

پetroگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند پادها در برش آسو، بلوک لوت، خاور ایران مرکزی: کاربردی برای تحلیل خاستگاه

یعقوب نصیری^{۱*}، صدیقه زیرجانی‌زاده^۲، سیدخلیل فروزنده^۳، سمیرا تقدیسی نیک‌بخت^۴ و مصطفی صداقت‌نیا^۵

۱، ۲ و ۴- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد

۳- دانشجوی دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۵- دانشجوی دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: y.nasiri.1365@gmail.com

دریافت: ۹۹/۴/۴ پذیرش: ۹۹/۷/۱۹

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در این پژوهش، پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند پادها (دونین پیشین - میانی) در برش آسو، ۴۰ کیلومتری خاور گناباد واقع در بلوک لوت مورد بررسی قرار گرفته است. سازند پادها در برش مورد مطالعه ۲۱۰ متر ضخامت دارد و از سنگ‌های سیلیسی آواری تشکیل شده است. پس از مطالعه صحرایی تعداد ۳۰ نمونه ماسه‌سنگ متوسط دانه برای مطالعات پتروگرافی و نقطه شماری و ۱۰ نمونه ماسه‌سنگی برای تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی انتخاب شدند. نتایج مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهد که کوارتز تک‌بلور فاز اصلی و کانی‌های زیرکن و تورمالین فاز فرعی را تشکیل می‌دهند. بر اساس داده‌های نقطه شماری، ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها از نوع کوارتزآرنایت و تا حدودی ساب‌لیتارنایت شناسایی شده است. شواهد پتروگرافی از جمله فراوانی کوارتزهای منوکریستالین با خاموشی مستقیم و گردشگی خوب، نبود پلاژیوکلاز و مقدار خیلی کم فلدسپات پتاسیک و کانی‌های فرومنیزین، سیمان سیلیسی رورشدی، حضور دانه‌های زیرکن و تورمالین گردشده موید اشتقاق رسوبات از بخش‌های کراتون داخلی طی چرخه‌های مجدد رسوبی است. علاوه بر آن، استفاده از آنالیز مدال ذرات آواری و نمودارهای $(Qm_{95.5}, F_{0.8}, Lt_{3.6})$ و $(Qt_{99.1}, F_{0.8}, L_0)$ نیز از این منشا حمایت می‌کند. براساس داده‌های ژئوشیمیایی در دیگرام‌های تفکیک کننده تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های سازند پادها بر روی حاشیه قاره‌ای غیرفعال نهشته شده‌اند. این مطالعات نشان می‌دهند که نهشته‌های مورد مطالعه به احتمال زیاد در حد فاصل تبدیل حاشیه ریفتی به حاشیه غیرفعال پالئوتتیس نهشته شده‌اند.

واژگان کلیدی: ژئوشیمی، آنالیز مدال، برخاستگاه زمین‌ساختی، هوازدگی سنگ منشا، سازند پادها

۱- پیشگفتار

ماهوراجو، ۲۰۱۵؛ زمانیان و همکاران، ۲۰۱۹). از این میان موقعیت تکتونیکی و سنگ‌شناسی منطقه منشا مهم‌ترین عوامل در تولید نهشته‌های سیلیسی آواری محسوب می‌شوند (یان و همکاران، ۲۰۱۰؛ خزایی و همکاران، ۲۰۱۸). موقعیت تکتونیکی سنگ‌های سیلیسی آواری بر پایه داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی و از طریق دیگرام‌های تفکیکی قابل تفسیر است (صباغ بجزستانی و همکاران، ۲۰۱۸). موقعیت تکتونیکی سنگ‌های سیلیسی آواری دربرگیرنده همه عواملی است که نقش مهمی در تولید رسوبات و هم‌چنین ریخت‌شناسی و شرایط اقلیمی منطقه منشا بازی می‌کنند.

ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری اطلاعات ارزشمندی را در ارتباط با ناحیه منشا، موقعیت تکتونیکی، آب و هوای دیرینه و تکامل پوسته طی تاریخ زمین‌شناسی ارائه می‌دهد (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شرفی و همکاران، ۱۳۹۷؛ اسیدو و همکاران، ۲۰۱۹؛ پنگ و همکاران، ۲۰۲۰). ویژگی‌های ترکیبی و ژئوشیمیایی سنگ‌های سیلیسی آواری وابسته به عواملی نظیر موقعیت تکتونیکی، سنگ‌شناسی منطقه منشا، شدت هوازدگی، میزان حمل و نقل، فرآیندهای رسوب‌گذاری و دیاژنز است (دیکینسون و سوچک، ۱۹۷۹؛ دیکینسون، ۱۹۸۵؛ باتیا و کروک، ۱۹۸۶؛ ریسر و همکاران، ۲۰۰۵؛ آرماس و همکاران، ۲۰۱۴؛

درجه و عرض‌های $۲۷^{\circ} ۳۴'$ و $۱۹^{\circ} ۳۴'$ درجه از نظر پتروگرافی و ژئوشیمی مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در ۴۰ کیلومتری خاور گناباد و جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد (شکل ۱). موقعیت و راه دسترسی به این منطقه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گناباد نیز نشان داده شده است (شکل ۱). رسوبات آواری سازند پادها در منطقه مورد مطالعه از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل و تناوب ماسه‌سنگ و شیل تشکیل شده که قسمت عمده برش را ماسه‌سنگ‌های متوسط تا ضخیم لایه تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۲ و ۳).

محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیمات ساختاری در شمال بلوک لوت واقع شده است (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ علوی، ۱۹۹۱) (شکل ۱). بلوک لوت با درازای حدود ۹۰۰ کیلومتر به صورت شمالی- جنوبی و عرض حدود ۲۰۰ کیلومتر، شرقی‌ترین بخش خردقاره ایران مرکزی است (اشتوکلین و نبوی، ۱۹۷۳؛ جونگ و همکاران، ۱۹۸۳). فعالیت‌های ماگمایی لوت از ژوراسیک آغاز شده، در کرتاسه نیز وجود داشته و در ترشیری به اوج خود رسیده است، به طوری که سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، به ویژه ائوسن، با ضخامت حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از بلوک را می‌پوشانند (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۶). بلوک لوت مهم‌ترین ایالت فلززایی در خاور ایران می‌باشد. که شامل تنوعی از کانی‌سازی‌های مس (معدن مس- سرب- روی- نقره قلعه‌زری بیرجند) و مس- طلا پورفیری (محدوده اکتشافی شادان و ماهرآباد)، طلا اپی‌ترمال (محدوده اکتشافی هیرد و شیخ‌آباد) و کانی‌سازی رگه‌ای مس- سرب و روی می‌باشد (کریم‌پور و همکاران، ۲۰۰۷؛ ملک‌زاده و همکاران، ۲۰۱۵).

۳- روش مطالعه

در پژوهش انجام شده در منطقه آسو و بر اساس نمونه‌برداری صحرایی ۵۰ نمونه از ماسه‌سنگ‌های سازند پادها در برش مورد مطالعه انتخاب و مطالعه پتروگرافی روی آن‌ها انجام شدند. نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک (تاکر، ۲۰۱۱) و با فواصل یک متری انجام شد، ضمن آن که در مواردی جهت بررسی محیط‌رسوبی و ثبت تغییرات دقیق رخساره‌ای، در فواصل نمونه‌برداری تغییراتی صورت گرفت. جهت آنالیز مدال طی بررسی‌های صحرایی تعداد ۳۰

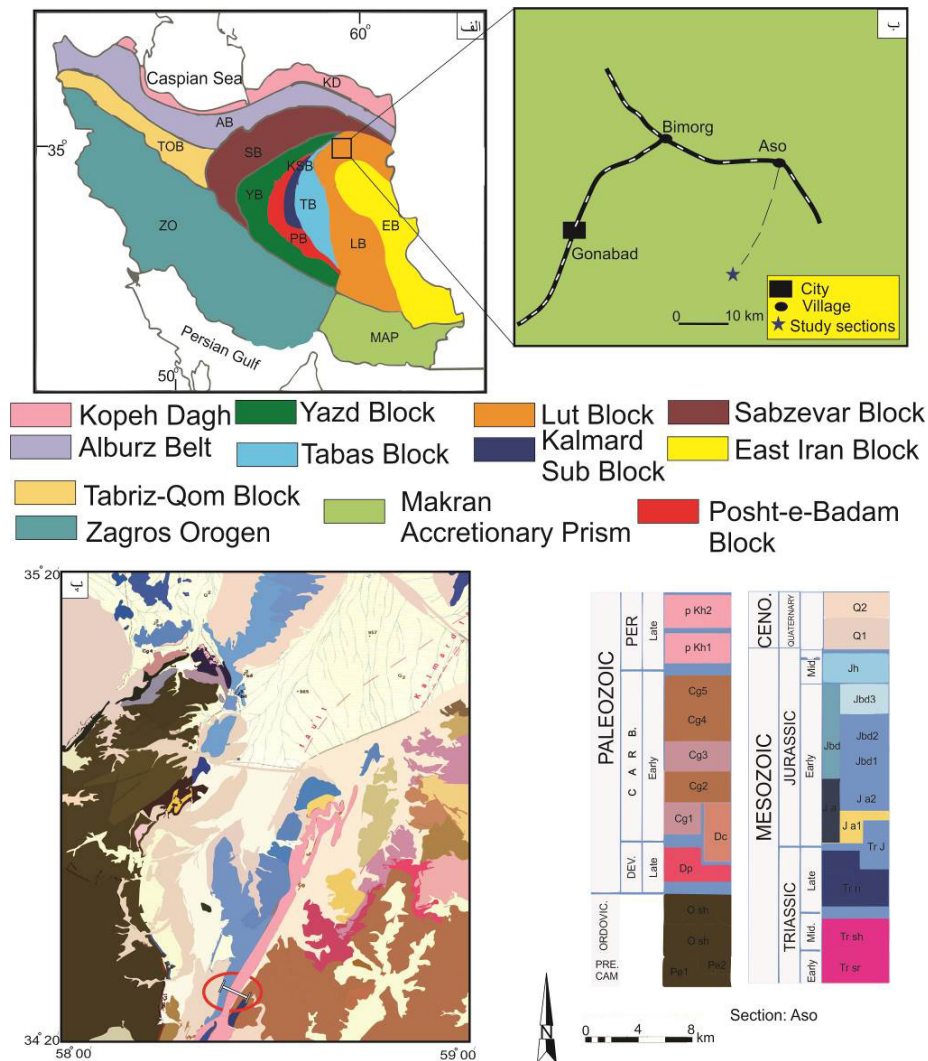
وضعیت و موقعیت صفحه ایران در دوره دونین به گونه‌ای بوده است که رسوبات سازند پادها با سنگ‌شناسی تقریباً مشابه و به صورت گسترده در اکثر نقاط ایران نهشته شده‌اند؛ به طوری که رخنمون‌های این سازند از شمال‌باختر (البرز باختری و آذربایجان)، شمال‌خاور (البرز خاوری و بینالود)، مرکز و هم‌چنین خاور و جنوب‌خاور (طبس و کرمان) ایران گزارش شده است. در بیش‌تر نقاط کشور، این سازند اغلب از ماسه‌سنگ تشکیل شده است، اما به طور محلی سایر نهشته‌های رسوبی مانند کنگلومرا، گلسنگ، دولومیت و تبخیری نیز مشاهده می‌شوند (اهری‌پور و همکاران، ۲۰۱۰؛ زندمقدم و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴). با وجود این، مطالعات انجام شده روی سازند پادها، بیش‌تر متمرکز بر ایران مرکزی و بلوک طبس بوده است، برای مثال حسینی‌برزی و سعیدی (۲۰۱۱) تکتونیک سازند پادها در سمیرکوه را مطالعه کرده‌اند. جایگاه تکتونیکی و وضعیت حوضه رسوبی در قالب جغرافیای دیرینه دونین می‌توانند به عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تغییرات سنگ‌شناسی سازند پادها محسوب شوند؛ لذا مطالعه و مقایسه نهشته‌های سازند پادها در سایر نقاط کشور می‌تواند در بازسازی جغرافیای دیرینه دوره دونین نقش به‌سزایی داشته باشد. خردقاره خاور ایران مرکزی یکی از مناطقی است که در آن سازند پادها از گسترش و تنوع سنگ‌شناسی بالایی برخوردار است. در این مطالعه با استفاده از شواهد پتروگرافی، آنالیز مدال ذرات آواری و ژئوشیمی عناصر اصلی به بررسی برخاستگاه بخش ماسه‌سنگ‌های سازند پادها و هوازدگی سنگ‌منشا آن‌ها پرداخته شده است. از آنجایی که سنگ‌های رسوبی تنها شواهد موجود از پوسته قدیمی فرسایش یافته‌اند (باسو، ۲۰۰۳؛ کندی و همکاران، ۲۰۰۱) بنابراین مطالعات برخاستگاهی می‌تواند اطلاعات مهمی را از سرگذشت زمین‌ساختی بلوک لوت طی دونین نشان دهد.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

