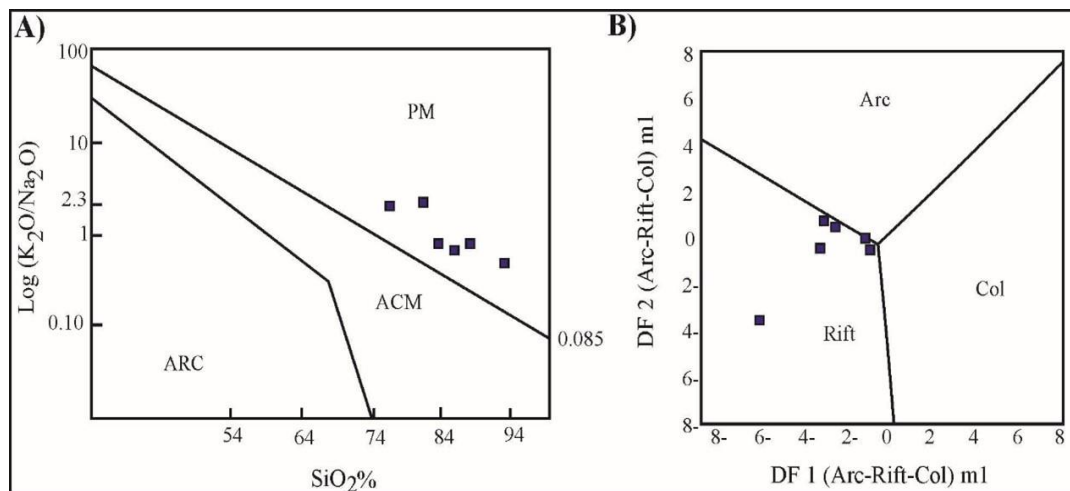
³ Oceanic island arc

¹ Passive margin

² Active margin

فراوان‌تر کوارتز نسبت به فلدسپات و خرده‌سنگ هستند، این شاخص، آب و هوای مرطوب تا نیمه‌مرطوب در منطقه منشأ در زمان تشکیل رسوبات سازند دورود را نشان می‌دهد (شکل ۱۲ قسمت C).

بر اساس نسبت مجموع انواع کوارتز به میزان فلدسپات و خرده‌سنگ (Qt/F+RF) در مقابل کوارتز چندبلوری و چرت بر روی فلدسپات و خرده‌سنگ (Qp/F+RF) است. به دلیل اینکه ماسه‌سنگ‌های سازند دورود دارای مقادیر



شکل ۱۱. جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود بر اساس ژئوشیمی عناصر اصلی. (A) نمودار در برابر لگاریتم K_2O/Na_2O جهت تفکیک جایگاه تکتونیکی (روسر و کورش، ۱۹۸۶). این نمودار جایگاه تکتونیکی مرزهای غیرفعال را برای ماسه‌سنگ‌های سازند دورود نشان می‌دهد. (B) نمودار تفکیکی ورما و آرمسترانگ (۲۰۱۳) جهت تفکیک جایگاه‌های تکتونیکی رفتی، برخوردار و کمان آتشفشانی. تابع تفکیکی ۱:

$$DF1(\text{Arc-Rit-Col}) m2 = (0.608 \times \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (-1.854 \times \ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (0.299 \times \ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (-0.550 \times \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (0.120 \times \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (0.194 \times \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (-1.510 \times \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (1.941 \times \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (0.003 \times \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2) \text{ adj}) - 0.294.$$

