

# ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند لالون در مقطع باهمو، ایران مرکزی: بانگرشی بر سنگ‌مادر، شرایط هوازدگی قدیمه و جایگاه زمین‌ساختی

نجمه اعتماد سعید<sup>۱</sup> و محبوبه حسینی برزی<sup>(۲)</sup>

۱. کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه شهید بهشتی

۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۱۶

تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۱۱

## چکیده

به منظور روشن سازی برخاستگاه، جایگاه زمین‌ساختی و شرایط هوازدگی پیشین، ۱۲ نمونه‌ی ماسه‌سنگی سازند لالون با سن کامبرین پیشین، در مقطع باهمو، بلوک پشت بادام، ایران مرکزی، از نظر عناصر اصلی مورد بررسی قرار گرفتند. مقایسه عناصر اصلی با میانگین پوسته قاره‌ای بالایی نشان داد که به دلیل فرآیند‌های پس از رسوبگذاری و یا فقدان سنگ‌های منشا حاوی پلاژیوکلاز سدیم دار، تنها میزان  $\text{Na}_2\text{O}$  نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی تخلیه شده است. مقادیر CIA و PIA (اندیس شیمیایی آلتراسیون و اندیس آلتراسیون پلاژیوکلاز) در این ماسه‌سنگ‌ها و دیاگرام A-CN-K، درجه هوازدگی را در بدنه اصلی سازند، متوسط و در کوارتزیت‌های راسی، شدید معرفی می‌نماید. این شواهد نشان می‌دهند که آب و هوا در طی نهشت سازند لالون از نیمه خشک تا مرطوب تغییر کرده است. به علاوه اندیس تنوع ترکیبی در این ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد که فرآیند چرخه مجدد در کوارتزیت‌های راسی شدید بوده است. داده‌های شیمیایی و استفاده از دیاگرام‌های تفکیک‌کننده حاکی از سنگ‌مادر کوارتزی و فلسیک برای این ماسه‌سنگ‌ها و جایگاه حاشیه غیر فعال قاره‌ای است. توزیع عناصر اصلی نیز با حاشیه غیر فعال مطابقت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** جایگاه زمین‌ساختی، ژئوشیمی، سنگ‌مادر، لالون، هوازدگی پیشین.

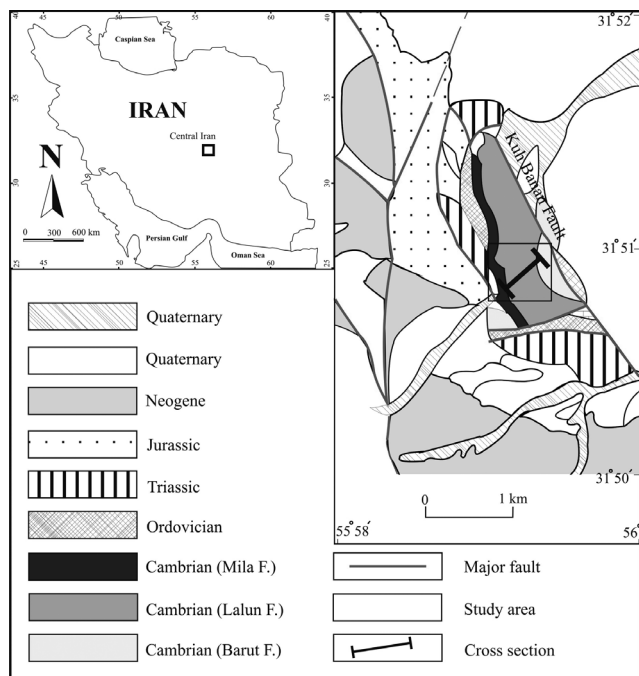
## مقدمه

سنگ زیرین (۴۹۸ m)، واحد شیلی با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ (۳۵ m) و واحد ماسه‌سنگی کوارتزیت بالایی (۵۰ m) تشکیل شده است (آقناباتی، ۱۳۸۵). مقطع مورد مطالعه از سازند لالون به ضخامت ۵۵۰ متر، در شرق روستای باهمو، نزدیکی شهر بهاباد و در حد فاصل دو سازند باروت و میلا (شکل ۱) واقع شده است. بر پایه تقسیم‌بندی ایران به حوضه‌های رسوبی - ساختاری جداگانه، این مقطع بخشی از خرد قاره ایران مرکزی و بلوک پشت بادام به شمار می‌رود. این بلوک میان‌گسل پوشیده نائین - کوهبنان در شرق و گسل پشت بادام در غرب واقع شده است. ویژگی اساسی بلوک پشت بادام، رخنمون‌های دگرگونی منسوب به پرکامبرین به همراه سنگ‌های آتش‌فشانی و ماگمایی با برخاستگاه کافتی، در ردیف‌های پرکامبرین پسین و کامبرین پیشین است. این‌طور به نظر می‌رسد که پدیده کافتی شدن از ویژگی‌های این بلوک باشد (آقناباتی، ۱۳۸۵). با وجود گستردگی زیاد سازند لالون، منشاء این ماسه‌سنگ‌ها به خوبی شناخته نشده است. به عقیده آقناباتی (۱۳۸۵)، به سبب شواهد سنگ‌شناسی مانند وجود گارنت، آپاتیت، گلوکونیت و

ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی تابع پیچیده‌ای از متغیرهایی مانند ترکیب سنگ‌مادر، هوازدگی، حمل، جورشدگی فیزیکی، تمرکز کانی‌های سنگین و دیاژنز است. بنابراین می‌توان از ترکیب شیمیایی کلی سنگ‌های رسوبی آواری به عنوان ابزاری موثر جهت شناخت فاکتورهایی که خواص رسوبات را در طی رسوبگذاری و بعد از آن کنترل می‌کنند، استفاده نمود (McLennan et al., 1990; Bock et al., 1994; Condie et al., 1995). مطالعات ژئوشیمیایی در سنگ‌های رسوبی آواری مکمل خوبی برای مطالعات سنگ‌شناسی، به ویژه زمانی که داده‌های سنگ‌شناسی مبهم هستند و یا زمانی که فرآیندهای زمین‌شناسی، کانی‌شناسی اولیه را تخریب کرده باشند محسوب می‌شوند (Cullers, 1994, 1995).

سازند لالون از گسترده‌ترین سازند‌های کامبرین پیشین در ایران و کشورهای همجوار است. آسرتو (Assereto, 1963) برش‌الگوی این سازند را برای اولین بار در دهکده لالون (البرز مرکزی) اندازه‌گیری و نام‌گذاری کرده است. در این محل، سازند لالون از سه واحد ماسه

\* نویسنده مرتبط



شکل ۱- موقعیت برش مورد مطالعه بر روی نقشه زمین شناسی (سهیلی و مهدوی، ۱۳۷۰).

فسفات، این ماسه سنگ ها را به فرسایش توده های گرانیتی و سنگ های دگرگونی نسبت می دهند. هدف از این مطالعه، شناسایی نوع سنگ مادر احتمالی، جایگاه زمین ساختی و شرایط هوازدگی پیشین ماسه سنگ های سازند لالون در ایران مرکزی با استفاده از شواهد ژئوشیمیایی مربوط به عناصر اصلی می باشد. امید است که نتایج حاصل از این مطالعه، حلقه ای از مطالعات گسترده جغرافیای دیرینه پالئوزویک پسین ایران مرکزی باشد.

## روش مطالعه

در این پژوهش تعداد ۱۷۰ نمونه ماسه سنگی تازه از سازند لالون در برش باهمو جهت مطالعه جمع آوری شده و مورد مطالعه پتروگرافی قرار گرفته اند. از بین این نمونه ها ۱۲ نمونه ماسه سنگ ریز دانه (۱۰ نمونه از ماسه سنگ های سازنده اصلی بدنه و ۲ نمونه از کوارتزیت راسی) به نمایندگی از کل سازند به منظور مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی، پس از پودر شدن در دانشگاه شهید بهشتی، به آزمایشگاه Acme کشور کانادا فرستاده شده و توسط دستگاه پلاسمای القایی جفتی طیف سنجی نشری<sup>۱</sup> مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج به دست آمده برای این ۱۲ نمونه، در جدول ۱ مشاهده می شود.

جدول ۱- نتایج حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی در ۱۲ نمونه ماسه سنگی سازند لالون. نمونه ۶۵ به منظور بررسی صحت داده ها، دوبار مورد آنالیز قرار گرفته است. نتایج بسیار نزدیک مشاهده شده در تکرار آنالیز این نمونه، نشان دهنده دقت بالای این آزمایشگاه می باشد. نمونه های SF-LA 134 و SF-LA 137 مربوط به کوارتزیت سفید رنگ راس سازند می باشند.