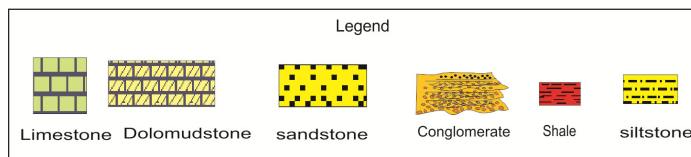
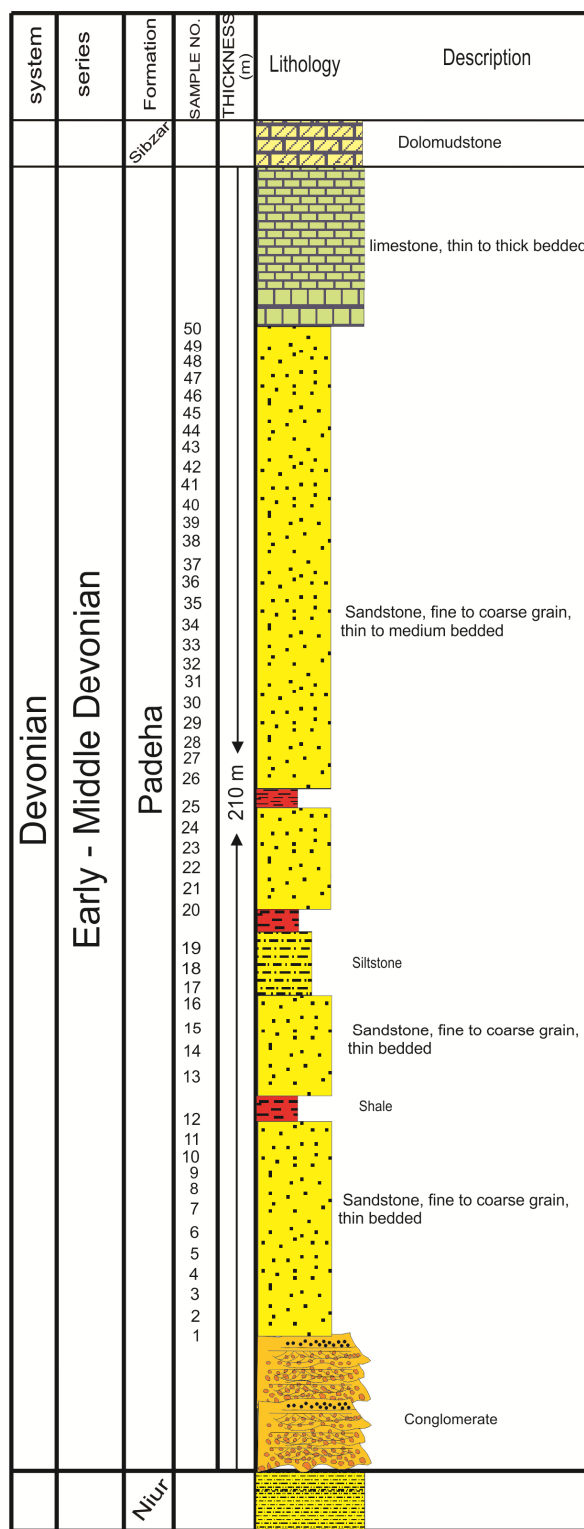
با توجه به اینکه مطالعه‌های خاستگاه سازند پادها در گناباد انجام نشده، در مطالعه حاضر ماسه‌سنگ‌های سازند پادها در برش انتخابی آسو واقع در خاور شهرستان گناباد با مختصات جغرافیایی طول‌های $۴۱^{\circ} ۵۸'$ و $۰۵^{\circ} ۵۸'$

انحلال دانه‌ها در نمونه‌های سنگی توجه شده است. به منظور بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی، پس از تهیه پودر ۱۰ نمونه ماسه‌سنگی متوسط دانه، نمونه‌ها در آزمایشگاه کانساران بینالود توسط دستگاه فلورسانس اشعه ایکس (XRF) مدل (Philips PW 1480 X-ray spectrometer) مورد آنالیز قرار گرفته‌اند (جدول ۲). برای تعیین جایگاه تکتونیکی و شرایط آب و هوایی به روش پتروگرافی و ژئوشیمی از نمودارهای والتز (۱۹۹۴) الف) و ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷) روزر و کرش (۱۹۸۸) اندیس هوازدگی نسبت و یانگ (۱۹۸۲) استفاده شد.

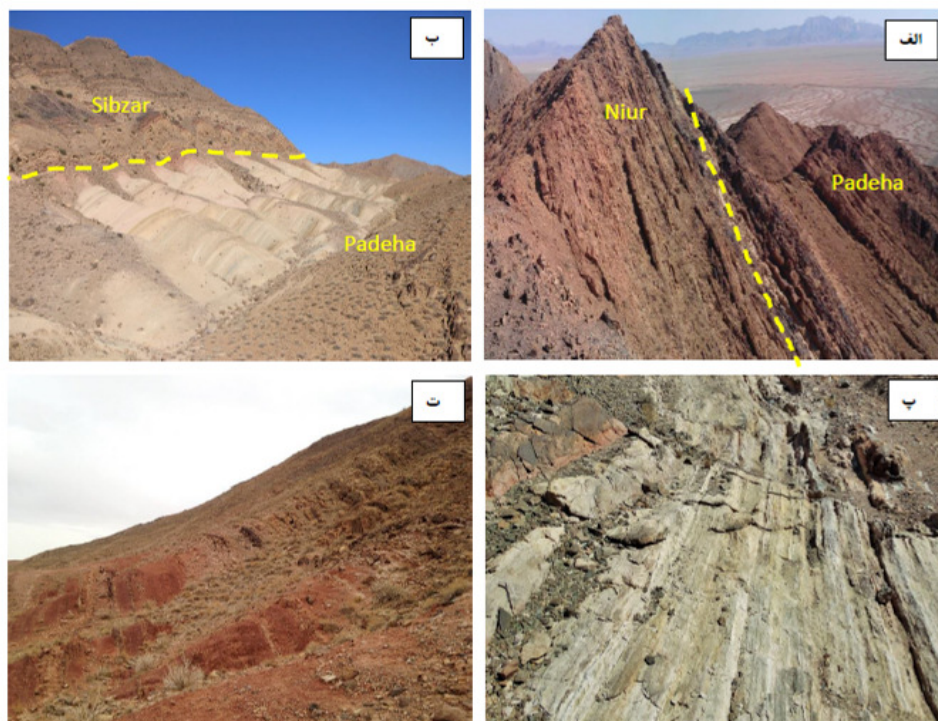
نمونه از ماسه‌سنگ‌های متوسط دانه انتخاب و به طور متوسط ۳۶۰ دانه در هر مقطع به روش گزی-دیکینسون (دیکینسون، ۱۹۷۰) مورد شمارش قرار گرفت. در این روش دانه‌های درون حوضه‌ای در نظر گرفته نشده (زوفه، ۱۹۸۰). با توجه به شمارش نقاط براساس روش گزی-دیکینسون (اینگرسل و همکاران، ۱۹۸۴)، اجزای اصلی و فرعی موجود در این ماسه‌سنگ‌ها شناسایی شده و نام‌گذاری آن‌ها براساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۸۰) انجام گردیده است. از آنجایی‌که فرآیندهای دیاژنزی ممکن است در ترکیب اولیه سنگ‌ها تغییر ایجاد کنند (مک‌براید، ۱۹۸۵)، بنابراین در مرحله نقطه‌شماری ذرات آواری به تأثیرات دیاژنزی از جمله جانشینی و



شکل ۱. الف) نقشه عمومی ایران همراه با زون‌های ساختمانی که موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر روی آن نشان داده شده است. ب) راه‌های دسترسی به منطقه و موقعیت جغرافیایی برش مورد مطالعه بر روی بخشی از نقشه زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰) گناباد (مگنین و همکاران، ۱۹۸۳). منطقه مورد مطالعه با ستاره نشان داده شده است.