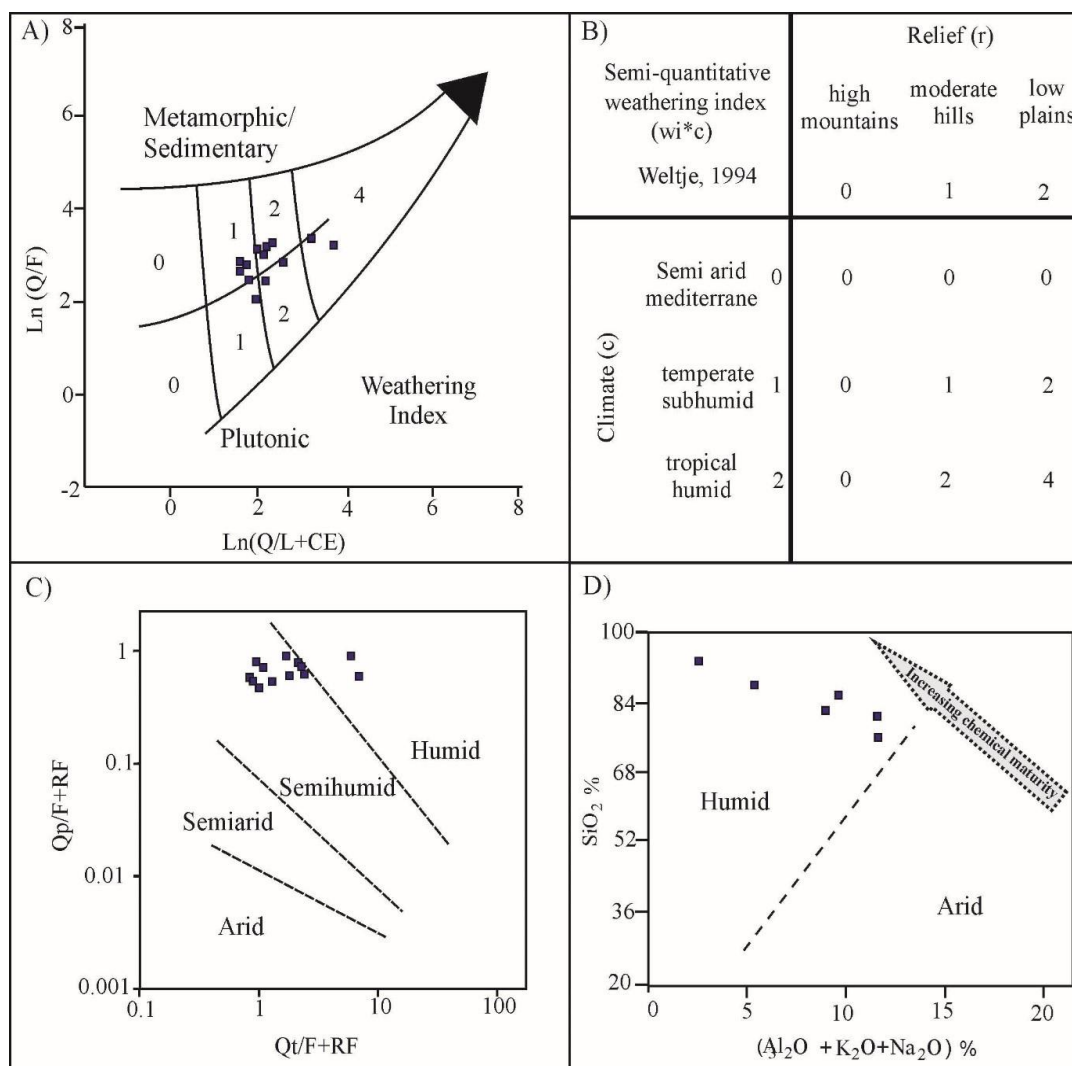
تابع تفکیکی ۲:

$$DF2(\text{Arc-Rit-Col}) m2 = (-0.554 \times \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (-0.995 \times \ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (1.765 \times \ln(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (-1.391 \times \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (-1.034 \times \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (0.225 \times \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (0.713 \times \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (0.330 \times \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2) \text{ adj}) + (0.637 \times \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2) \text{ adj}) - 3.631$$

$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$
باید توجه داشت که CaO^* میزان CaO در بخش سیلیکاته نمونه می‌باشد. در نمونه‌های با میزان CaO بالا که مربوط به سیمان یا ماتریکس کربناته می‌باشد، این مقدار بایستی تصحیح شود (مکلنن و همکاران، ۱۹۹۳؛ بوک و همکاران، ۱۹۹۸). میزان CIA برای نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند دورود در برش زال از ۸۰/۵۷ تا ۹۸/۶۰ (میانگین ۹۳/۸۲) تغییر می‌کند (جدول ۳). این اعداد میزان هوازدگی بالا را برای ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند. بر این اساس، می‌توان آب و هوای مرطوب را برای منطقه منشأ این ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد نمود (نزبیت و یانگ، ۱۹۸۲؛ نزبیت، ۲۰۰۳). این مقدار بالای اندیس شیمیایی دگرسانی در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از سازند دورود در برش زال، با مشاهدات پتروگرافی از قبیل مقادیر بسیار اندک پلاژیوکلازها و مقادیر کم فلدسپات‌های پتاسیم نیز مطابقت نشان می‌دهد.