SAMPLES	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI	TOT/C	TOT/S	SUM
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SF-LA 005	73.18	8.07	1.86	1.28	4.37	0.08	4.88	0.39	0.12	0.04	0.02	5.6	1.25	0.07	99.9
SF-LA 029	70.67	10.18	4.5	1.01	2.31	0.09	6.09	1.05	0.31	0.04	0.013	3.6	0.58	0.02	99.86
SF-LA 033	74.49	10.47	2.6	0.87	1.59	0.09	6.15	0.53	0.21	0.02	0.01	2.8	0.38	0.01	99.83
SF-LA 040	68.36	6.91	3.04	2.04	7	0.07	3.85	0.42	0.14	0.08	0.012	8	1.97	0.02	99.93
SF-LA 047	76.46	8.84	1.99	1.21	2.25	0.09	4.95	0.38	0.12	0.03	0.01	3.5	0.61	0.01	99.83
SF-LA 054	72.62	12.12	3.1	0.93	0.71	0.1	6.73	0.63	0.21	0.01	0.012	2.6	0.16	<.01	99.78
SF-LA 065	75.63	7.55	3.41	0.94	2.98	0.07	4.02	0.59	0.16	0.04	0.009	4.4	0.79	0.01	99.8
RE SF-LA 065	75.7	7.56	3.43	0.94	3.01	0.07	4.03	0.57	0.14	0.04	0.011	4.3	0.79	0.01	99.81
SF-LA 072	80.35	6.57	2.28	0.73	2.27	0.07	3.54	0.32	0.11	0.03	0.013	3.5	0.61	0.02	99.78
SF-LA 080	71.52	6.88	2.99	1.16	6.16	0.06	3.39	0.37	0.1	0.04	0.032	7.2	1.54	0.02	99.91
SF-LA 099	82.74	6.19	4.64	0.4	0.4	0.06	2.26	0.29	0.12	0.13	0.008	2.6	0.16	0.01	99.85
SF-LA 134	94.76	2.79	0.16	0.12	0.1	0.02	0.79	0.23	0.03	0.01	0.004	0.8	0.04	0.01	99.81
SF-LA 137	98.6	0.47	0.22	0.02	0.06	0.02	0.12	0.06	0.02	<.01	0.002	0.3	0.03	0.01	99.89
STANDARD SO-18/CSC	57.9	14.17	7.65	3.37	6.36	3.73	2.15	0.7	0.82	0.41	0.555	1.9	3.12	4.14	99.72

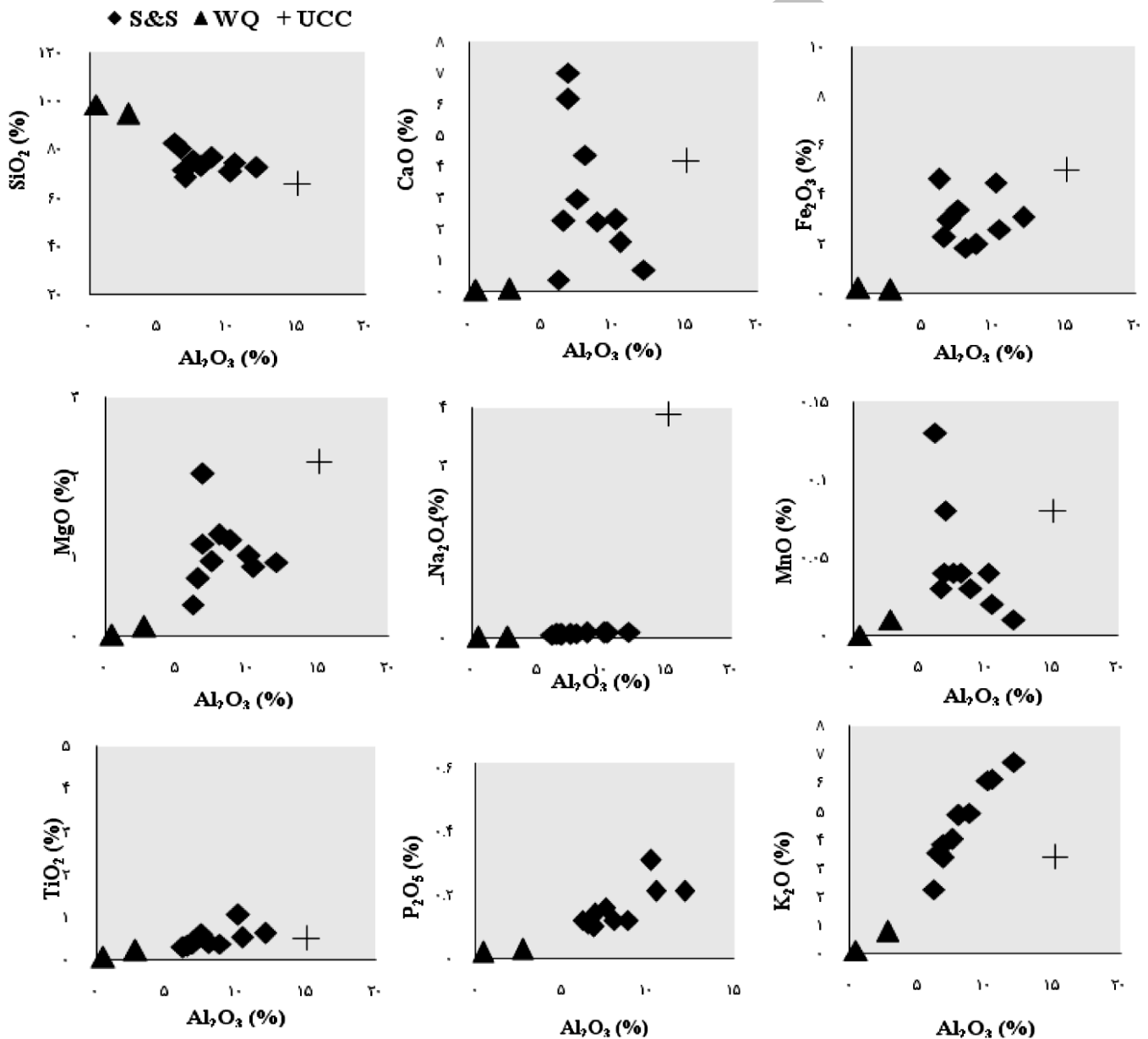
## بحث

### پetroگرافی

طبق مطالعات اولیه صورت گرفته بر روی ۱۷۰ مقطع نازک ماسه سنگی توسط میکروسکوپ نوری، کانی‌های تشکیل دهنده این ماسه سنگ‌ها به ترتیب فراوانی به صورت زیر می‌باشند:

کانسی کوارتز از نوع کوارتزهای تک بلور پلوتونیک با خاموشی مستقیم تا موجی شدید به مقدار بیشتر و همین‌طور کوارتزهای چند بلور متامورفیک (Folk, 1980) و کوارتزهای رسوبی مجدد انتقال یافته با سیمان کوارتز رو رشدی فرسایشی به میزان کم تر، فراوان‌ترین جزء آواری مشاهده شده در ماسه سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشند که با نزدیک تر شدن به سمت بخش‌های بالاتر سازند بر فراوانی آن

افزوده می‌شود. دومین جزء آواری فراوان در ترکیب ماسه سنگ‌های برش مورد مطالعه را قطعات سنگی (به ترتیب فراوانی: قطعات سنگی رسوبی از نوع چرت، ماسه سنگ، سیلتستون و قطعات شیلی؛ قطعات دگرگونی بیشتر از نوع قطعات سنگی دگرگون شده مانند شیل‌های دگرگونی، اسلیت، فیلیت، شیسست و قطعات رسوبی-دگرگونی و قطعات سنگی ولکانیکی) تشکیل می‌دهند. فلدسپارها به ترتیب فراوانی شامل فلدسپارهای پتاسیم دار، میکروکلین و به میزان کم تر پلاژیوکلاز، سومین جزء تشکیل دهنده ماسه سنگ‌های مورد مطالعه می‌باشند. از کانی‌های فرعی در ماسه سنگ‌های مورد مطالعه می‌توان به میکاها و کانی‌های سنگین اپک و کانی‌های سنگین شفاف مانند زیرکن و با فراوانی کم تر اپیدوت اشاره کرد. ماسه سنگ‌های مورد



شکل ۲- بررسی تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به  $Al_2O_3$ . داده‌های UCC مربوط به پوسته‌ی قاره‌ای بالایی می‌باشند (Taylor and McLennan, 1985). ماسه سنگ‌های سازنده بدنه اصلی سازند لالون؛ WQ: کوارتز آرنایت‌های سفید رنگ راسی. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، به جز  $Na_2O$ ، سایر عناصر در محدوده UCC قرار می‌گیرند.