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی سازند پادها در برش آسو



شکل ۳. تصاویر صحرایی سازند پادها در برش آسو. الف) مرز زیرین سازند پادها با سازند نیور دید به سمت باختر، ب) مرز بالایی سازند پادها با سازند نیور دید به سمت شمال باختر، پ) لایه‌های ماسه‌سنگی سازند پادها و ت) لایه‌های شیلی و ماسه‌سنگی سازند پادها

۴- پتروگرافی

تقسیم‌بندی انواع دانه‌ها و داده‌های بدست آمده از نقطه‌شماری مقاطع ماسه‌سنگی در جدول ۱ ارائه شده است. به طور معمول مطالعات برخاستگاهی، بر اساس روش‌های پتروگرافی انجام می‌گیرد (کالرس، ۲۰۰۰) و از روی شواهد ترکیبی و بافتی، ویژگی‌های سنگ‌منشا رسوبات بررسی می‌شود (پتی‌جان همکاران، ۱۹۸۷). ماسه‌سنگ‌های سازند پادها دارای جورشدگی و گردشدگی خوبی هستند و فاقد هرگونه ماتریکس هستند. این ماسه‌سنگ‌ها را به طور عمده ذرات کوارتز آواری منوکریستالین دارای خاموشی مستقیم تا موجی با فراوانی ۸۵ تا ۹۷/۵ درصد (میانگین ۹۱/۵ درصد)، کوارتز پلی‌کریستالین (۲ درصد) مقدار کمی فلدسپات (۰/۸٪) و خرده‌سنگ از نوع چرت و کربنات دارای فراوانی ۱ تا ۱۲ درصد (میانگین ۷/۵ درصد) و سیمان سیلیسی رورشدی و سیمان کربناته تشکیل داده‌اند (شکل‌های ۴ و ۵). از کانی‌های سنگین موجود در سنگ می‌توان به تورمالین و زیرکن ریزدانه و گردشده اشاره داشت. بر اساس مطالعات پتروگرافی و آنالیز مودال و براساس دیاگرام مثلثی فولک

(۱۹۸۰) (*QFL*) ماسه‌سنگ‌های سازند پادها در محدوده کوارتزآرنایت و ساب‌لیتارنایت قرار می‌گیرند (شکل ۶).

۴-۱- پتروفاسیس کوارتزآرنایت

فراوان‌ترین پتروفاسیس موجود در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه پتروفاسیس کوارتزآرنایت است، به طوری که در اکثر نقاط نمونه‌برداری شده مشاهده می‌شود. اندازه دانه‌ها در این پتروفاسیس بین ۰/۰۹ تا ۱/۵ میلی‌متر در تغییر بوده و عمدتاً از جورشدگی و گردشدگی متوسط تا خوبی برخوردارند و بنابراین از لحاظ ضریب بلوغ بافتی در محدوده فوق‌بالغ تا بالغ قرار می‌گیرند. کوارتز تک‌بلورین با خاموشی عمدتاً مستقیم تا موجی فراوان‌ترین دانه در این پتروفاسیس است. در اکثر نمونه‌ها فراوانی این ذرات بیش از ۹۷ درصد از کل دانه‌ها است که با انواع مرزهای مماسی و مضرسی در کنار یکدیگر قرار دارند. کوارتزهای چند بلوری نیز به میزان بسیار جزئی (کمتر از ۱ درصد) در این پتروفاسیس شناسایی شده است. این ماسه‌سنگ‌ها حاوی سیمان‌های مختلف سیلیسی و کربناته هستند.

جدول ۱. داده‌های نقطه شماری بدست‌آمده به روش گزی - دیکینسون (مگنین و همکاران، ۱۹۸۳ و دیکینسون، ۱۹۷۰). $Qm-non$: کوارتز تک‌بلورین بدون خاموشی موجی، $Qm-un$: کوارتز تک‌بلورین دارای خاموشی موجی، $Qpq>3$: کوارتزهای چندبلوری با بیش از سه بلور، $Qpq2-3$: کوارتزهای چندبلوری دارای ۲ تا ۳ بلور، Qm : کوارتز تک‌بلوری، Qp : کوارتز چندبلوری، Qt : مجموع دانه‌های کوارتز، K : فلدسپات پتاسیم، Chl : چرت، Lc : خرده کربناته، Ls : خرده رسوبی، Lt : مجموع خرده‌سنگ‌ها و H : کانی سنگین

Sample	$Qm-non$	$Qm-un$	$Qp2-3$	$Qp>3$	Qm	Qp	Qt	K	Chl	Lc	Ls	Lt	H	Sum	Name
1	147	125	0	0	272	7	279	3	7	1	0	1	4	295	Quartzarenite
2	173	110	0	4	283	12	295	1	8	2	0	2	6	304	Quartzarenite
3	148	122	0	5	270	8	278	4	3	2	0	2	4	288	Quartzarenite
4	158	116	0	5	274	11	285	0	6	0	0	0	5	290	Quartzarenite
5	154	130	0	2	284	7	291	2	5	2	0	2	8	303	Quartzarenite
6	163	108	0	3	271	8	279	3	5	3	0	3	4	289	Quartzarenite
7	145	129	0	6	274	10	284	0	4	4	1	5	5	294	Quartzarenite
8	182	120	1	2	302	4	306	0	1	1	0	1	2	309	Quartzarenite
9	148	136	0	2	284	2	286	0	0	0	0	0	2	288	Quartzarenite
10	196	90	0	1	286	2	288	0	1	0	0	0	2	290	Quartzarenite
11	174	120	0	3	294	5	299	0	2	0	0	0	1	300	Quartzarenite
12	170	105	0	4	275	5	280	0	1	0	0	0	1	281	Quartzarenite
13	145	131	0	2	276	3	279	0	1	1	1	1	2	281	Quartzarenite
14	150	123	0	2	273	6	279	0	4	2	2	4	2	285	Quartzarenite
15	172	120	0	0	192	3	195	0	3	0	0	0	4	299	Quartzarenite
16	147	125	0	1	172	1	173	0	0	0	0	0	5	278	Quartzarenite
17	130	141	0	0	271	0	271	0	0	1	1	2	4	277	Quartzarenite
18	154	146	1	2	300	3	303	0	0	2	0	2	3	308	Quartzarenite
19	145	121	0	3	266	4	270	0	1	0	0	0	4	290	Quartzarenite
20	158	115	0	2	253	4	257	0	2	1	2	3	5	285	Quartzarenite
21	138	100	0	2	251	3	254	0	1	33	5	38	5	297	Sublitharenite
22	152	117	0	0	269	2	271	0	2	1	0	1	6	283	Quartzarenite
23	132	112	0	0	244	1	245	0	1	45	6	51	5	301	Sublitharenite
24	121	106	0	1	227	3	230	0	2	47	5	52	4	286	Sublitharenite
25	175	114	0	2	289	3	292	0	1	0	0	0	5	297	Quartzarenite
26	160	141	0	0	301	0	301	0	0	1	1	2	5	308	Quartzarenite
27	156	126	0	2	282	3	286	0	1	2	1	3	4	293	Quartzarenite
28	160	113	0	1	273	1	274	0	0	0	0	0	5	279	Quartzarenite
29	142	104	0	1	246	0	247	0	0	45	5	50	8	305	Sublitharenite
30	122	106	0	2	228	6	234	0	4	37	4	41	5	280	Sublitharenite

جدول ۲. درصد اکسیدی عناصر اصلی در نمونه‌های سنگی توسط آنالیز XRF

S.N	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	MgO	K_2O	TiO_2	MnO	CaO	P_2O_5	Fe_2O_3	Cr_2O_3	LOI
S3	94.45	1.50	0.06	0.19	0.37	0.12	0.05	0.75	0.04	0.75	0.03	1.45
S7	91.96	1.56	0.10	0.46	0.33	0.21	0.10	1.17	0.06	0.54	0.031	3.30
S12	90.95	1.60	0.04	0.30	0.34	0.09	0.06	1.14	0.04	0.84	0.04	4.46
S18	90.77	2.90	0.14	0.10	0.72	0.28	0.06	1.28	0.06	1.20	0.03	1.99
S22	93.51	1.40	0.07	0.78	0.34	0.08	0.08	1.40	0.05	0.20	0.01	2.08
S25	91.10	1.58	0.12	0.57	0.22	0.08	0.10	1.88	0.07	0.27	0.02	3.99
S27	93.02	1.01	0.04	0.08	0.06	0.20	0.11	1.05	0.05	0.58	0.05	3.75
S30	95.01	1.99	0.12	0.06	0.35	0.14	0.05	0.86	0.22	0.56	0.02	0.24
S35	90.32	1.02	0.11	0.40	0.35	0.20	0.12	2.38	0.40	0.34	0.04	4.27
S40	92.18	0.45	0.08	0.01	0.06	0.09	0.04	1.38	1.79	0.99	0.02	1.91

در شبکه بلوری هستند و نسبت به انواع پلوتونیک‌های خاموشی موجی شدیدتر و درجه پلی‌کریستالینیت به بالاتری دارند (باسو، ۱۹۸۵). حمل و نقل طولانی سبب از بین رفتن دانه‌های کوارتز چندبلوری و افزایش کوارتز تک‌بلوری شده است. در نتیجه حضور غالب دانه‌های کوارتزی منوکریستالین با خاموشی مستقیم منشایی گرانیتی را برای نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه

با توجه به فراوانی زیاد دانه‌های کوارتز در نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه، فابریک داخلی و درجه خاموشی این دانه‌ها به عنوان شواهدی از سنگ‌منشا (یانگ، ۱۹۷۶) مورد توجه قرار گرفته است. دانه‌های کوارتز اغلب به صورت منوکریستالین و دارای خاموشی مستقیم تا موجی هستند (شکل‌های ۴ و ۵). به طور معمول کوارتزهای مشتق شده از سنگ‌های دگرگونی دارای نقص بیش‌تری