ساتنر و داتا (۱۹۸۶) همچنین با استفاده از ژئوشیمی اکسیدهای اصلی و قرار دادن مقادیر SiO_2 در مقابل مجموع Al_2O_3 ، K_2O و Na_2O شرایط آب و هوایی در منطقه منشأ را مورد بررسی قرار داده‌اند که بر اساس آن (شکل ۱۲ قسمت D) نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند دورود تماماً در محدوده آب و هوای مرطوب قرار گرفته‌اند.

یکی از این اندیس‌هایی که تا کنون برای تعیین درجه هوازدگی رسوبات پیشنهاد شده است (نزبیت و یانگ، ۱۹۸۲؛ فدو و همکاران، ۱۹۹۵)، اندیس شیمیایی دگرسانی (CIA) است (نزبیت و یانگ، ۱۹۸۲) که اغلب برای تعیین شدت هوازدگی‌های شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (گراتهام و ولبل، ۱۹۸۸؛ مکلنن و همکاران، ۱۹۹۳؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۰). مقادیر CIA از حدود ۵۰ یا کمتر (برای بیشتر سنگ‌های آذرین و دگرگونی غیر هوازده) و تا حدود ۱۰۰ (برای باقیمانده‌های آلومینوسیلیکات خالص از قبیل کائولن) تغییر می‌کند. برای محاسبه این اندیس از فرمول زیر استفاده می‌شود:



شکل ۱۲. A) نمودار $(Ln Q/F)$ در مقابل $(Ln Q/L)$ ولتجه (۱۹۹۴) برای تعیین وضعیت آب و هوایی منطقه منشأ ماسه‌سنگ‌ها. نمونه‌های سازند دورود در محدوده ۴، ۲ و ۱ قرار گرفته است که نشان‌دهنده وضعیت آب و هوایی مرطوب تا نیمه‌مرطوب و سنگ‌منشأهای دگرگونی تا پلوتونیک برای این ماسه‌سنگ‌ها می‌باشد؛ B) فاکتورهای موثر در نمودار ولتجه (۱۹۹۴)؛ C) نمودار تغییرات لگاریتمی $Qp/(F+RF)$ و $Qt/(F+RF)$ (سانتر و داتا، ۱۹۸۶) که نشان می‌دهد ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در محدوده آب و هوایی مرطوب تا نیمه‌مرطوب قرار گرفته‌اند؛ D) دیگرام SiO_2 در مقابل مجموع Al_2O_3 ، K_2O و Na_2O (سانتر و داتا، ۱۹۸۶) برای تعیین شرایط آب و هوایی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود.

۶- کاربرد در جغرافیای قدیمه

موتونی و همکاران (۲۰۰۹)، ایران در پرمین پیشین در عرض جغرافیایی گرمسیری قرار داشته است. وجود آب و هوای گرم و مرطوب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی تایید شده است. همچنین مطالعات بسطامی و همکاران (۱۳۹۷) و جاویدان و همکاران (۲۰۱۵) نیز وجود آب و هوای مرطوب را بر اساس مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی در زمان تهنشست سازند دورود تایید نموده است. وجود آب و هوای مرطوب می‌تواند به عنوان یکی از دلایل کاهش مقادیر اجزای ناپایدار مانند فلدسپات‌ها در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شود. نتایج مطالعه حاضر بر اساس داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمی عناصر اصلی بر روی

ذوب یخچالی در آسیلین پسین- ساکمارین پیشین باعث پیشروی دریای پرمین شده (ویفتر، ۲۰۱۳) که این پیشروی باعث نهشته‌شدن واحدهای مختلط سیلیسی- آواری سازند دورود در حوضه البرز و آذربایجان شده است (شعبانیان و همکاران، ۱۳۸۶). سنگ‌های سیلیسی آواری این سازند متشکل از میکروکنگومرا، ماسه‌سنگ و شیل است که ضخامت آن در نقاط مختلف آذربایجان از ۱۲۰ متر تا حدود ده متر متغیر است. ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ و ماسه‌سنگ‌های کوارتز آرنایتی سفید تا خاکستری از مهمترین اجزای این واحد آواری است (شعبانیان و همکاران، ۱۳۸۶). بر اساس مطالعات انجام شده توسط