ماسه سنگ های مورد مطالعه (به استثنای کوارتزیت های راسی) با وجود ترکیب لیتارنایتی (چرت آرنایت) میزان بالای  $K_2O$  را نشان می دهند (جدول ۱). بالا رفتن میزان  $K_2O$  در ماسه سنگ ها به دو علت رخ می دهد (Fedo et al., 1995):

۱- تبدیل کانی های رسی آلومینیوم دار (مانند کائولینیت) به ایلیت.

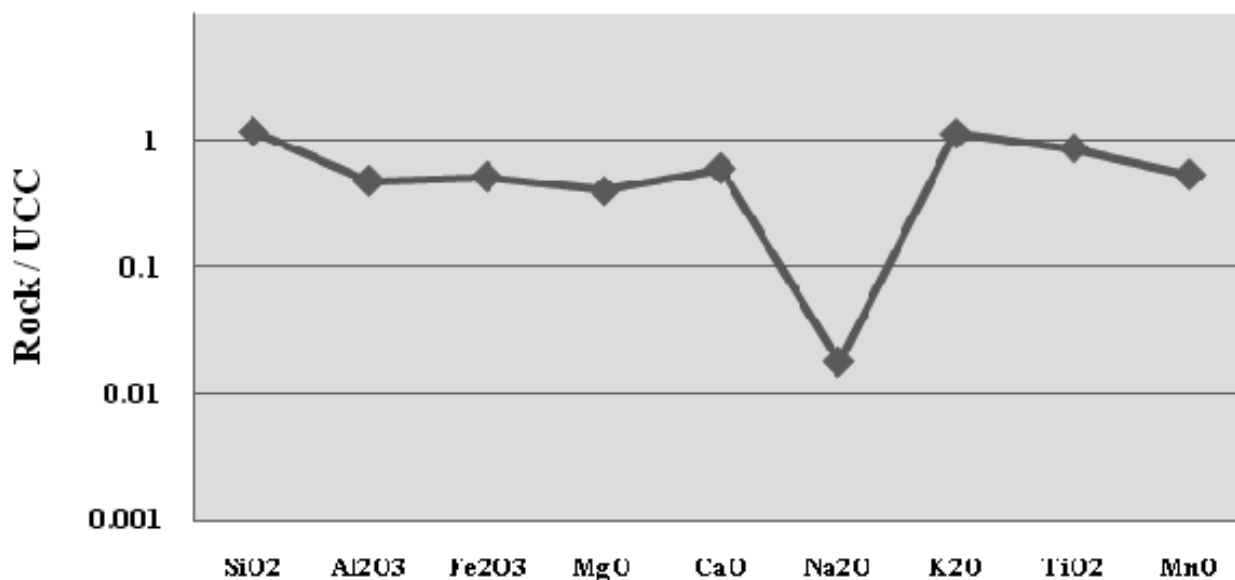
۲- تبدیل پلاژیوکلاز به فلدسپار پتاسیم.

همچنین به عقیده پتی جان و همکاران (۱۹۸۷)، میزان بالای K و فراوانی آن نسبت به Na در ماسه سنگ ها نشان دهنده فراوانی بیشتر میکا نسبت به فلدسپار در ماسه سنگ های بدون رس و فراوانی ایلیت نسبت به مونت موریلونیت در ماسه سنگ های رس دار می باشد. باید توجه داشت که حضور کانی رسی ایلیت به صورت دیاژنزی در این ماسه سنگ ها توسط مطالعات میکروسکوپ الکترونی تایید شده است (اعتمادسعید، ۱۳۸۷)، درصد بالای  $K_2O$  در نمونه های ماسه سنگی را می توان به ایلیت و فلدسپار های پتاسیم دار موجود نسبت داد. به علاوه قطعات سنگی دگرگونی حاوی میکا نیز می توانند به عنوان منشا دیگری برای  $K_2O$  بالای این ماسه سنگ ها محسوب شوند. نمونه هایی که در صد  $K_2O$  بالایی نشان می دهند (گاه تا ۶٪)، به وضوح حاوی مسکویت هستند. فرآیندهای کنترل کننده ترکیب عناصر در سنگ های رسوبی را می توان با استفاده از نمودارهای به هنجارسازی شبیه به نمودارهای عنکبوتی (spider diagrams) بررسی کرد. این به هنجارسازی ها مقیاسی است از این که رسوب تا چه اندازه تیبیک است. با این کار می توان غنی شدگی و تهی شدگی نامحسوس برخی از عناصر خاص را نیز نشان داد (Rollinson, 2006).

مطالعه در بخش عمده ای از سازند، ترکیب لیتارنایت (از نوع چرت آرنایت) - ساب لیتارنایت تا فلدسپاتیک لیتارنایت و در بخش های بالایی سازند ترکیب کوارتز آرنایتی دارند (اعتمادسعید، ۱۳۸۷؛ حسینی برزی و اعتمادسعید، ۱۳۸۷).

### توزیع عناصر اصلی

مطالعه عناصر اصلی اغلب به ۱۰ عنصری محدود می شود که به طور مرسوم در تجزیه ی شیمیایی به صورت اکسید بیان می شوند (Rollinson, 1993) (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P). عناصر اصلی، منعکس کننده کانی شناسی نمونه های مورد مطالعه است (جدول ۱). در میان این اکسیدها،  $CaO$ ،  $Na_2O$  و  $MgO$  و  $K_2O$  متحرک<sup>۱</sup> و اکسیدهای  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  غیرمتحرک<sup>۲</sup> می باشند (Bauluz et al., 2000). به دلیل این که  $Al_2O_3$  در طی هوازدگی، دیاژنز و متامورفیزم، نسبتاً بدون تغییر است، معمولاً به عنوان فاکتوری جهت مقایسه بین لیتولوژی های مختلف به کار می رود (Cardenas et al., 1996). در نمودارهای ارائه شده در شکل ۲، میزان  $SiO_2$  با  $Al_2O_3$  نسبت عکس داشته،  $CaO$ ،  $Na_2O$  و  $MnO$  روند بخصوصی را نشان نمی دهند.  $Fe_2O_3$ ،  $K_2O$ ،  $TiO_2$ ،  $P_2O_5$  و  $MgO$  نیز انطباق مثبتی با  $Al_2O_3$  نشان می دهند. تبعیت بیشتر اکسید ها از روند  $Al_2O_3$ ، نشان دهنده فراوانی کانی های رسی در این ماسه سنگ ها است چرا که این عنصر به طور خاص در آلومینوسیلیکات ها حضور دارد (Das et al., 2006). مقادیر  $CaO$ ،  $MgO$  و  $Fe_2O_3$  بالا در این نمونه ها می تواند به حضور سیمان های دیاژنتیکی کلسیتی، دولومیتی و هماتیتی نیز مربوط باشد (Das et al., 2006).



شکل ۳- نتایج به هنجارسازی عناصر اصلی نمونه ها، نسبت به پوسته قاره ای بالایی (UCC: Taylor and McLennan, 1985).

1. Mobile  
2. Im Mobile

زیاد رسوبات سیکل اول هستند و آنهایی که ICV کم تر از ۱ دارند، ممکن است رسوبات چرخه مجدد یا رسوبات به شدت هوازده از سیکل اول رسوبی باشند (Cullers and Podkovyrov, 2002). البته در صورتی می توان به این اندیس مطمئن بود که دیاژنز میزان  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{CaO}$  را تغییر نداده باشد (Cox et al., 1995; Cullers and Podkovyrov, 2002). میزان ICV در ماسه سنگها (به استثنای دو نمونه با  $\text{CaO}$  بالا) ۱/۳۴ و در کوارتزیت های سفید رنگ به طور میانگین ۰/۷۸ می باشد. بر این اساس ماسه سنگ های تشکیل دهنده قسمت عمده ای از سازند، حاصل رسوبات سیکل اول و ماسه سنگ های کوارتزیت سفید رنگ راسی حاوی رسوبات تحت چرخه مجدد رسوبی می باشند.

### هوازگی قدیمه

هوازگی شیمیایی شدیداً بر روی ژئوشیمی عناصر اصلی و کانی شناسی رسوبات سیلیسی آواری تأثیر می گذارد (Nesbitt and Young, 1982; McLennan, 1993). تاریخچه هوازگی سنگ های آواری را اغلب توسط محاسبه نسبت اکسید های متحرک  $\text{CaO}$  و  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$  نسبت به اکسید غیر متحرک  $\text{Al}_2\text{O}_3$  تخمین می زنند (Nesbitt and Young, 1984, 1989). اندیسی که در این رابطه بیشترین استفاده را دارد، اندیس شیمیایی دگرسانی<sup>۱</sup> است (Nesbitt and Young, 1982). این اندیس توسط فرمول زیر به دست می آید و اکسیدها در آن به صورت نسبت مولی بیان می شوند:

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} * + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$$

منظور از  $\text{CaO}^*$  در این رابطه، کلسیم حاضر در اجزای سیلیکاته سنگ است و در نمونه هایی که  $\text{CaO}$  بالای آنها مربوط به سیمان های دیاژنتیکی می باشد، این میزان باید تصحیح گردد. محدوده CIA از ۵۰ تا ۱۰۰ متغیر است. میزان بالای CIA منعکس کننده حذف کاتیون های ناپایدار (مانند  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$  و  $\text{Ca}^{2+}$ ) نسبت به اجزای باقیمانده پایدار ( $\text{Ti}^{4+}$  و  $\text{Al}^{3+}$ ) در طی هوازگی و میزان کم CIA نشان دهنده نبود دگرسانی شیمیایی و منعکس کننده شرایط سرد و یا خشک می باشد (Nesbitt and Young, 1984, 1989).