فلدسپار پتاسیم در مقابل نبود پلاژیوکلاز، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه متعلق به رخساره سنگی کوارتزی (*Quartzose*) در تقسیم‌بندی دیکینسون (۱۹۸۵) هستند. داده‌های تعریف شده حاصل از نقطه‌شماری در نمودارهای مثلثی (*Qm98.5, F0.8, Lt.6*) و (*Qt99.1, F0.8, L0*) (دیکینسون و سوچک، ۱۹۷۹؛ دیکینسون و همکاران، ۱۹۸۳) که به ترتیب بر منشا و مچوریتی تاکید دارند در محدوده کراتون داخلی قرار می‌گیرند (شکل ۸). بر اساس نتایج این دیاگرام‌ها، مهم‌ترین سنگ‌منشا برای ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، پی‌سنگ‌های گنیسی-گرانیتی و رسوبات کوارتزی قدیمی هستند که در نتیجه بالآمدگی^۱ در بخش‌های کراتون داخلی رخمون می‌یابند. ماسه‌سنگ‌های مشتق شده از چرخه‌های کوهزایی در بخش‌های کراتونی، تحت شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب و حمل و نقل طولانی، به سبب فرسایش و تخریب دانه‌های ناپایدار فلدسپات و قطعات سنگی، نسبت به دانه‌های کوارتزی غنی می‌شوند (مهرینگ و مک‌براید، ۲۰۰۷). اگر چه تشکیل کوارتزآرنایت‌ها در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب و طی دوره‌های طولانی هوازگی از چرخه‌های اولیه رسوبی امکان‌پذیر است ولی اغلب محققین بر این باور هستند که تشکیل کوارتزآرنایت‌ها از چرخه‌های مجدد رسوبی حاصل می‌گردد (کرینین، ۱۹۴۰؛ جونز، ۱۹۷۲). ترکیب ماسه‌سنگ‌ها می‌تواند به طور نسبی، بیانگر تاثیرات آب و هوایی باشد (وبل و سد، ۱۹۹۱). گرانتام و ولبل (۱۹۸۸) ضریب هوازگی را به صورت زیر تعریف کرده‌اند:

$$Wi = c.r$$

در این معادله، c نرخ و سرعت هوازگی (آب و هوا) و r مدت زمان اقامت رسوبات در شرایط هوازگی است. در سیستم‌های رسوبی قدیمه میزان c و r بر پایه نمودار ارائه شده توسط ولتر (۱۹۹۴) محاسبه می‌شود. داده‌های نقطه شماری به صورت استاندارد در نمودار $Ln(Q/F)$ در مقابل $Ln(Q/L)$ همگی در محدوده ضریب هوازگی شماره ۴ قرار گرفته‌اند (شکل ۹ الف) که نشان‌دهنده شرایط آب و هوای گرم و مرطوب است. همچنین در نمودار ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) از تقابل نسبت $(Q/F+RF)$ با $(Qp/F+RF)$ همگی داده‌ها در ناحیه با شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب قرار می‌گیرند (شکل ۹ ب).

پیشنهاد می‌کند (بلت، ۱۹۶۷؛ ساتنر و همکاران، ۱۹۸۱). بر همین اساس نتایج پتروگرافی دانه‌های کوارتز در نمودار باسو و همکاران (۱۹۷۵) در ناحیه سنگ‌منشا دگرگونی تا پلوتونیک و در نمودار تورنوسا و همکاران (۱۹۹۱) منشا گرانیته را نشان می‌دهد (شکل ۷). نبود پلاژیوکلازها در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه می‌تواند به سبب ناپایداری فیزیکی و ثبات شیمیایی کم آن‌ها طی چرخه رسوبی و یا هوازگی شیمیایی باشد، هر چند فقدان کانی‌های پلاژیوکلاز در سنگ منشا نیز می‌تواند دلیل دیگر این امر باشد. همواره فرآیندهای رسوبی در محیط‌های حاشیه ساحلی می‌توانند موجب تخریب و حذف بخشی از دانه‌های ناپایدار (مانند فلدسپات‌ها و قطعات سنگی) گردد اما تشکیل کوارتزآرنایت‌ها طی چرخه رسوبی اولیه بدین طریق و در مقیاسی وسیع محتمل به نظر نمی‌رسد (ساتنر و همکاران، ۱۹۸۱). بنابراین فراوانی کوارتزهای گردشده، نبود پلاژیوکلاز، کمی دانه‌های فلدسپار پتاسیم و قطعات سنگی، نشان‌دهنده اشتقاق رسوبات از بخش‌های کراتون داخلی و حمل و نقل طولانی آن‌ها تحت شرایط آب و هوای گرم و مرطوب و نهشته شدن در مناطق حاشیه قاره‌ای غیرفعال است (کروک، ۱۹۷۴؛ تیلر و مک‌لنن، ۱۹۸۵؛ پوتر، ۱۹۸۶).

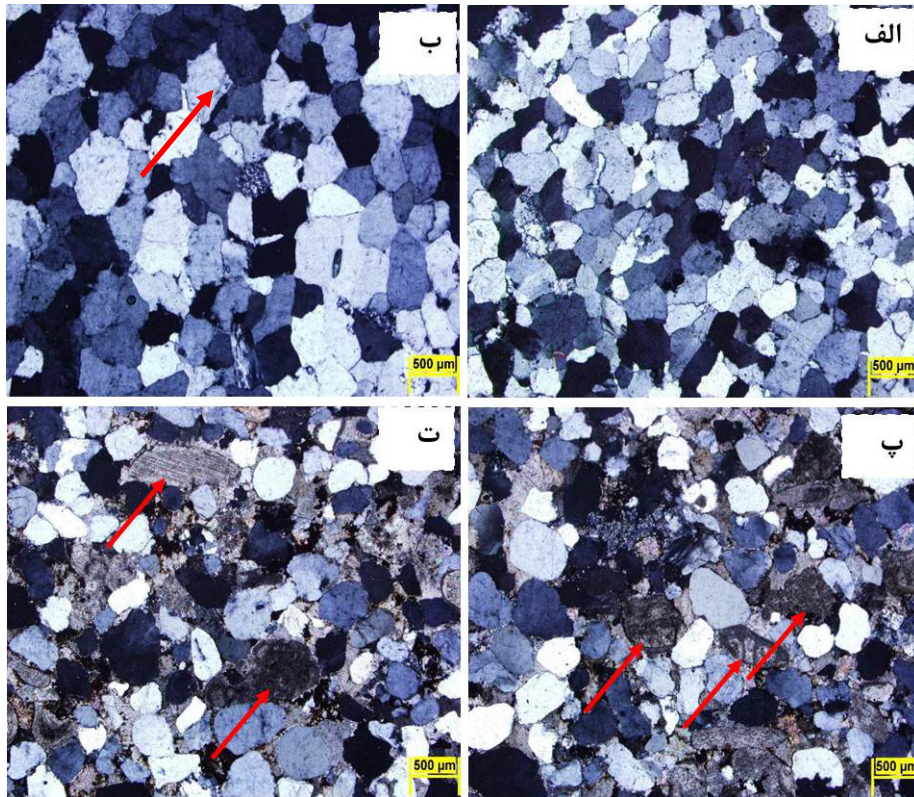
۴-۲- پتروفاسیس ساب‌لیتارنایت

خرده‌سنگ‌ها اغلب از نوع رسوبی است. مقدار خرده‌سنگ‌ها بین ۱۲ تا ۲۰ درصد در تغییر می‌باشد که به طور متوسط فراوانی در حدود ۱۴ درصد است. کوارتزها غالباً منوکریستالین بوده (شکل ۴). کوارتزها در اینجا نیز درصدی بین ۸۰ تا ۸۸ درصد را شامل شده که به طور متوسط فراوانی در حدود ۷۸ درصد را دارا هستند. از سیمان‌های مشاهده شده می‌توان به سیمان کربناتی، هماتیتی و سیلیسی اشاره کرد. از لحاظ مچوریتی بافتی این پتروفاسیس اغلب ایم‌مچور و گاهی ساب‌مچور است. کانی‌های فرعی نیز شامل هماتیت مسکویت می‌باشد.

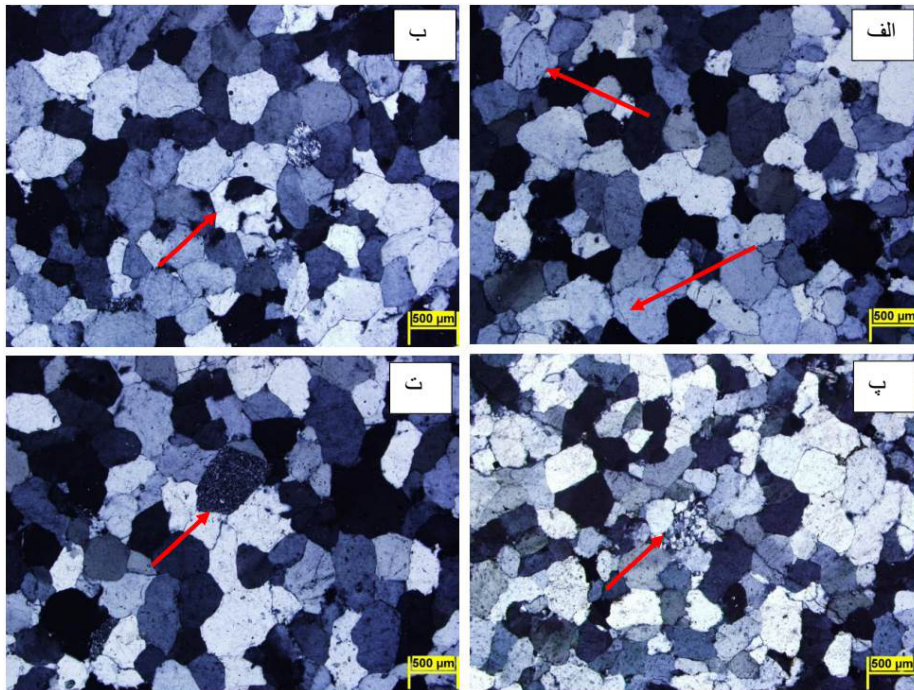
۴-۳- آنالیز مدال ذرات آواری

با توجه به فراوانی ذرات کوارتز منوکریستالین (*Qm95.5*)، (جدول ۱) ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از مچوریتی ترکیبی بالایی برخوردار بوده و با توجه به نسبت بالای کوارتز منوکریستالین به پلی‌کریستالین و مقدار کم