نقش ایفا نموده باشند. هر چند وجود محیط رسوبی پرانرژی به عنوان محیط ته‌نشست ماسه‌سنگ‌های سازند دورود را نیز در افزایش بلوغ ترکیبی این ماسه‌سنگ‌ها نباید فراموش نمود. در نهایت مطالعات سن‌سنجی زیرکن‌های آواری موجود در ماسه‌سنگ‌های سازند دورود می‌تواند شواهد دقیق‌تری را از وضعیت خاستگاه ماسه‌سنگ‌های این سازند ارائه دهد.

نتیجه‌گیری

ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در برش زال اکثراً دارای ترکیب ساب‌لیتیک‌آرنایتی هستند. از لحاظ ترکیبی دارای مقادیر زیادی کوارتز هستند و میزان فلدسپات در آن‌ها اندک می‌باشد. بررسی‌های پتروگرافی و ژئوشیمی عناصر اصلی بر روی ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در برش زال نشان می‌دهد که این نهشته‌ها احتمالاً از یک سنگ مادر آذرین فلسیک و سنگ‌های دگرگونی در اثر فرسایش بخش‌های درون کراتونی مشتق شده‌اند و در حاشیه غیرفعال قاره‌ای نهشته شده‌اند. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، چرخه مجدد رسوبی از سازندهای قدیمی‌تر را نیز در تأمین آواری‌های سازند دورود می‌توان در نظر گرفت. مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی، نشان دهنده هوازگی نسبتاً شدید و آب و هوای گرم و مرطوب در منطقه خاستگاه این نهشته‌ها می‌باشد. بر این اساس عواملی همچون مسیر حمل طولانی بر روی کراتون عربی، چرخه مجدد رسوبی و آب و هوای مرطوب در زمان ته‌نشست رسوبات سازند دورود به همراه محیط رسوبی ساحلی و دریایی کم عمق، در حذف کانی‌های ناپایدار این سازند نقش ایفا نموده باشند.

منابع:

- اسکویی، ا. و حاج‌علیلو، ب (۱۳۷۴) نقشه زمین‌شناسی برش قره‌ضیال‌الدین، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- بسطامی، ل.، موسوی، م.، ر.، حسینی‌برزی، م.، حمدی، ب (۱۳۹۷) خاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند دورود بر اساس سنگ‌نگاری و داده‌های ژئوشیمیایی در برش خور، البرز مرکزی. نشریه علوم زمین، شماره ۱۱۱، ص ۱۰۵-۱۲۰.
- خزائی، م.، حسینی‌برزی، م.، صادقی، ع.، مصدق، ح (۱۳۹۷) خاستگاه نهشته‌های سیلیسی آواری سازند جیرود در البرز مرکزی. نشریه علوم زمین، شماره ۱۰۸، ص ۴۵-۵۶.