به منظور تعیین دقیق میزان CIA و حذف  $\text{CaO}$  حاصل از سیمان های کربناته، می توان نمونه های با  $\text{CaO}$  بالاتر از ۵٪ را در نظر گرفت (Batumike et al., 2004; Garcia et al., 2006). در نمونه های ماسه سنگی مورد مطالعه، دو نمونه SF.LA.80 و SF.LA.40 به دلیل میزان بالای  $\text{CaO}$  ( $> 5\%$ )، در تعیین اندیس شیمیایی آلتراسیون در نظر گرفته نشده اند. میزان CIA محاسبه شده، به طور میانگین در بخش های ماسه سنگی سازنده بدنه اصلی سازند ۵۰٪ و در کوارتزیت سفید رنگ راسی ۶۸٪ می باشد.

(1993). مطالعات نشان داده است که غلظت بسیاری از عناصر در سنگ های رسوبی ریز دانه فلات قاره سراسر جهان به دلیل آمیختگی ناشی از چرخه های مکرر فرسایشی شبیه به یکدیگرند. از این رو پر استفاده ترین مقادیر به هنجارسازی در سنگ های رسوبی مربوط به میانگین قسمت بالایی پوسته قاره ای<sup>۱</sup> است (Rollinson, 1993). به هنجارسازی نمونه ها نسبت به میانگین قسمت بالایی پوسته قاره ای (Taylor and McLennan, 1985) در نمونه های مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. بر این اساس ماسه سنگ ها و سیلتستون های مورد مطالعه نسبت به UCC، تخلیه شدیدی در میزان  $\text{Na}_2\text{O}$  نشان می دهند و سایر عناصر تقریباً در محدوده UCC قرار می گیرند. تخلیه شدید میزان  $\text{Na}_2\text{O}$  در ماسه سنگها را به تحرک زیاد این عنصر در طی هوازگی شیمیایی، فرآیندهای دیاژنزی و دگرسانی ثانویه نسبت می دهند (McLennan, 2001; Das et al., 2006; Varga et al., 2007). کم بودن سدیم را می توان به سنگ های منشأ فاقد پلاژیوکلازهای سدیم دار نیز نسبت داد (Rashid, 2002).

از تحرک عناصر اصلی در طی هوازگی، حمل و نقل و فرآیندهای پس از رسوبگذاری، می توان در تعیین درجه رسیدگی رسوبات استفاده کرد (McLennan, 1993). کم بودن  $\text{Na}_2\text{O}$  در ماسه سنگ های مورد مطالعه می تواند نشان دهنده رسیدگی رسوبی بالای آنها باشد. به علاوه نسبت  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  نیز یک اندیس مورد استفاده برای تعیین رسیدگی رسوبی است (Potter, 1978). این میزان در طی هوازگی، حمل و نقل و چرخه مجدد، در نتیجه افزایش کوارتز نسبت به اجزای ناپایدار مثل فلدسپار و قطعات سنگی، افزایش می یابد. نسبت  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  بیشتر از ۶ - ۵ در سنگ های رسوبی، نشان دهنده رسیدگی رسوبی بالا است (Roser et al., 1996). میانگین این کسر در ۱۰ نمونه ماسه سنگی مورد مطالعه ۹/۳۶ و در کوارتزیت های سفید رنگ راس سازند ۱۲۱/۸۷ است. این اعداد نشان دهنده رسیدگی رسوبی بالا در ماسه سنگ های سازند لالون در مقطع مورد مطالعه می باشند.

### چرخه مجدد رسوبی

جهت تعیین رسوبات مربوط به سیکل اول رسوبی یا رسوبات حاصل از چرخه مجدد رسوبی، کاکس و همکاران (Cox et al., 1995) اندیس تنوع ترکیبی<sup>۲</sup> را بر اساس عناصر اصلی پیشنهاد دادند که از طریق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\text{ICV} = [(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2) / \text{Al}_2\text{O}_3]$$

این اندیس فراوانی آلومینیوم نسبت به سایر کاتیون های اصلی در یک سنگ یا کانی را اندازه می گیرد. به عقیده کاکس و همکاران (Cox et al., 1995) کانی های فاقد رس، ICV بالاتری نسبت به کانی های رسی دارند و نمونه هایی که کانی های رسی فراوانی دارند، ICV کم تری دارند (کم تر از ۱) و در نواحی با فرآیند<sup>۳</sup> خیلی کم، همراه با هوازگی شیمیایی شدید تشکیل می شوند. نمونه هایی که ICV بالاتر از ۱ دارند، به احتمال

1. UCC: Upper Continental Crust  
2. ICU

3. Uplift  
4. CIA (Chemical Index Of Alteration)

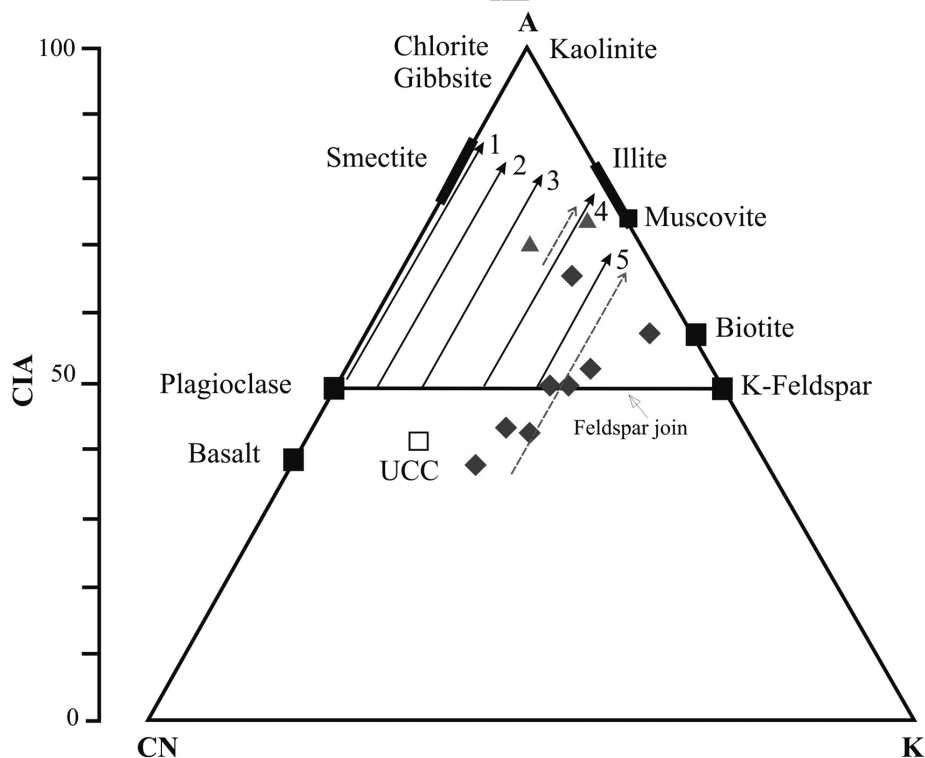
A-CN خواهد داشت. در حالی که در طی هوازگی پیشرفته، با حرکت ترکیب ها به سمت راس A، افت آشکاری در  $K_2O$  بروز می کند (Nesbitt and Young, 1984). روندهای هوازگی نمونه های مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. روند هوازگی و دگرسانی اجزای ناپایدار و تبدیل آن ها به کانی های رسی در نمونه های ماسه سنگی تشکیل دهنده بدنه اصلی سازند لالون و نمونه های کوارتزیت سفید رنگ راسی مشابه هم می باشد با این تفاوت که نمونه های کوارتزیتی سفید رنگ در محدوده نزدیک تری نسبت به قطب A قرار می گیرند. این امر می تواند نشان دهنده هوازگی شدیدتر در اثر تغییر نسبی آب و هوا و همین طور تاثیر بیشتر فرآیند چرخه مجدد رسوبی در این بخش باشد. به طوری که بیشتر اجزا ناپایدار حذف شده اند. مطالعه سنگ شناسی این ماسه سنگ ها نیز نبود دانه های ناپایدار در این نمونه ها را تایید می کند. اندیس شیمیایی آلتراسیون و اندیس آلتراسیون پلاژیوکلاز در ماسه سنگ های تشکیل دهنده قسمت عمده سازند لالون، کمتر از میزان این اندیس ها در ماسه سنگ های سفید رنگ راس سازند است. این امر می تواند به دلیل تغییر شرایط آب و هوایی در طی نهشت سازند لالون در