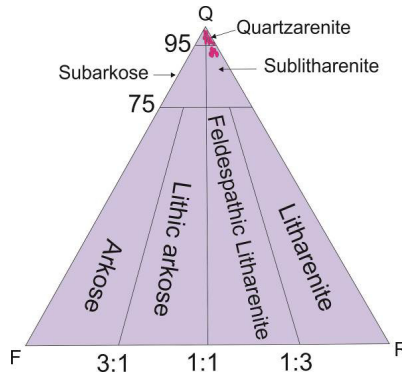
¹Uplift



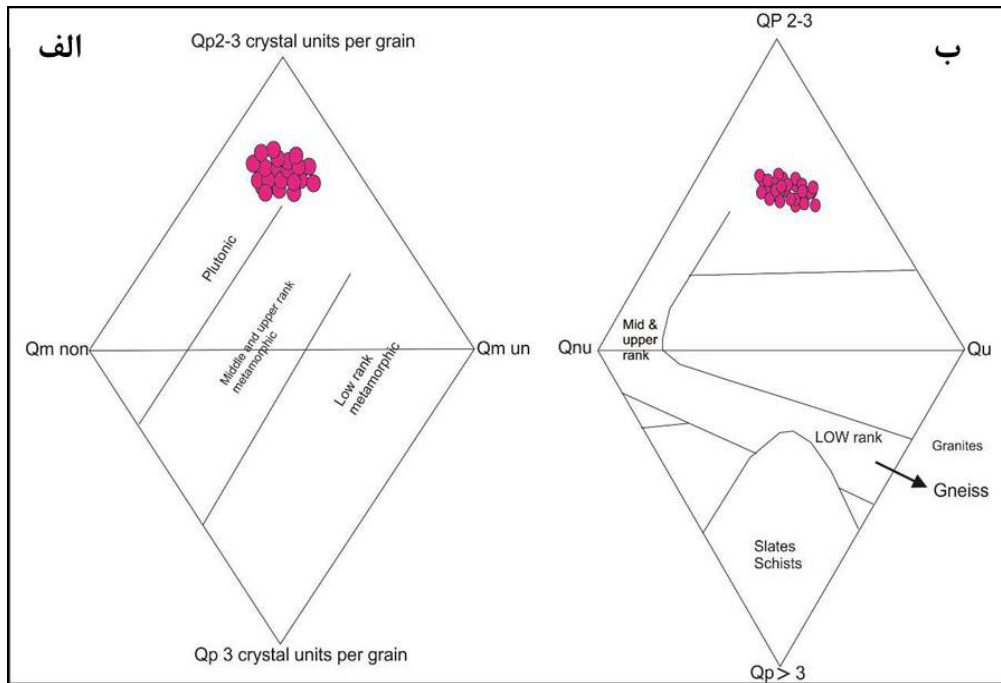
شکل ۴. تصاویر پتروفاسیس‌های سازند پادها: الف) کوارتز تک‌بلوری با خاموشی مستقیم تا موجی در پتروفاسیس کوارتزاریت (*XPL*)، ب) کوارتز تک‌بلوری با خاموشی مستقیم و سیمان سیلیسی رورشدی (*XPL*)، ج و د) پتروفاسیس ساب‌لیتاریت (*XPL*)



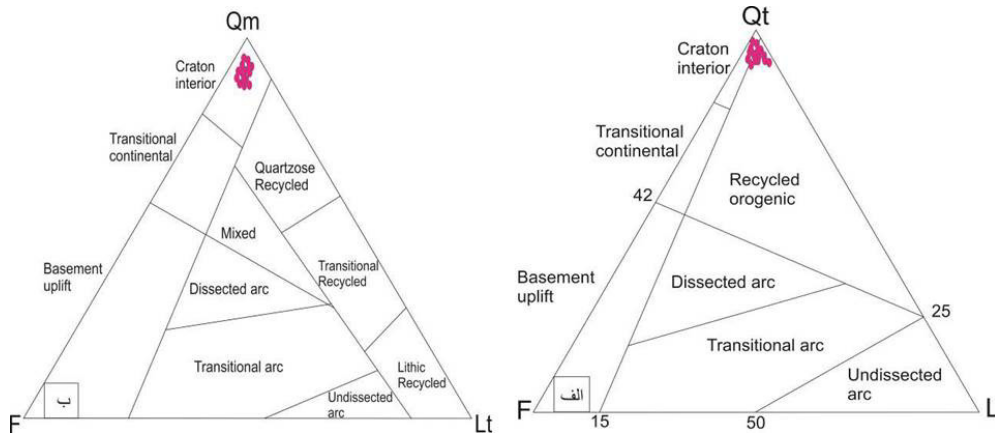
شکل ۵. تصاویر پتروفاسیس‌های سازند پادها: الف) کوارتز تک‌بلوری با خاموشی مستقیم و سیمان رورشدی (پیکان قرمز رنگ) (*XPL*)، ب) کوارتز تک‌بلوری با خاموشی مستقیم و چند بلوری (پیکان قرمز رنگ) سیمان سیلیسی (*XPL*)، ج) کوارتز چند بلوری (پیکان قرمز رنگ) و د) چرت (پیکان قرمز رنگ) (*XPL*)



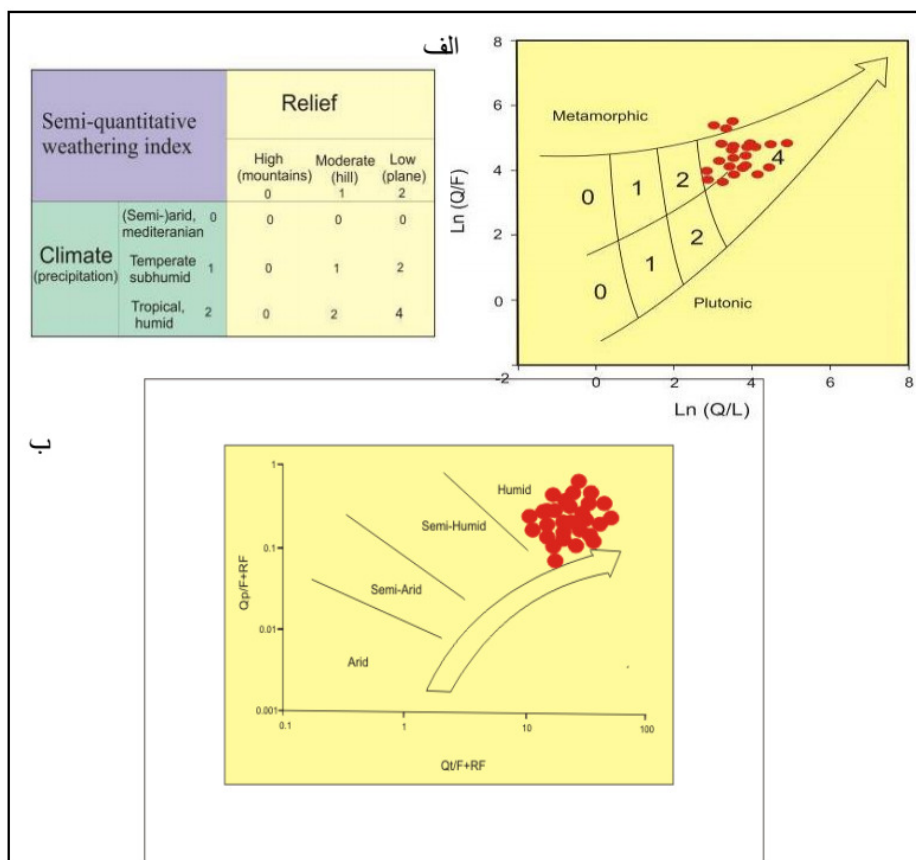
شکل ۶. پتروفاسیس‌های سازند پادها در نمودار مثلثی فولک (۱۹۸۰)، اکثراً در بخش کوآرتزآرنایتی به مقدار خیلی کم در بخش ساب‌لیتارنایت قرار می‌گیرند.



شکل ۷. الف) دیاگرام باسو و همکاران (۱۹۷۵) و ب) دیاگرام تور توسا و همکاران (۱۹۹۱) به ترتیب سنگ منشأ پلوتونیک - دگرگونی و گرانیتی را برای ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند.



شکل ۸. قرارگیری داده‌های تعریف شده نقطه‌شماری در محدوده کراتون داخلی در نمودارهای الف) $QtFL$ و ب) $QmFLt$ (دیکینسون و همکاران، ۱۹۸۳؛ دیکینسون و سوچک، ۱۹۷۹)



شکل ۹. در نمودار والتز (الف) و ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) و (ب) داده‌های نقطه شماری در ناحیه با شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب قرار می‌گیرند.

۵- ژئوشیمی

۵-۱- طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها

داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های پادها بر روی نمودار پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷) در محدوده کوارتزآرنایت قرار می‌گیرند (شکل ۱۰) که با نتایج پتروگرافی منطبق است.

۵-۲- دیاگرام تابع تمایزی

روزر و کرش (۱۹۸۸) دیاگرام دو تابع تمایزی را برای شناسایی رسوبات با منشأ آذرین مافیک، حدواسطه، فلسیک و رسوبی کوارتزی ارائه کردند. این نمودار بر اساس اکسیدهای $K, Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na$ چهار منشأ مذکور را از یکدیگر جدا می‌سازد. داده‌های اکسیدی نمونه‌های مورد مطالعه در دیاگرام تابع تمایزی، در ناحیه با منشأ رسوبی کوارتزی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱) که نشان از چرخه‌های مجدد رسوبی دارد که با داده‌های پتروگرافی هم‌خوانی دارد.

۵-۳- دیاگرام $SiO_2 - K_2O / Na_2O$

بر اساس دیاگرام $SiO_2 - K_2O / Na_2O$ (شکل الف ۱۲) مقادیر SiO_2 در برابر نسبت K_2O / Na_2O محیط حاشیه قاره‌ای غیرفعال را نشان می‌دهند. نسبت بالای K_2O / Na_2O (13.59) در نمونه‌های ماسه‌سنگی بیانگر حضور فلدسپات‌های پتاسیم در مقابل نبود پلاژیوکلازها و تهی‌شدگی ماسه‌سنگ‌ها از سدیم ($Na_2O \leq 0.03$) است. ناپایداری بیش‌تر پلاژیوکلازها نسبت به فلدسپات‌های پتاسیم‌دار در برابر فرآیندهای هوازدگی و فرسایش می‌تواند دلایلی برای حضور کم آن‌ها باشد.

۵-۴- دیاگرام‌های $TiO_2 - Fe_2O_3 + MgO$ و

$Al_2O_3 / SiO_2 - Fe_2O_3 + MgO$

مقادیر عنصری نمونه‌های مورد مطالعه در دیاگرام $TiO_2 - Fe_2O_3 + MgO$ در نزدیکی و خارج از محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ب ۱۲) که با

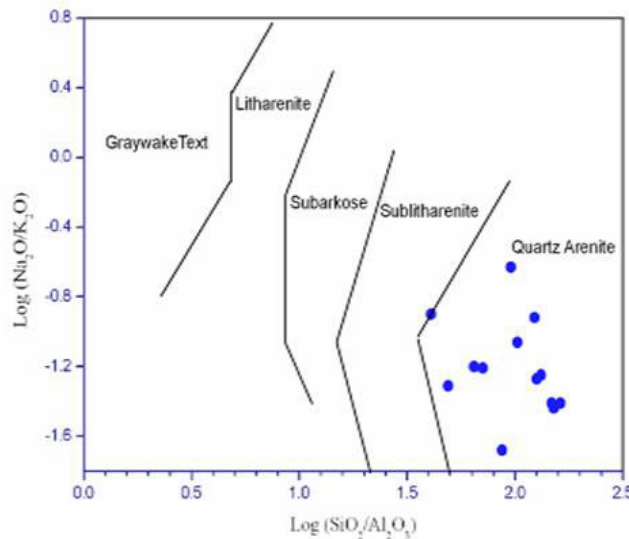
در مقابل افزایش میزان کوارتز می‌تواند دلیل کاهش زیاد نسبت Al_2O_3/SiO_2 در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه باشد.