ماسه‌سنگ‌های سازند دورود در برش زال، وجود سنگ مادر دگرگونی و آذرین فلسیک و تأثیر چرخه رسوبی مجدد در یک جایگاه تکتونیکی حاشیه غیرفعال قاره‌ای را در ایجاد اجزای تشکیل دهنده این ماسه‌سنگ‌ها تأیید نموده است. با توجه به مطالعات نقطه‌شماری صورت گرفته در این پژوهش و استفاده از دیاگرام‌های QtFL و QmFLt و دیکینسون و همکاران (۱۹۸۳)، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کراتون‌های پایدار و چرخه‌رسوبی مجدد قرار گرفته‌اند. نمونه‌های منشأ گرفته از کراتون‌های پایدار عموماً منعکس کننده ماسه‌سنگ‌های بسیار بالغ مشتق شده از مناطق منشأ گرانیتیویدی و گنایسی کم ارتفاع می‌باشند که این نوع سنگ‌های مادر برای رسوبات سازند دورود بر اساس نمودارهای تعیین سنگ مادر نیز تایید شده است (شکل‌های ۸ و ۹). با توجه به پیوستگی ایران، البرز و منطقه آذربایجان در زمان پرمین در حاشیه شمالی ابر قاره گندوانا و با توجه به جغرافیای قدیمه منطقه مورد مطالعه، می‌توان کراتون عربی را به عنوان یکی از خاستگاه‌های رسوبات سازند دورود در نظر گرفت، همچنانکه بررسی خاستگاه سازندهای پادها و ایلانقره در زمان دونین نیز ورود آواری‌ها از کراتون عربی را تایید نموده است (جعفرزاده و همکاران، ۲۰۲۱؛ بونوا و همکاران، ۲۰۲۱). همانگونه که ذکر گردید، مطالعات پتروگرافی از قبیل وجود چرت و خرده‌سنگ‌های رسوبی، دیاگرام‌های QmFLt و QtFL دیکینسون و همکاران (۱۹۸۳) و نمودارهای ژئوشیمیایی، تأثیر چرخه رسوبی از سازندهای قدیمی‌تر را نیز در تأمین رسوبات ماسه‌سنگ‌های سازند دورود تأیید نموده است. این تأثیر چرخه رسوبی در ورود رسوبات آواری، در مطالعات مرتبط با خاستگاه سازندهای قدیمی‌تر مثل سازند لالون (اردویسین)، پادها (سیلورین) و ایلانقره (دونین) نیز تایید شده است (جعفرزاده و همکاران، ۲۰۲۱؛ بونوا و همکاران، ۲۰۲۱؛ زلیخایی و همکاران، ۲۰۲۲). چنین نتایجی در سایر مطالعات انجام شده بر روی سازند دورود در سایر نقاط ایران نیز مشاهده شده است (نیک‌پی، ۱۳۹۴؛ بسطامی و همکاران، ۱۳۹۷). بدین ترتیب به نظر می‌رسد، عواملی همچون مسیر حمل طولانی رسوبات از سمت کراتون عربی، چرخه مجدد رسوبی از سازندهای قدیمی‌تر و همچنین آب و هوای مرطوب در زمان رسوب‌گذاری سازند دورود، می‌توانند در کنار هم، در حذف کانی‌های ناپایدار