اندیس آلتراسیون پلاژیوکلاز (Fedo et al., 1995) نیز در تعیین شرایط هوازگی پیشین سنگ های رسوبی آواری کاربرد زیادی دارد. این اندیس از طریق فرمول زیر به دست می آید:

$$PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O)]$$

میزان اندیس دگرسانی پلاژیوکلاز در حدود ۵۰، مربوط به سنگ های غیر هوازده و تازه و میزان اندیس دگرسانی پلاژیوکلاز نزدیک به ۱۰۰، نشان دهنده تبدیل کامل فلدسپارها به کانی های رسی آلومینوم دار ثانویه از قبیل کائولینیت، ایلیت و ژپسیت است. اندیس PIA به دست آمده برای نمونه های ماسه سنگی سازنده بدنه اصلی سازند به طور میانگین ۵۱٪ و در کوارتزیت های سفید رنگ راسی ۸۰٪ می باشد که این مقادیر با ارقام به دست آمده برای اندیس شیمیایی دگرسانی مطابقت دارد (Fedo et al., 1995).

روند های هوازگی را می توان با استفاده از نسبت های مولی عناصر و توسط مثلث A-CN-K ( $Al_2O_3 - CaO^* + Na_2O - K_2O$ ) به دست آورد (Nesbitt and Young, 1984; Fedo et al., 1995). بر روی این نمودار، مراحل آغازین هوازگی، روندی موازی با ضلع



شکل ۴- ترسیم روند هوازگی توسط مثلث ( $Al_2O_3 - CaO^* + Na_2O - K_2O$ ) A-CN-K، در نمونه های ماسه سنگی بدنه اصلی سازند (SS) (مربع آبی) و کوارتزیت سفید رنگ راسی (WQ) (مثلث قرمز) سازند لالون (Nesbitt and Young, 1984). این روند برای نمونه های مورد مطالعه، در محدوده هوازگی متوسط در نمونه های SS و پیشرفته در نمونه های WQ به دست آمده است. فلش های منقطع، تغییر در ترکیب این نمونه ها را به صورت تئوری، طی پیشرفت هوازگی نشان می دهند. میزان CIA به دست آمده برای این نمونه ها نیز در سمت چپ نمودار مشخص شده است. ترکیب پوسته قاره ای بالایی (UCC) (مربع سفید) بر اساس تیلور و مک لنان (Taylor and McLennan, 1985) می باشد. عددهای ۱ تا ۵ نشان دهنده روند های ترکیبی در پروفیل هوازگی برای انواع مختلف سنگ ها می باشد. ۱: گابرو (Gabbro); ۲: تونالیت (Tonalite); ۳: دیوریت (Diorite); ۴: گرانودیوریت (Granodiorite); ۵: گرانیت (Granite). ماسه سنگ های تشکیل دهنده سازند لالون در روند هوازگی سنگ های گرانیتی قرار می گیرند.

می‌گیرند (شکل ۶).

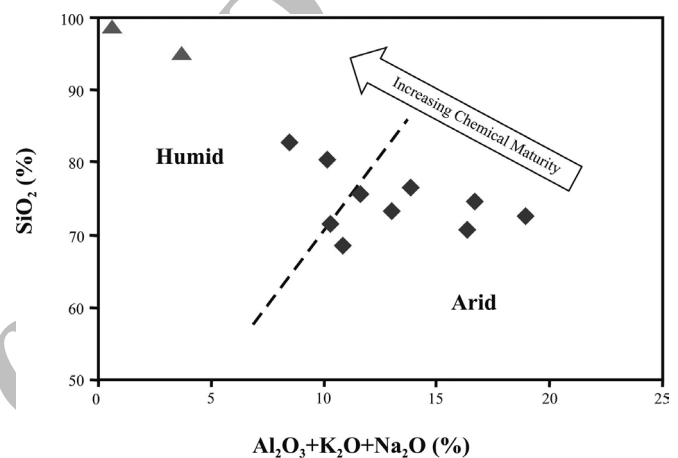
رسوبات مشتق شده از سنگ مادر کوارتزی از لحاظ سنگ‌شناسی، ماسه سنگ‌های غنی از کوارتز می‌باشند که در ناحیه درون کراتونی<sup>۱</sup> یا کوهزایی با چرخه مجدد<sup>۲</sup> دیاگرام دیکینسون و همکاران (Dickinson et al., 1983) قرار می‌گیرند.

(Laird, 1972) عقیده دارد که این رسوبات از زمین‌های گرانیتی - گنایسی هوازده مشتق شده اند اما ناتان (Nathan, 1976) عقیده دارد این اجزای چند سیکیلی احتمالاً از مناطق رسوبی که از پیش وجود داشته‌اند، منشأ گرفته‌اند. مطالعات صورت گرفته بر روی برخاستگاه زمین‌ساختی این نمونه‌های ماسه سنگی توسط دیاگرام‌های دیکینسون و همکاران (Dickinson et al., 1983)، برخاستگاه نمونه‌های ماسه سنگی تشکیل دهنده قسمت عمده‌ای از سازند را کوهزایی با چرخه مجدد و برخاستگاه ماسه سنگ‌های کوارتزیت سفید رنگ راسی را کراتون نشان می‌دهد (اعتماد سعید و همکاران، ۱۳۸۶؛ اعتماد سعید، ۱۳۸۷) که با نتایج به دست آمده از مطالعات ژئوشیمیایی کاملاً همخوانی دارد.

روسر و کورش (Roser and Korsch, 1988) جهت جلوگیری کردن از تاثیر Ca و Si بیوژنیک، دیاگرام تفکیکی دیگری را بر اساس نسبت اکسیدهای  $TiO_2$ ،  $Fe_2O_3$ ،  $TiO_2$ ،  $Fe_2O_3$ ،  $Na_2O$  و  $MgO$  به  $Al_2O_3$  معرفی نموده‌اند. بر اساس این دیاگرام نیز نمونه‌های مورد مطالعه (به استثنای یک نمونه) در ناحیه‌ی سنگ مادر کوارتزی قرار می‌گیرند (شکل ۷). به عقیده‌ی تیلور و مک لنان (Taylor and McLennan, 1985)، مقایسه نسبت اکسیدهای اصلی سنگ‌های رسوبی آواری با سنگ مادرهای احتمالی مانند گرانیت، بازالت و سنگ‌های اولترامافیک، در تعیین منشأ این سنگ‌ها موثر است. با استفاده از دیاگرام مثلثی  $SiO_2/10-CaO+MgO-Na_2O+K_2O$  می‌توان در رابطه با سنگ مادر سنگ‌های رسوبی آواری اظهار نظر نمود. بر این اساس نمونه‌های مورد مطالعه در نزدیکی سنگ مادر گرانیتی قرار می‌گیرند (شکل ۸).

از دیاگرام مثلثی A-CN-K ( $Al_2O_3-CaO+Na_2O-K_2O$ ) نیز می‌توان در تعیین ترکیبات اولیه سنگ مادر سنگ‌های رسوبی آواری استفاده نمود (Nesbitt and Young, 1984). همانگونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، بسیاری از نیمرخ‌های هوازدگی روند خطی موازی با اتصال A-CN را نشان می‌دهند. روند هوازدگی خط اتصال فلدسپار (Feldspar join) را در نقطه‌ای قطع می‌کند که این نقطه، نسبت پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم سنگ تازه و غیرهوازده را نشان می‌دهد. این نسبت یک شاهد خوب در تعیین نوع سنگ مادر است (Fedo et al., 1995). بر اساس این دیاگرام (شکل ۴)، نمونه‌های مورد مطالعه در روند هوازدگی سنگ‌های مادر گرانیتی قرار می‌گیرند.