۵-۵- دی‌گرام $SiO_2 - K_2O+Na_2O - TiO_2+Fe_2O_3+MgO$

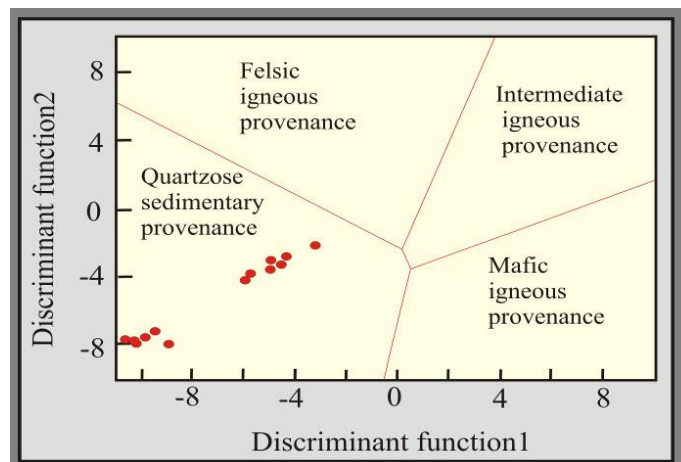
مقادیر اکسید عناصر اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی در دی‌گرام کرونیگر (۱۹۹۴) در مجاورت و یا داخل محدوده حاشیه قاره‌ای غیرفعال قرار می‌گیرند (شکل ت ۱۲) که با داده‌های پتروگرافی هم‌خوانی دارد.

داده‌های پتروگرافی هم‌خوانی دارد. بیرون‌افتادگی نقاط از این محدوده، ناشی از تهی‌شدگی تیتانیوم در نمونه‌های سنگی است. از آنجایی‌که عنصر تیتانیوم عمدتاً در سنگ‌های مافیکی و لکانیکی و پلوتونیک غنی‌شدگی پیدا می‌کند (اشیگا و همکاران، ۱۹۹۹) مقدار کم این عنصر را می‌توان به منشأ رسوبی مربوط دانست.

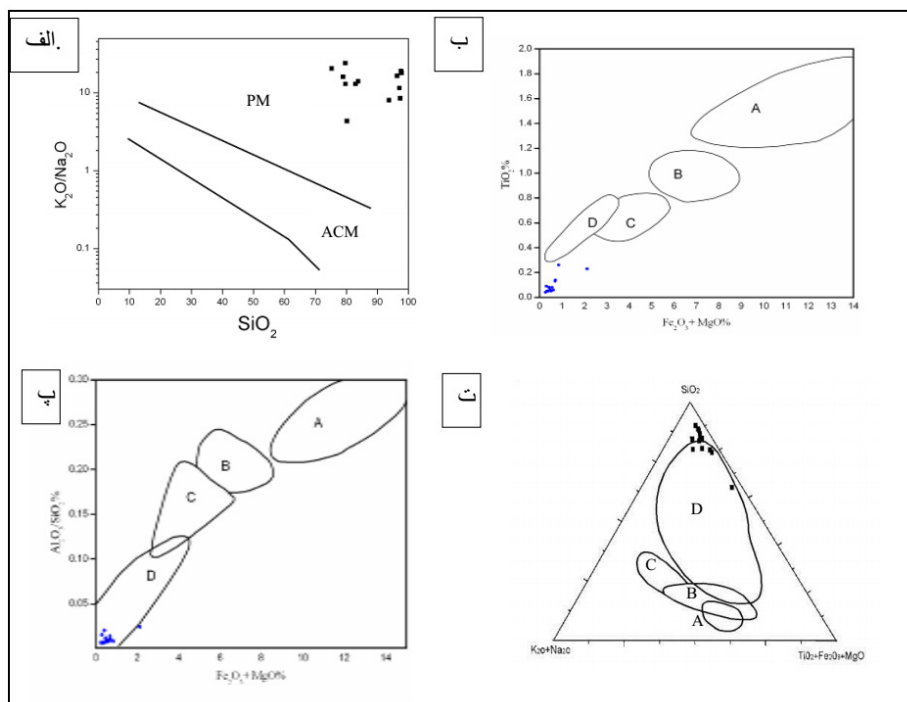
در دی‌گرام $Al_2O_3/SiO_2-Fe_2O_3+MgO$ نمونه‌ها در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار گرفته است (شکل پ ۱۲). از نکات قابل توجه در این دی‌گرام کاهش چشمگیر نسبت آلومینیوم به سیلیسیم است ($Al_2O_3/Si_2O = 0.01$). حذف فلدسپات‌ها و قطعات سنگی و نبود کانی‌های رسی،



شکل ۱۰. داده‌های ژئوشیمی در نمودار $SiO_2/Al_2O_3 - Na_2O/K_2O$ (پتی‌جان و همکاران، ۱۹۸۷) در بخش کوارتز آرنایت قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱. دی‌گرام تابع تمایزی با استفاده از مقادیر اکسیدی عناصر اصلی روز و کرش (۱۹۸۸). نمونه‌های ماسه‌سنگی در بخش خاستگاه رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۲. الف) $SiO_2 - K_2O / Na_2O$ (روسر و کروسک، ۱۹۸۶). نمونه‌های ماسه‌سنگی با مقادیر بالایی از SiO_2 و K_2O / Na_2O در محدوده حاشیه قاره‌ای غیرفعال قرار گرفته‌اند. ب) $TiO_2 - Fe_2O_3 + MgO$ (باتیا، ۱۹۸۳). نمونه‌ها در نزدیکی محدوده حاشیه قاره‌ای غیرفعال قرار دارند. تهی‌شدگی نمونه‌ها از عناصر تیتانیم-آهن و منیزیم در این دیاگرام مشهود است. پ) $Al_2O_3 / SiO_2 - Fe_2O_3 + MgO$ (باتیا، ۱۹۸۳)، نمونه‌ها در محدوده مربوط به حاشیه قاره‌ای غیرفعال جای گرفته‌اند. ت) دیاگرام (کرونبرگ، ۱۹۹۴) $SiO_2 - K_2O + Na_2O - TiO_2 - Fe_2O_3 + MgO$.

A- جزایر قوسی آتشفشانی، B- جزایر قوسی قاره‌ای، C- حاشیه قاره‌ای فعال و D- حاشیه قاره‌ای غیرفعال

مقدار عددی بالای بدست آمده ($CWI' = 98$) بیانگر هوازگی شیمیایی بالای سنگ‌منشا رسوبی است. این میزان هوازگی با مشاهدات پتروگرافی مبنی بر حذف دانه‌های پلاژیوکلاز و کمی دانه‌های فلدسپات پتاسیم و قطعات سنگی مطابقت دارد (امیره، ۱۹۹۱). داده‌های CIA نزدیک خط $Al_2O_3 - (CaO + Na_2O)$ پلات شده‌اند که نشان‌دهنده شرایط آب و هوایی مرطوب تا نیمه‌مرطوب است که این شرایط با دیاگرام ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) مشابه است (شکل ۱۳).

۶- جغرافیای دیرینه

ورقه ایران طی زمان‌های پرکامبرین و پالئوزویک در حاشیه شمالی ابر قاره گندوانا قرار داشته و به صفحه‌های افریقا و عربستان متصل بوده است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸؛ روبان و همکاران، ۲۰۰۷). پوسته قاره‌ای ایران در زمان نوپروتروزویک تا اوایل کامبرین منعکس‌کننده وجود کمان قاره‌ای با عنوان کادومین در حاشیه شمالی گندوانا

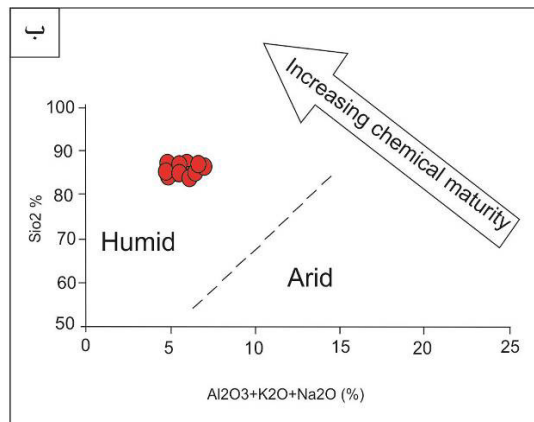
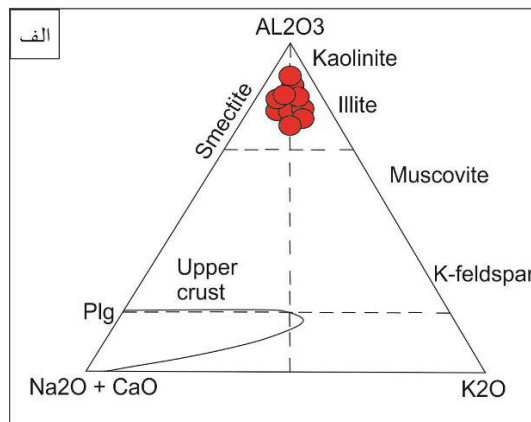
۵-۶- هوازگی سنگ‌منشا

تعیین میزان هوازگی در سنگ‌های رسوبی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی، از ارتباط بین عناصر قلیایی با قلیایی خاکی انجام می‌گیرد (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲). از اندیس‌های معمول هوازگی می‌توان به اندیس هوازگی نسبت و یانگ (۱۹۸۲) یا $CIA: [Al_2O_3 / Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O]. 100$ و یا هارنویز $IW: [Al_2O_3 / Al_2O_3 + CaO + Na_2O]. 100$ اشاره داشت. نکته قابل توجه در محاسبه اندیس هوازگی، قرارگیری تنها مقادیر CaO موجود در کانی‌های سیلیکاتی در این فرمول‌ها است. با توجه به حضور سیمان‌های کربناتی و میزان CaO متغیر، مقادیر حاصله از CWI و CIA دارای خطای زیادی می‌گردند، بنابراین برای حذف اثر نامطلوب سیمان کربناتی، در محاسبه اندیس هوازگی از فرمول کالرز (۲۰۰۰) استفاده گردیده است.