- Basu, A., Young, S. W., Suttner, L. J., James, W. C., Mack, G. H (1975) Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Research*, 45(4): 873-882.
- Bhatia, M. R., Crook, K. A (1986) Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to mineralogy and petrology*, 92(2): 181-193
- Blanco, G., Germs, G. J. B., Rajesh, H. M., Chemale Jr, F., Dussin, I. A., Justino, D (2011) Provenance and paleogeography of the Nama Group (Ediacaran to early Palaeozoic, Namibia): petrography, geochemistry and U–Pb detrital zircon geochronology. *Precambrian Research*, 187(1-2): 15-32.
- Bock, B., McLennan, S. M., Hanson, G. N (1998) Geochemistry and provenance of the middle Ordovician Austin Glen member (Normanskill formation) and the Taconian orogeny in New England. *Sedimentology*, 45(4): 635-655.
- Bónová, K., Jafarzadeh, M., Bóna, J., Mikuš, T., Anjerdi, J., Najfzadeh, A., Mahari, R (2021) Constraints of rare detrital V-rich tourmaline and rutile on late Devonian palaeogeographic reconstruction in the Azarbaijan district, NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 221: 104943.
- Bozorgnia, F (1973) Paleozoic Foraminiferal Biostratigraphy of Central and East Alborz mountains, Iran. N.I.O.C. Geological Laboratories, Publication, 4: 185.
- Critelli, S., Le Pera, E., Galluzzo, F., Milli, S., Moscatelli, M., Perrotta, S., Santantonio, M (2007) Interpreting siliciclastic-carbonate detrital modes in foreland basin systems: An example from Upper Miocene arenites of the central Apennines, Italy. *Special Papers-Geological Society of America*, 420: 107
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A. Ryberg, P. T (1983) Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94(2): 222-235.
- Dickinson, W. R., Suczek, C. A (1979) Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG Bulletin*, 63(12): 2164-2182.
- Etemad-Saeed, N. A., Hosseini-Barzi, M. A., Armstrong-Altrin, J. S (2011) Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidences for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-e-badam block, Central Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 61(2): 142-159.
- Fedo, C. M., Wayne Nesbitt, H., Young, G. M (1995) Unraveling the effects of potassium شرفی، م.، موسوی حرمی، ر.، محیوبی، ا.، جعفرزاده، م (۱۳۹۷) پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند جیرود در البرز مرکزی، کاربرد در تعیین خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۱۲، ص ۱-۲۴.
- شعبانیان، ر.، خسروتهرانی، خ.، مومنی، ا (۱۳۸۶) چینه‌شناسی و دیرینه‌شناسی واحدهای سنگی پرمین در شمال باختر ایران. نشریه علوم زمین، شماره ۶۳، ص ۹۸-۱۰۹.
- لاسمی، ی (۱۳۷۹) رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالئوزویک ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۸۰ ص.
- نوروزپور، ح (۱۳۹۹) بررسی رخساره‌ها، محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی و فرایندهای دیاژنی مؤثر بر نهشته‌های سازند دورود در برش ارم (جنوب شهرستان نکا) در دامنه شمالی البرز مرکزی. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دوره ۳۶، شماره ۳، ص ۵۵-۷۶.
- نیک‌پی، آ (۱۳۹۴) محیط رسوبی، دیاژنز و خاستگاه سازند دورود در برش ولی‌آباد (البرز مرکزی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۸ ص.
- یوسفی‌راد، م، خاموشی، ت (۱۳۹۲) ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی توالی پرمین بالایی منطقه زال- جنوب غرب جلفا. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۲، ص ۳۸-۵۰.
- Andersson, P. O. D., Worden, R. H., Hodgson, D. M., & Flint, S (2004) Provenance evolution and chemostratigraphy of a Palaeozoic submarine fan-complex: Tanqua Karoo Basin, South Africa. *Marine and Petroleum Geology*, 21(5): 555-577
- Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y. I., Verma, S. P., Ramasamy, S (2004) Geochemistry of sandstones from the Upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Journal of sedimentary Research*, 74(2): 285-297
- Armstrong-Altrin, J. S., Nagarajan, R., Balaram, V., Natalhy-Pineda, O (2015) Petrography and geochemistry of sands from the Chachalacas and Veracruz beach areas, western Gulf of Mexico, Mexico: constraints on provenance and tectonic setting. *Journal of South American Earth Sciences*, 64: 199-216
- Assereto, R (1963) The Paleozoic formation in central elburz (Iran) (Preliminary note). *Rivista Italiana di paleontologia e Stratigrafia*, 69: 503 - 543.
- Augustsson, C (2021) Influencing Factors on Petrography Interpretations in Provenance Research-A Case- Study Review. *Geosciences*, 11(5): 205.