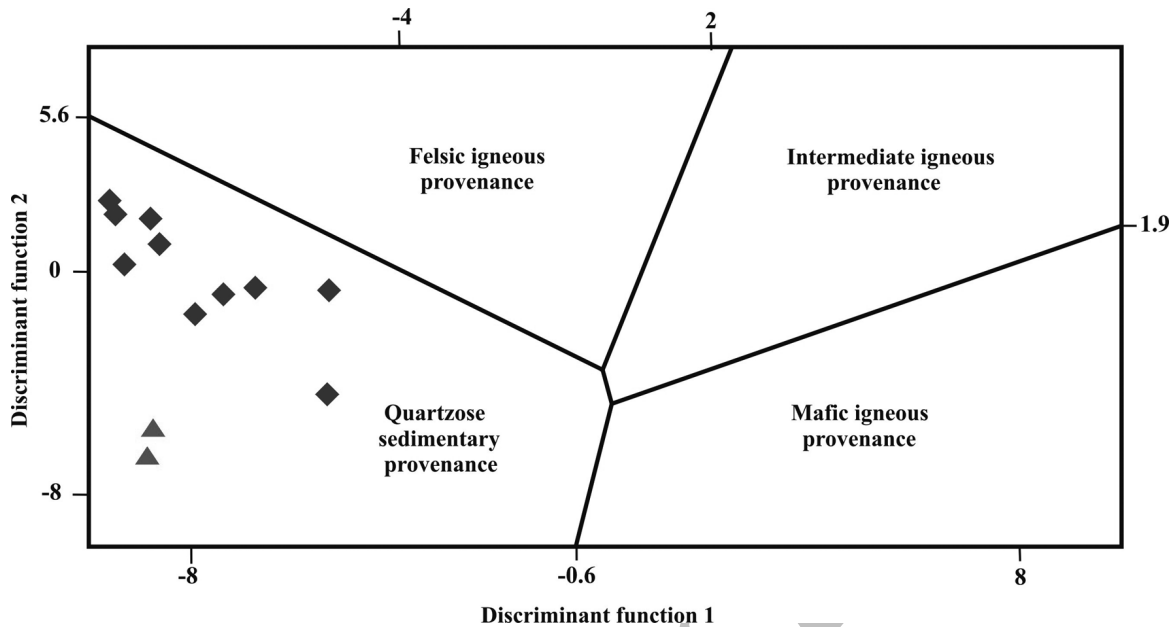
برش مورد مطالعه باشد، به گونه‌ای که آب و هوا در بخش عمده‌ای از سازند نیمه خشک تا نیمه مرطوب و در بخش‌های راسی سازند مرطوب بوده است. این روند به خوبی در مثلث A-CN-K نیز دیده می‌شود و با توجه به نمودار ژئوشیمیایی ساتنر و دوتا (Suttner and Dutta, 1986) (شکل ۵) در تعیین آب و هوا با استفاده از اکسیدهای اصلی نیز تایید می‌گردد. این نتیجه با نتایج به دست آمده از مطالعات آب و هوایی در مطالعات برخاستگاه با استفاده از مطالعات سنگ‌شناسی و نقطه شماری ماسه سنگ‌های ذکر شده نیز همخوانی دارد (اعتماد سعید و همکاران، ۱۳۸۶؛ اعتماد سعید، ۱۳۸۷).



شکل ۵- دیاگرام آب و هوایی ساتنر و دوتا (Suttner and Dutta, 1986). نمونه‌های ماسه سنگی تشکیل دهنده قسمت عمده‌ای از سازند (مربع آبی) در محدوده آب و هوای خشک و نمونه‌های کوارتزیت سفید رنگ راسی (مثلث قرمز) در محدوده آب و هوای مرطوب قرار می‌گیرند.

### سنگ مادر

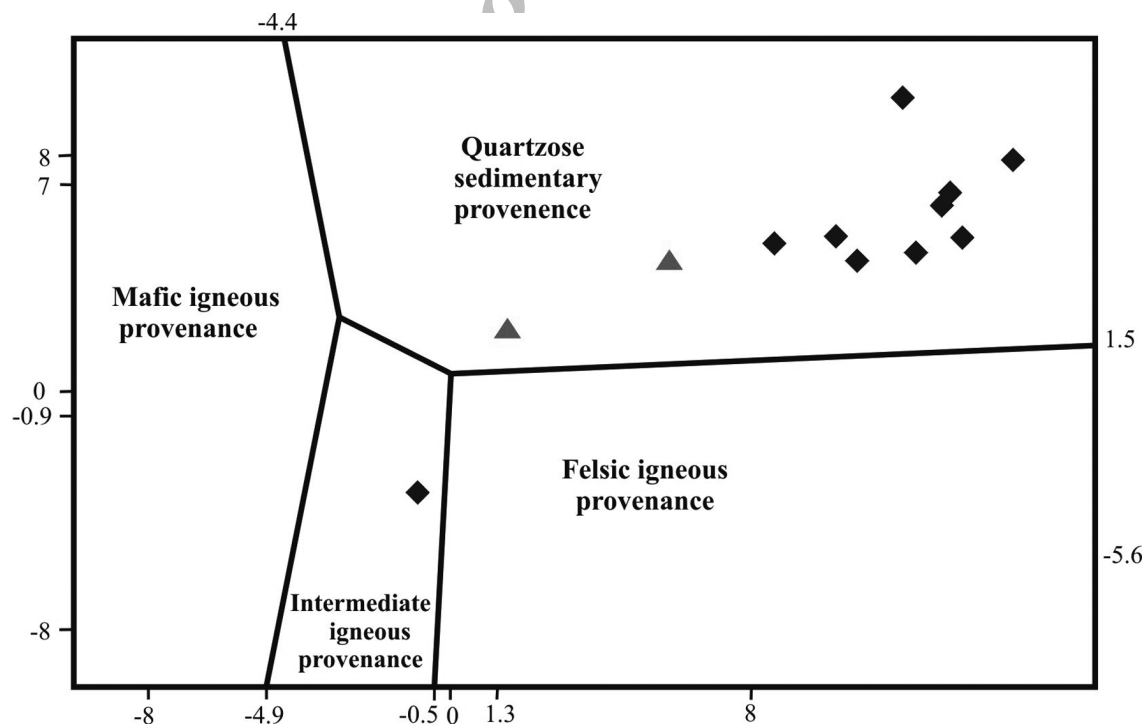
از نشانه‌های ژئوشیمیایی ثبت شده در سنگ‌های آواری، می‌توان جهت مطالعه بر روی سنگ مادر استفاده نمود (Taylor and McLennan, 1985; Condie et al., 1992; Cullers, 1995; 2002). با استفاده از دیاگرام تفکیک کننده روسر و کورش (Roser and Korsch, 1988) می‌توان سنگ مادر را بر پایه اکسیدهای اصلی، در نمونه‌های ماسه سنگی و گلسنگی تعیین نمود. این دیاگرام بر پایه اکسیدهای اصلی در ماسه سنگ‌ها و گلسنگ‌ها، برای ۴ برخاستگاه معرفی شده است که ۴ سنگ مادر اولیه آذرین مافیک، آذرین حدواسط، آذرین فلسیک و کوارتزی را برای آن‌ها معرفی می‌کند. بر اساس این دیاگرام، نمونه‌های ماسه سنگی تشکیل دهنده بخش عمده‌ای از سازند مورد مطالعه و نمونه‌های مربوط به ماسه سنگ‌های سفید رنگ راس سازند همگی در محدوده سنگ مادر رسوبی کوارتزی قرار



شکل ۶- دیاگرام تفکیک کننده تابعی بر اساس اکسیدهای اصلی (Roser and Korsch, 1988). ماسه سنگ های تشکیل دهنده ضخامت زیادی از سازند لالون در مقطع مورد مطالعه (مربع) و ماسه سنگ های سفید رنگ راس سازند (مثلث) منشأ رسوبی کوارتزی را نشان می دهند.

$$\text{Discrimination function 1} = -1.773 \text{ TiO}_2 + 0.607 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.76 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1.5 \text{ MgO} + 0.616 \text{ CaO} + 0.509 \text{ Na}_2\text{O} - 1.224 \text{ K}_2\text{O} - 9/09$$

$$\text{Discrimination function 2} = 0.445 \text{ TiO}_2 + 0.07 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.25 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1.142 \text{ MgO} + 0.438 \text{ CaO} + 1.475 \text{ Na}_2\text{O} + 1.426 \text{ K}_2\text{O} - 6.861$$