$$CWI' = [Al_2O_3 / Al_2O_3 + Na_2O]. 100$$

پادها در برش مورد مطالعه نیز موید سنگ‌منشا فلسیک، جایگاه تکتونیکی ریفتی و حاشیه غیرفعال برای منطقه خاستگاه این ماسه‌سنگ‌هاست. با توجه به مشاهده زیرکن‌های آواری به سن حدود ۴۵۰ میلیون سال در ماسه‌سنگ‌های سازند پادها در برش خوش‌بیلاق توسط مقدم و همکاران (۲۰۱۷)، فرسایش سنگ‌های پیش از دونین به ویژه سنگ‌های ماگمایی اوایل اردوویسین (سازند سلطان میدان) و به دنبال آن رسوب‌گذاری در حاشیه پالئوتتیس نیز می‌تواند بعنوان سنگ مادر دیگر ماسه‌سنگ‌های سازند پادها در نظر گرفته شود. داده‌های به دست آمده از هوازدگی ناحیه منشا بیان کننده تاثیر آب و هوای گرم و مرطوب تا کمی مرطوب است. براساس مطالعات متعدد صورت گرفته بر روی روند کلی δO_{18} دریایی با استفاده از فسیل‌های کربناته، طی دونین زیرین آب و هوای گرم و مرطوب حاره‌ای حکمفرما بوده که در دونین میانی به تدریج خنک‌تر می‌گردد (ویزر و پروکف، ۲۰۱۵؛ جاکیمسکی و همکاران، ۲۰۰۹). انجام تفسیر آب و هوایی به دست آمده هماهنگی خوبی با داده‌های جغرافیای دیرینه نشان می‌دهد. به گونه‌ای که خرده صفحه ایران در فواصل زمانی دونین زیرین تا میانی در حاشیه شمالی قاره گندوانا در عرض‌های جغرافیایی ۱۵ تا ۳۰ درجه قرار داشته است (باقری و اشتامپفلی، ۲۰۰۸). این تفسیر با شواهد پتروگرافی که بیان‌کننده جورشدگی ترکیبی و بافتی زیاد ماسه‌سنگ‌ها که عمدتاً دارای کوارتزهای رسوبی و جورشده و مقادیر بسیار اندک خرده‌های ناپایدارند منطبق است.

است که بعدها تحت تاثیر ریفتینگ قرار گرفته است. با توجه به زمان بازشدگی اقیانوس پالئوتتیس از اوایل اردوویسین، رسوبات هم زمان با این بازشدگی در فواصل زمانی اردوویسین و سیلورین تشکیل شده‌اند (بربریان و کینپ، ۱۹۸۱؛ درخشی و قاسمی، ۲۰۱۵). طبق نظر اشتامپفلی و همکاران (۱۹۹۱) و بولین (۱۹۹۱)، مراحل تشکیل اقیانوس پالئوتتیس به سه بخش بالآآمدگی حرارتی پوسته در پروتروزویک پسین، ریفتینگ در پالئوزویک پیشین و فرونشینی حرارتی در دونین میانی و فوقانی تقسیم می‌شوند. از این رو نهشته‌های سازند پادها به سن دونین زیرین- میانی ممکن است در حدفاصل تبدیل حاشیه ریفتی به حاشیه غیرفعال پالئوتتیس تشکیل شده باشند. به عقیده زندهمقدم (۲۰۱۳) گسل‌های مختلف مورب لغز ایجاد شده در حوضه ریفتی پالئوتتیس طی زمان‌های اردوویسین تا اوایل دونین، بالآآمدگی و فرورفتگی‌های متعددی را سبب شده‌اند که هر قطعه بالآآمده می‌تواند نقش سنگ مادر را برای رسوبات سازند پادها داشته باشد. وجود دانه‌های زیرکن آواری با سن ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلیون سال در ماسه‌سنگ‌های سازند پادها در برش خوش‌بیلاق نشان‌دهنده ورود موارد آواری از سنگ‌های گرانیتی کراتون عربستان به عنوان سنگ مادر دیگر رسوبات سازند پادها است (شارلند و همکاران، ۲۰۰۱). تجزیه و تحلیل جهت جریان دیرینه در زون البرز طی زمان دونین توسط پژوهشگران مختلف از جمله شرفی و همکاران (۲۰۱۸) نیز ورود رسوبات از کراتون عربستان را تایید می‌کند. نتایج مطالعه حاضر بر اساس داده‌های ژئوشیمی و پتروگرافی ماسه‌سنگ‌های سازند



شکل ۱۳. الف) پلات داده‌های ماسه‌سنگ پادها بر روی نمودار سه‌تایی $Al_2O_3-(CaO + Na_2O)-K_2O$ (برگرفته از نسبیت و یانگ، ۱۹۸۴) و ب) بلوغ شیمیایی ماسه‌سنگ‌های سازند پادها بوسیله پلات SiO_2 در مقابل $Al_2O_3 + K_2O + Na_2O$ (ساتر و دوتا، ۱۹۸۸)

۷- نتیجه‌گیری

نتایج نقطه‌شماری و درصدهای محاسبه شده به منظور تعیین سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ‌های سازند پادها، ترکیب پتروگرافی کوارتزآرنایت و ساب‌لیتارنایت را مشخص کرد. با توجه به میزان نسبت کوارتز به مجموع فلدسپات و کوارتز در ماسه‌سنگ‌های سازند پادها که بالای ۹۷ درصد است و هم‌چنین ویژگی‌های ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها سنگ منشا آذرین فلسیک را سنگ مادر اصلی این نهشته‌ها در نظر گرفت. داده‌های حاصل از نقطه‌شماری ماسه‌سنگ‌های سازند پادها و استفاده از نمودارهای $QtFL$ و $QmFLt$ خاستگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های سازند پادها را کراتون‌های پایدار نشان می‌دهند. استفاده از ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها جایگاه تکتونیکی حاشیه غیرفعال قاره‌ای را برای این نمونه‌ها تایید می‌کند. با توجه به جغرافیای دیرینه در منطقه بالآمدگی تکتونیکی و فرسایش بستر گرانیته کادومین و هم‌چنین ورود موارد آواری از سنگ‌های گرانیته کراتون عربستان را می‌توان سنگ مادر دیگر رسوبات سازند پادها در نظر گرفت. نقطه‌شماری ماسه‌سنگ‌های مطالعه شده و مشخص کردن نسبت مجموع کوارتز به میزان فلدسپات و خرده‌سنگ در برابر کوارتز پلی‌کریستالین و چرت روی فلدسپات و خرده‌سنگ برای بررسی شرایط آب و هوایی در منطقه منشا نشان‌دهنده شرایط آب و هوایی نیمه‌مرطوب در منطقه منشا سازند پادها است. نقاط بدست آمده بر روی نمودارهای آب و هوا هوازگی متوسط تا زیاد را به ترتیب برای نهشته‌های یاد شده مشخص و وجود شرایط آب و هوایی نیمه‌مرطوب تا مرطوب را در زمان تشکیل پادها تایید می‌کنند که با داده‌های جغرافیایی دیرینه و قرار داشتن ایران در عرض‌های جغرافیایی ۱۵ تا ۳۰ درجه هماهنگی خوبی دارد.

تشکر و قدردانی

از داوران محترم این نشریه که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- حسینی، م.، جعفرزاده، م.، طاهری، ع.، زندمقدم؛ ح (۱۳۹۸) پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی سیلیسی-آواری
- سازند پادها دربرش خوش‌بیلاق، البرز شرقی: کاربردی برای تحلیل خاستگاه. نشریه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی. شماره ۷۵(۲)، ص ۱-۲۴.
- شرفی، م.، موسوی‌حرمی، ر.، محبوبی، الف.، جعفرزاده، م (۱۳۹۷) پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند جیرو، کاربرد در تعیین خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۱۲، ص ۱-۲۴.
- سعیدی، الف.، ر.، محبوبی، الف.، موسوی‌حرمی، س.، ر.، محمودی‌قرایی، م.، ح (۱۳۹۷) برخاستگاه سازند سیلیسی آواری پسته‌لیق (پالتوسن زیرین) در برش چهلچله شمال شرق ایران. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۱۱، ص ۱-۲۴.
- Aharipour, R., Moussavi, M. R., Mosaddegh, H., Mistiaen, B (2010) *Facies features and paleoenvironmental reconstruction of the Early to Middle Devonian syn-rift volcano-sedimentary succession (Padeha Formation) in the Eastern-Alborz Mountains, NE Iran, Facies*, 56 : 279-294.
- Alavi, M (1991) *Tectonic map of the Middle East. Geological Survey of Iran. Tehran.*
- Amireh, B. S (1991) *Mineral composition of the Cambrian-Cretaceous Nubian series of Jordan: provenance, tectonic setting and climatological implication. Sedimentary Geology*, 71: 99-119.
- Armas, P., Moreno, C., Sánchez, M. L., González, F (2014) *Sedimentary palaeoenvironment, petrography, provenance and diagenetic inference of the Anacleto Formation in the Neuquén Basin, Late Cretaceous, Argentina. Journal of South American Earth Sciences*, 53: 59-76.
- Asiedu, D. K., Agoe, M., Amponsah, P. O., Nude, P. M., Anani, C. Y (2019) *Geochemical constraints on provenance and source area weathering of metasedimentary rocks from the Paleoproterozoic (~2.1 Ga) Wa-Lawra Belt, southeastern margin of the West African Craton. Geodinamica Acta*, 31 (1): 27-39.
- Bagheri, S. and Stampfli, G. M (2008) *The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: new geological data, relationships and tectonic implications. Tectonophysics*, 451(1-4): 123-155.
- Basu, A (2003) *A perspective on quantitative provenance analysis. In: Valloni, R., Basu, A. (Eds.), Quantitative Provenance Studies in Italy, Memorie Descrittive della Carta Geologica dell'Italia*, 61: 11 - 22.
- Basu, A (1985) *Reading provenance from detrital quartz. In: Zuffa, G. G. (Ed.), Provenance of*