- Jafarzadeh, M., Hosseini-Barzi, M (2008) Petrography and geochemistry of Ahwaz Sandstone Member of Asmari Formation, Zagros, Iran: implications on provenance and tectonic setting. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 25(2): 247-260.
- Jafarzadeh, M., Bónová, K., Mikuš, T., Bóna, J., Rezaei-Kahkhaei, M., Taheri, A (2021) Tourmaline and rutile geochemistry in the Early–Middle Devonian sandstones of the Padeha Formation, Alborz Range, Northern Iran. *Geological Journal*, 56(9): 4645-4666.
- Javidan, M., Mokhtarpour, H., Sahraeyan, M., Kheyrandish, H (2015) Lithofacies, architectural elements and tectonic provenance of the siliciclastic rocks of the Lower Permian Dorud Formation in the Alborz Mountain Range, Northern Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 109: 211-223.
- Lankarani, M., Amini, A., Mosadegh, H (2009) Facies Analysis and Depositional Environment of the Permian Siliciclastic-Carbonate Transition, Central Alborz, Iran. *Journal of Damghan University of Basic Sciences*, 2: 25-36.
- Mack, G. H., Jerzykiewicz, T (1989) Provenance of post-Wapiabi sandstones and its implications for Campanian to Paleocene tectonic history of the southern Canadian Cordillera. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26(4): 665-676.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K., Hanson, G. N (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Special Papers-Geological Society of America*, 284: 21.
- Moghadam, H. S., Li, X. H., Griffin, W. L., Stern, R. J., Thomsen, T. B., Meinhold, G., Aharipour, R. and O'Reilly, S. Y (2017) Early Paleozoic tectonic reconstruction of Iran: tales from detrital zircon geochronology. *Lithos*, 268: 87-101.
- Muttoni, G., Gaetani, M., Kent, D. V., Sciunnach, D., Angiolini, A., Berra, F., Garzanti, E., Mattei, M., Zanchi, A (2009) Opening of the Neo-Tethys Ocean and the Pangea B to Pangea A transformation during the Permian. *GeoArabia*, 14: 17-48.
- Najafzadeh, A., Jafarzadeh, M., Moussavi-Harami, R (2010) Provenance and tectonic setting of Upper Devonian sandstones from Ilanqareh Formation (NW Iran). *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 27(3): 545-561.
- Nesbitt, H., Young, G. M (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *nature*, 299(5885): 715-717.
- Nesbitt, H. W (2003) Petrogenesis of Siliciclastic Sediments and Sedimentary Rocks. In: Lenz, D. R., Ed., *Geochemistry of Sediments and metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance*. *Geology*, 23(10): 921-924.
- Garzanti, E., Vezzoli, G., Andò, S., France-Lanord, C., Singh, S. K., Foster, G (2004) Sand petrology and focused erosion in collision orogens: the Brahmaputra case. *Earth and Planetary Science Letters*, 220(1-2): 157-174.
- Girty, G. H., Ridge, D. L., Knaack, C., Johnson, D., Al-Riyami, R. K (1996) Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite, Sierra Nevada, California. *Journal of Sedimentary Research*, 66(1):107-118.
- Grantham, J. H., Velbel, M. A (1988) The influence of climate and topography on rock-fragment abundance in modern fluvial sands of the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina. *Journal of Sedimentary Research*, 58(2): 219-227.
- Hashemi Azizi, S. H., Rezaee, P., Jafarzadeh, M., Meinhold, G., Harami, S. R. M., Masoodi, M (2018) Early Mesozoic sedimentary–tectonic evolution of the Central-East Iranian Microcontinent: Evidence from a provenance study of the Nakhlak Group. *Geochemistry*, 78(3): 340-355.
- Hayashi, K. I., Fujisawa, H., Holland, H. D., Ohmoto, H (1997) Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et cosmochimica acta*, 61(19): 4115-4137.
- Herron, M. M (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58(5): 820-829.
- Heubeck, C., Lowe, D. R., Byerly, G. R (1999) Sedimentary petrography and provenance of the Archean Moodies Group, Barberton greenstone belt. *Special Papers-Geological Society of America*, 329: 259-286.
- Hossain, I., Roy, K. K., Biswas, P. K., Alam, M., Moniruzzaman, M., Deeba, F (2014) Geochemical characteristics of Holocene sediments from Chuadanga district, Bangladesh: implications for weathering, climate, redox conditions, provenance and tectonic setting. *Chinese Journal of Geochemistry*, 33(4): 336-350.
- Ingersoll, R. V (1983) Petrofacies and provenance of late Mesozoic forearc basin, northern and central California. *AAPG bulletin*, 67(7): 1125-1142.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D., Sares, S. W (1984) The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Research*, 54(1): 103-116.