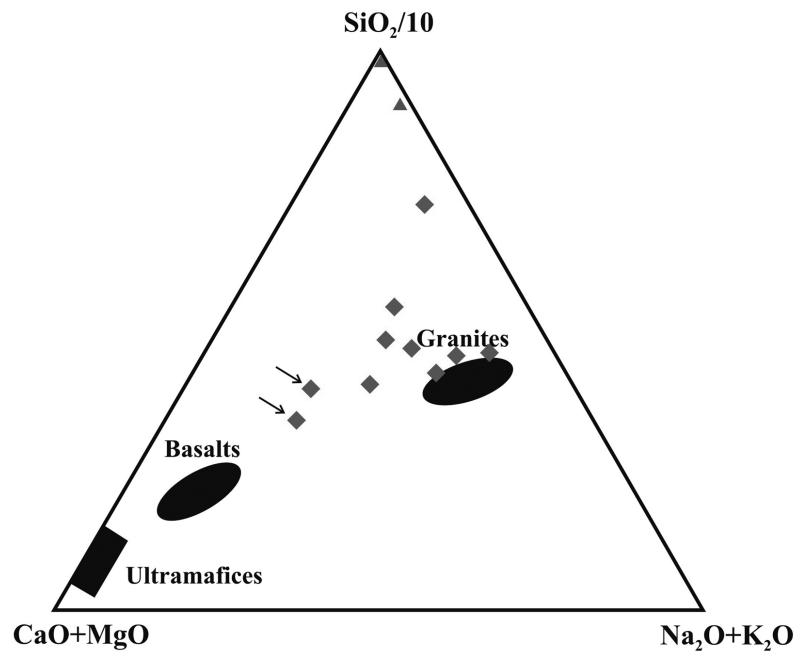


شکل ۷- دیاگرام تفکیک کننده تابعی بر اساس نسبت اکسیدهای اصلی (Roser and Korsch, 1988). ماسه سنگ های تشکیل دهنده ضخامت زیادی از سازند لالون در مقطع مورد مطالعه (مربع) و ماسه سنگ های راس سازند (مثلث) منشأ رسوبی کوارتزی را نشان می دهند. تنها یکی از نمونه های ماسه سنگی منشأ آذرین حد واسط را نشان می دهد.

$$\text{Discrimination function 1} = 30.638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12/541 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{t})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$$

$$\text{Discrimination function 2} = 56.500 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{t})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$$





شکل ۸- بررسی منشأ ماسه سنگ های سازند لالون با استفاده از دیاگرام مثلثی  $SiO_2/10-CaO+MgO-Na_2O+K_2O$  (Taylor and McLennan, 1985). دو نمونه ماسه سنگی مشخص شده با فلش به علت سیمان کربناته بالا ( $CaO > 5\%$ ) به قطب  $CaO+MgO$  نزدیک تر شده اند. ماسه سنگ های کوارتزی سفید رنگ راس سازند (مثلث قرمز) که تنها از کوارتز تشکیل شده اند در نزدیکی قطب  $SiO_2/10$  قرار گرفته اند.

نموده اند. ۸ دیاگرام تفکیک کننده جایگاه زمین ساختی بر اساس عناصر اصلی که به طور گسترده برای سنگ های رسوبی مورد استفاده قرار می گیرند، در جدول ۲ نشان داده شده اند. این دیاگرام ها، ماسه سنگ ها و گلسنگ ها را به ۴ جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره ای غیر فعال (PM)،

### جایگاه زمین ساختی

باتیا (Bhatia, 1983)، روسر و کورش (Roser and Korsch, 1986) و مک لنان و همکاران (McLennan et al., 1990)، از ترکیب شیمیایی ماسه سنگ ها و گلسنگ ها جهت تعیین جایگاه زمین ساختی آن ها استفاده

جدول ۲- تعیین برخاستگاه زمین ساختی ماسه سنگ های سازند لالون با استفاده از دیاگرام های تعریف شده بر پایه عناصر اصلی.

	Oceanic island arc – field A	Continental island arc – field B	Active continental margin – field C	Passive continental margin – field D	Unclassified
Bhatia (1983) discrimination diagrams					
$CaO-Na_2O-K_2O$	-	-	-	2	10
$TiO_2 - Fe_2O_3+MgO$	-	-	5	1	6
$Al_2O_3/SiO_2 - Fe_2O_3+MgO$	-	-	3	3	6
$K_2O/Na_2O - Fe_2O_3+MgO$	-	-	-	-	12
$Al_2O_3/(CaO+Na_2O) - Fe_2O_3+MgO$	-	-	2	3	7
Kroonenberg (1994) diagram					
$SiO_2/20 - K_2O+Na_2O - TiO_2+Fe_2O_3+MgO$	-	-	2	8	2
Bhatia (1983) Discriminant function diagram	-	1	8	3	-
Roser and Korsch (1986)	Island arc	Active continental margin		Passive continental margin	
$Log (K_2O/Na_2O) - SiO_2$	-	1		11	

جدول ۳- میزان فراوانی عناصر اصلی و عناصر فرعی در گری وک های ۴ جایگاه زمین ساختی جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره‌ای، حاشیه قاره ای فعال و حاشیه قاره ای غیر فعال. داده ها از باتیا (Bhatia, 1983, 1985) و باتیا و کروک (Bhatia and Crook, 1986).  
SS: ماسه سنگ‌های سازنده بدنه اصلی سازند لالون، WQ: کوارتزیت های سفید رنگ راسی.

	Oceanic island arc	Continental island arc	Active continental margin	Passive margin	SS	WQ
SiO <sub>2</sub>	58.83	70.69	73.86	81.95	74.60	96.68
TiO <sub>2</sub>	1.06	0.64	0.46	0.49	0.49	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.11	14.04	12.89	8.41	8.37	1.63
CaO	5.83	2.68	2.48	1.89	1.70	0.08
Na <sub>2</sub> O	4.10	3.12	2.77	1.07	0.53	0.02
K <sub>2</sub> O	1.60	1.89	2.90	1.71	4.58	0.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /SiO <sub>2</sub>	0.29	0.20	0.18	1.10	0.11	0.01
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.39	0.61	0.99	1.60	57.64	22.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO	11.73	6.79	4.63	2.89	4.09	0.26

پوسته قاره ای بالایی نشان دهنده افت شدید در میزان Na<sub>2</sub>O می باشد. این امر می تواند به علت تحرک این عنصر در طی فرآیند های پس از رسوبگذاری و یا به علت حضور سنگ های مادر فاقد پلاژیوکلاز های سدیم دار باشد. بررسی میزان چرخه مجدد رسوبی در این ماسه سنگ ها حاکی از تاثیر بیشتر چرخه مجدد رسوبی در کوارتزیت های راس سازند نسبت به ماسه سنگ های تشکیل دهنده قسمت عمده سازند است. نتایج به دست آمده از مطالعه شرایط هوازدگی پیشین این ماسه سنگ ها حاکی از هوازدگی شیمیایی کم تا متوسط و وجود شرایط آب و هوایی نیمه خشک تا نیمه مرطوب در ماسه سنگ های سازنده قسمت عمده سازند و هوازدگی شیمیایی نسبتاً شدید و آب و هوای مرطوب در کوارتزیت های راسی است. مطالعه بر روی سنگ مادر ماسه سنگ های لالون در برش باهمو حاکی از وجود سنگ مادر کوارتزی تا فلسیک (گرانیت تا گنایس های اسیدی) برای این ماسه سنگ ها است. مطالعه بر روی جایگاه زمین ساختی این نمونه های ماسه سنگی نشان دهنده ارتباط آن ها با حاشیه غیر فعال قاره ای است.