- Association of Petroleum Geologists Bulletin, 63: 2164–2182.
- Dickinson, W. R (1985) *Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones*. In: *Provenance of Arenites* (eds. G. G. Zuffa): 333–363. Springer, Dordrecht (Reidel Publishing Company).
- Dickinson, W. R., Suczek, C. A (1979) *Plate tectonics and sandstone compositions*. AAPG Bulletin, 63: 2164–2182.
- Fleming, E., Flowerdew, M. J., Smyth, H. R., Scott, R. A., Morton, A. C., Omma, J. E., Frei, D., Whitehouse, M. J (2016) *Provenance of Triassic sandstones on the southwest Barents Shelf and the implication for sediment dispersal patterns in northwest Pangaea*. *Marine and Petroleum Geology*, 78: 516–535.
- Folk, E (1980) *Petrography of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publishing Company, 182 pp.
- 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 Petrology*, 58: 219–227.
- Hosseini-Barzi, M., Saeedi, M (2011) *Tectonic Provenance of Padeha Formation Sandstones in Samirkooch Section, Central Iran: with Reference to Influence of Diagenetic Processes on Sandstones Composition*, *Scientific Quarterly Journal Geosciences*, 20(78): 147–158. [In Persian with English abstract].
- Ishiga, H., Dozen, K., Sampei, Y (1999) *Geochemical constraints on marine invasion and provenance change related to the opening of the Japan Sea: an example from the Lower Miocene shales in the Hoda section, Shimane Peninsula, SW Japan*, *Journal of Asian Earth Sciences*, 17: 443–457.
- Joachimski, M. M., Breisig, S., Buggisch, W., Talent, J. A., Mawson, R., Gereke, M., Morrow, J. R., Day, J., Weddige, K (2009) *Devonian climate and reef evolution: insights from oxygen isotopes in apatite*. *Earth and Planetary Science Letters*, 284: 599–609.
- Jones, P. C (1972) *Quartzarenite and litharenite facies in the fluvial forland deposits of the Trenchard group (Westphalian), Forest of Dean, England*, *Sedimentary Geology*, 8: 177–198.
- Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Hidarian Shahri, M. R., Askari, A (2007) *Mineralization, alteration, and geochemistry of Hired Au-Sn prospect area, South Khora-san province, Iran* *J Crystallogr Miner*, 15: 67–90 (in Persian with English abstract).
- Khazaei, E., Mahmoudy-Gharaie, M. H., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Taheri, J (2018) *Petrography, Major and Trace Elemental Geochemistry of the Ordovician-Arenites*, *Reidel Publishing Company*, 407: 231–247.
- 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 Petrology*, 45: 873–882.
- Berberian, M., King G. C. P (1981) *Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran*, *Canadian Journal Earth Sciences*, 18: 210–265.
- Bhatia, M. R (1983) *Plate tectonics and geochemical composition of sandstones*, *Journal of Geology*, 91: 611–627.
- Blatte, H (1967) *Provenance determination and recycling of sediments*, *Journal of Sedimentary Petrology*, 37: 1031–1034.
- Boulin, J (1991) *Structures in southwest Asia and evolution of the eastern Tethys*, *Tectonophysics*, 196: 211–268.
- Condie, K. C., Lee, D., Farmer, G (2001) *Tectonic setting and provenance of the Neoproterozoic Unit Mountain and Big Cottonwood group, northern Utah: constraints from geochemistry, Nd isotopes, and detrital modes*, *Sedimentary Geology*, 142: 443–464.
- Crook, K. A. W (1974) *Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variations in flysch arenites (graywackes)*. In: *Dott, R.H. Jr., Shaver, R.H. (Eds.), Modern and ancient geosynclinal sedimentation*, *Society for Sedimentary Geology Special Publication*, 19: 304–310.
- Cullers, R. L (2000) *The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implication for provenance and metamorphic studies*, *Lithos*, 51: 181–203.
- Derakhshi, M., Ghasemi, H (2015) *Soltan Maidan Complex (SMC) in the eastern Alborz structural zone, northern Iran: magmatic evidence for Paleotethys development*, *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 849–866.
- Dickinson W. R., *Interpreting detrital modes of greywacke and arkose*, *Journal of Sedimentary Petrology*, 40: 695–707.
- Dickinson, W. R (1985) *Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones*. In: *Zuffa, G. G. (Ed.), Provenance of Arenites*, *Reidel Publishing Company*, 407: 333–363.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. P (1983a) *Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting*, *Geological Society of America Bulletin*, 94: 222–35.
- Dickinson, W. R., Suczek, C (1979) *Plate tectonics and sandstone composition*, *American*

- Potter, P. E., *South America and a few grains of sand: Part 1- beach sands*, *Journal of Geology*, 94: 301-319.
- Rieser, A. B., Neubauer, F., Liu, Y., Ge, X (2005) *Sandstone provenance of north-western sectors of the intracontinental Cenozoic Qaidam basin, western China: tectonic vs. climatic control*. *Sedimentary Geology*, 177: 1-18.
- Roser, B. P., Korsch, R. J (1986) *Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio*, *Journal of Geology*, 94: 635-650
- Roser, B. P., Korsch, R. J (1988) *Provenance signature of sandstone-mudstone suite determined using discriminate function analysis of major element data*, *Chemical Geology*, 67: 119-139.
- Ruban, D. A., Al-Husseini, M., Iwasaki, Y (2007) *Review of Middle East Paleozoic plate tectonics*, *GeoArabia*, 12: 35-56.
- Sabbagh Bajestani, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Nadjafi, M (2018) *Petrography and geochemistry of sandstones succession of the Qal'eh Dokhtar Formation (Middle-Upper Jurassic), East Central Iran: implications for provenance, tectonic setting and palaeoweathering*. *Journal of African Earth Sciences*, 147: 523-535.
- Sharafi, M., Moussavi-Harami, S. R. Mahboubi, A. and Jafarzadeh M (2018) *Petrography and Geochemistry of the sandstones of the Geirud Formation in the Central Alborz: Application for Provenance and Tectonic setting*. *Journal of Applied Sedimentology*, 6: 1-24. [In Persian with English abstract].
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Hevard, A. P., Horbury, A. D., Simmons, M. D (2001) *Arabian Plate Sequence Stratigraphy*, *GeoArabian, Special Publication*, 2: 1-270.
- Stampfli, G., Marcoux, J., Baud, A (1991) *Tethyan margins in space and time*, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleecology*, 87: 373-409.
- Suttner, L. J., Basu, A., Mack, G. M (1981) *Climate and the origin of quartz arenites*, *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 1235-1246.
- Suttner, L. J., Dutta, P (1986) *Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy*, *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 329-345.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M (1985) *The Continental Crust: its Composition and Evolution*, Blackwell, Oxford 312.
- Tortosa, A., Palomares, M., Arribas, J (1991) *Quartz grain types in Holocene deposits from Spanish Central System: some problems in provenance analysis*. In: Morton AC, Todd SP, Haughton PDW, (Eds.). *Developments in Sedimentary Provenance Studies, Special Publication Geological Society*, 57: 47-54.
- Silurian Siliciclastics in North of Tabas Block, Central Iran: Implications for Provenance and Paleogeography*. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 29(2): 129-142.
- Kroonenberg, S. B (1994) *Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments*, *Proceedings of the 29th International Geological Congress Part A*, 69-81.
- Krynine, P. D (1940) *Petrology and geneses of the third Bradford Sand*, *Pennsylvanian State College Mineral Industries Experiments Station Bulletin*, 29, 134pp.
- Magnien, A., Salahshurian, M., Ternet, Y (1983) *Geological Map of Iran. 1:250,000 Roum*, *Geological Survey of Iran*.
- Mahavaraju, J (2015) *Geochemistry of Late Cretaceous sedimentary rocks of the Cauvery Basin, South India: constraints on paleoweathering, provenance, and end Cretaceous environments*. *Chemostratigraphy*, 8: 185-214.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M. H., Stern, C. R (2015) *The Khopik porphyry copper prospect, Lut Block, Eastern Iran: Geology, alteration and mineralization, fluid inclusion, and oxygen isotope studies*, *Ore Geology Reviews*, 65: 522-544.
- McBride, E. F (1985) *Diagenetic processes that affect provenance determination in sandstone*. In Zuffa G. G. (Ed.), *Provenance in Arenites*, *Reidel Publishing Company*, 407: 95-113.
- Mehring, J. L., McBride, E. F (2007) *Origin of modern quartzarenite beach sands in a temperate climate, Florida and Alabama, USA*, *Sedimentary Geology*, 201: 432-445.
- 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.
- Nesbitt, H. W., Young G. M (1982) *Early Proterozoic climate and plate motions inferred from major element chemistry of lutites*, *Nature*, 299: 715-717.
- Ogg, J. G., Ogg, G. M., Gradstein, F. M (2016) *A Concise Geologic Time Scale*. Elsevier, 229 pp.
- Peng, Y., Zhang, Y., Xing, E., Wang, L (2020) *Provenance and tectonic significance of the Zhongwunongshan Group from the Zhongwunongshan Structural Belt in China: insights from zircon geochronology*. *Open Geoscience*, 12: 25-43.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1987) *Sand and Sandstone*, 2nd Ed, Springer, New York, 553 pp.

- Veizer, J., Prokoph, A (2015) Temperatures and oxygen isotopic composition of Phanerozoic oceans. *Earth-Science Reviews*, 146: 92–104.
- Velbel, M. A., Saad, M. K (1991) Palaeoweathering or diagenesis as the principal modifier of sandstone framework composition? A case study from some Triassic rift-valley redbeds of eastern North America. In: Morton AC, Todd SP, Haughton PDW, (Eds.) *Development in sedimentary provenance studies*, Geological Society of London. Special Publication, 57: 91-99.
- 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. *Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht*, 121, 208 pp.
- Yan, Z., Wang, Z., Chen, J., Yan, Q. and Wang, T (2010) Detrital record of Neoproterozoic arc-magmatism along the NW margin of the Yangtze Block, China: U–Pb geochronology and petrography of sandstones. *J. ASI. Earth Sci.* 37: 322–334.
- Young, S. W (1976) Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks, *Journal of Sedimentary Petrology*, 46: 595–603.
- Zamanian, E., Kanehbad, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A (2019) Geochemistry of shales of the Qadir Member (Nayband Formation, Upper Triassic), East Central Iran (Tabas Block): implications for provenance and palaeogeography. *Geological Quarterly*, 63 (3): 603–618.
- Zand-Moghadam, H., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A (2014) Sequence stratigraphy of the Early-Middle Devonian succession (Padeha Formation) in Tabas Block, East Central Iran: Implication for mixed tidal flat deposits, *Palaeoworld*, 23: 31-49.
- Zand-Moghadam, H., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Bavi, H (2013) Comparison of tidalites in siliciclastic, carbonate, and mixed siliciclastic-carbonate Systems: examples from Cambrian and Devonian deposits of East-Central Iran, *ISRN Geology*, 1-21.
- Zuffa, G. G (1980) Hybrid arenites: their composition and classification, *Journal of Sedimentary Petrology*, 50: 21-29.