- Faculty of Earth Sciences, Utrecht University, 208 p.
- Wopfner, H (2013) Late Palaeozoic–Early Triassic deposition and climates between Samfrau and Tethys: A review. Geological Society, London, Special Publications, 376(1): 5-32.
- Xiao, S., Liu, W., Li, A., Yang, S., Lai, Z (2010) Pervasive autocorrelation of the chemical index of alteration in sedimentary profiles and its palaeoenvironmental implications. *Sedimentology*, 57(2): 670-676.
- Yang, S. Y., Lim, D. I., Jung, H. S., Oh, B. C (2004) Geochemical composition and provenance discrimination of coastal sediments around Cheju Island in the southeastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 206(1-4): 41-53.
- Zand-Moghadam, H., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Rahimi, B (2013) Petrography and geochemistry of the early-middle Devonian sandstones of the Padeha Formation in the north of Kerman, SE Iran. Implications for provenance. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 83(1): 1-14.
- Zoleikhaei, Y., Mulder, J. A., Cawood, P. A (2022) Evaluating sediment recycling through combining inherited petrogenic and acquired sedimentary features of multiple detrital minerals. *Basin Research*, 34(3): 1055-1083.
- Sedimentary Rocks, Geological Association of Canada, *Geotext*, 4: 39-51.
- Partoazar, H (1995) Permian deposits in Iran. *Treatise on the geology of Iran*. Geol. Surv. Iran, 22, 340 pp. (in Persian)
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1987) Sand and sandstone. Springer Science & Business Media. 572p.
- Poursoltani, M. R., Pe-Piper, G (2020) Diagenetic history and provenance of Devonian terrestrial sandstones at the margin of Gondwana: Padeha Formation, Eastern Alborz, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 204: 104576.
- Roser, B. P., Korsch, R. J (1986) Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *The Journal of Geology*, 94(5): 635-650.
- Roser, B. P., Cooper, R. A., Nathan, S., Tulloch, A. J (1996) Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 39: 1-16.
- Rudnick, R. L., Gao, S., Holland, H. D., Turekian, K. K (2003) Composition of the continental crust. *The crust*, 3: 1-64
- Suttner, L. J., Dutta, P. K (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I, Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Research*, 56(3): 329-345.
- Taheri, A., Jafarzadeh, M., Armstrong-Altrin, J., Mirbagheri, R (2018) Geochemistry of siliciclastic rocks from the Shemshak Group (Upper Triassic–Middle Jurassic), northeastern Alborz, northern Iran: implications for palaeoweathering, provenance, and tectonic setting. *Geological Quarterly*, 62: 522-535.
- Tortosa, A., Palomares, M., Arribas, J (1991) Quartz grain types in Holocene deposits from the Spanish Central System: some problems in provenance analysis. Geological Society, London, Special Publications, 57(1): 47-54.
- Vaziri, S. H., Yao, A (2005) First record of Late Permian radiolarians from Jolfa Region, Northwestern Iran. *Journal of geosciences Osaka City University*, (48): 17-37.
- Verma, S. P., Armstrong-Altrin, J. S (2013) New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chemical Geology*, 355: 117-133
- Verma, S. P., Armstrong-Altrin, J. S (2016) Geochemical discrimination of siliciclastic sediments from active and passive margin settings. *Sedimentary geology*, 332: 1-12.
- Weltje, G. J (1994) Provenance and dispersal of sand-sized sediments: reconstruction of dispersal patterns and sources of sand-sized sediments by means of inverse modelling techniques: unpubl. doctoral dissertation,

Petrography and geochemistry of Doroud formation sandstones in the Zal section, Eastern Azarbaijan: implication on provenance, tectonic setting and paleoweathering

M. Barzegar¹, M. Jafarzadeh^{*2}, A. Najafzadeh³, F. Khaleghi⁴ and R. Mahari⁵

1- Ph. D., student. Dept., of Geology, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran

2-Assist. Prof., Faculty of Earth sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

3, 4- Assist. Prof., Dept., of Geology, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran

5- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Islamic Azad University, Tabriz branch, Tabriz, Iran

* m_jafarzadeh@shahroodut.ac.ir

Received: 2022/3/3 Accepted: 2022/6/15

Abstract

In this study, a combination of petrographic and major element geochemistry of siliciclastic deposits of Lower Permian Doroud Formation in the Zal section in south of Jolfa has been used to investigate the provenance, tectonic setting and paleo-weathering. The thickness of Doroud Formation in Zal section is 112 m consisting of micro conglomerate, red sandstone and shale. Thirteen samples of sorted and medium grained sandstones were examined by point-counting method and 6 samples were examined for determination of their major elements by X-ray fluorescence (XRF) method. The studied samples are frequently sublithic-arenite in composition. The study of the amount and type of monocrystalline and polycrystalline quartz and using of discrimination function, indicate that the parent rocks of these deposits are predominantly metamorphic, felsic igneous rocks as well as sedimentary recycled. The presence of chert in petrographic studies has also confirmed the effect of sedimentary recycling from older formations. Petrographic and geochemical studies also indicate the cratonic origin and tectonic setting of the passive continental margin at the time of sediment deposition of the Doroud Formation. Determination of chemical index of alteration (CIA) indicates intense weathering and humid climate in the provenance area, which is consistent with the paleogeography of the Iran in Permian. It seems that factors such as the a long-distance transport on the Arabian Craton, the recycling of older formations and also the humid climate at the time of the deposition of the Doroud Formation, together, have played significant role at the relatively high maturity of this sandstones.

Keywords: Doroud formation, Provenance, Parent Rock, Sedimentary Recycling, Paleo-weathering.