### سپاسگزاری

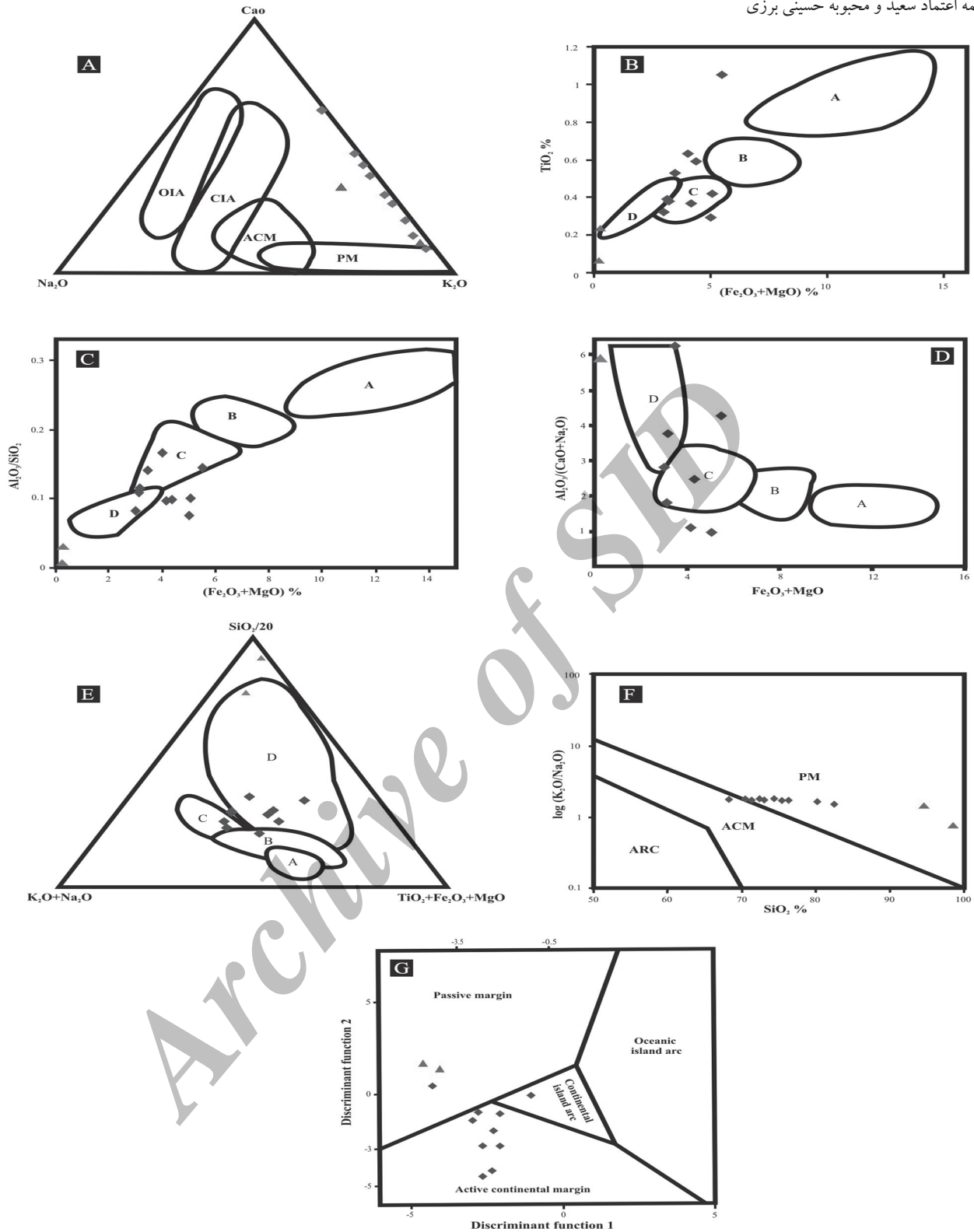
از جناب آقای دکتر آدابی جهت راهنمایی های ارزنده ایشان سپاسگزاریم. از جناب آقای دکتر علیرضایی جهت همیاری ایشان در معرفی آزمایشگاه و ارسال نمونه ها به منظور انجام آنالیز ژئوشیمیایی متشکریم. از جناب آقای دکتر هوشمند زاده جهت معرفی مقطع مورد مطالعه و حمایت ها و راهنمایی های ارزنده ایشان سپاسگزاریم. از خانم مهندس اسدی مهماندوستی، خانم مهندس اسلامدوست، آقای دکتر صادقیان و خانم مهندس حسن پور به دلیل کمک ها و همکاری شان در انجام مراحل صحرائی سپاسگزاریم.

از مسئولین دانشکده علوم زمین و آزمایشگاه های دانشگاه شهید بهشتی نیز جهت فراهم آوردن امکانات مناسب در انجام این مطالعه نهایت تشکر را داریم.

حاشیه قاره ای فعال (ACM)، جزایر کمائی اقیانوسی (OIA) و جزایر کمائی قاره ای (CIA) نسبت می دهند. با وارد کردن نمونه ها در دیاگرام های تعیین جایگاه زمین ساختی (جدول ۲) و با مشخص نمودن تعداد نمونه هایی که در هر کدام از این ۴ ناحیه قرار گرفته اند می توان جایگاه زمین ساختی را تفسیر نمود. نتایج به دست آمده از استفاده دیاگرام های تفکیک کننده در ماسه سنگ های مورد مطالعه نشان می دهند که جایگاه زمین ساختی سازند لالون در مقطع مورد مطالعه، حاشیه قاره ای غیر فعال (Passive continental margin) بوده است (شکل ۹). بر طبق نظر روسر و کورش (Roser and Korsch, 1986)، رسوبات مربوط به حاشیه های قاره ای غیر فعال (PM)، رسوبات غنی از کوارتز هستند که از نواحی داخل صفحه ای (Plate interior) یا نواحی قاره ای پایدار (Stable continental margins) سرچشمه گرفته اند و در یک حوضه درون کراتونی (intracratonic basin) یا حاشیه های قاره ای غیر فعال، نهشته می شوند. مقایسه میزان فراوانی عناصر اصلی در نمونه های مورد مطالعه با فراوانی این عناصر در محیط های زمین ساختی مختلف نیز به محیط های حاشیه غیر فعال قاره ای نزدیکی بیشتری نشان می دهد (جدول ۳). لازم به ذکر است که منشأ رسوبی کوارتزی، در دیاگرام روسر و کورش (Roser and Korsch, 1988) نیز با محیط زمین ساختی حاشیه قاره ای غیر فعال منطبق است.

### نتیجه گیری

ماسه سنگ های سازند لالون در برش باهمو واقع در بلوک پشت بادام به ترتیب فراوانی از کوارتز، قطعات سنگی (رسوبی مانند چرت، دگرگونی و به میزان اندکی قطعات ولکانیکی) و فلدسپار تشکیل شده اند و ترکیب لیتارنایتی تا کوارتز آرنایتی دارند. مطالعه بر روی ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه سنگ های سازند لالون بر روی دو گروه ماسه سنگی تشکیل دهنده این سازند (ماسه سنگ های سرخ رنگ لیتارنایتی سازنده بدنه اصلی سازند و ماسه سنگ های سفید رنگ راس سازند) به صورت مجزا انجام گردیده است. مقایسه عناصر اصلی این ماسه سنگ ها با میانگین ترکیب



شکل ۹- دیاگرام های تعیین برخاستگاه زمین ساختی سنگ های تخریبی بر اساس عناصر اصلی. محدوده های تعریف شده عبارتند از: A، جزایر قوسی اقیانوسی؛ B، جزایر قوسی قاره ای؛ C، حاشیه های فعال قاره ای و D، حاشیه های غیر فعال قاره ای. تصاویر A، B، C و D از باتیا (Bhatia, 1983)، تصویر E از کروونبرگ (Kroonenberg, 1994)، تصویر F از روسر و کورش (Roser and Korsch, 1986) و تصویر G از باتیا (Bhatia, 1983). معادلات تفکیکی در دیاگرام تصویر G به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$\text{Discrimination function 1: } -0.0447 \text{ SiO}_2 - 0.972 \text{ TiO}_2 + 0.008 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.267 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 0.208 \text{ FeO} - 3.082 \text{ MnO} + 0.140 \text{ MgO} + 0.195 \text{ CaO} + 0.719 \text{ Na}_2\text{O} - 0.032 \text{ K}_2\text{O} + 7.510 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0.303$$

$$\text{Discrimination function 2: } 0.421 \text{ SiO}_2 + 1.988 \text{ TiO}_2 - 0.526 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0.551 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1.610 \text{ FeO} + 2.720 \text{ MnO} + 0.881 \text{ MgO} - 0.907 \text{ CaO} - 0.177 \text{ Na}_2\text{O} - 1.840 \text{ K}_2\text{O} + 7.244 \text{ P}_2\text{O}_5 + 43.57$$

## منابع

- Cox, R., Low, D.R., and Cullers, R.L., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59, 2919-2940.
- Cullers, R.L., 1994. The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, USA. *Chemical Geology*. 113, 327-343.
- Cullers, R.L., 1995. The controls on the major and trace element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountain region, Colorado, USA: *Chemical Geology*. 123(1-4), 107-131.
- Cullers, R.L., 2002. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA: *Chemical Geology*. 191(4), 305-327.
- Cullers, R.L., and Podkovyrov, V.N., 2002. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia. *Precambrian Research*. 117, 157-183.
- Das, B.K., AL-Mikhlafl, A.S., and Kaur, P., 2006. Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *J. Asian Earth Science*. 26, 649-668.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Evjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A., and Ryberg, P. T., 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting: *J. Geol. Soc. Am. Bull.* 94, 222-235.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., and Young, G.M., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *J. Geology*. 23, 921-924.
- Folk, R.L., 1980. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill, Austin, Texas, 159 p.
- Garcia, D., Ravenne, C., Marechal, B., and Moutte, J., 2004. Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis. *Sedimentary Geology*, 171, 113-128.
- 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*, p. 69-81.
- Laird, M.G., 1972. Sedimentology of the Greenland Group in the Paparoa Range, West Coast, South Island. *N.Z.J. Geol. Geophys.* 15, 372-393.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T., and Maynard, J.B., 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 54, 2015-2050.
- McLennan, S.M., 1993. Weathering and global denudation. *J. Geology*. 101, 295-303.
- McLennan, S.M., 2001. Relationship between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 2.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T., and Maynard, J.B., 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 54, 2015-2050.
- Nathan, S., 1976. Geochemistry of the Greenland Group (early Ordovician), New Zealand. *N.Z. J. Geol. Geophys.* 19, 683-706.
- آقائباتی، ع.، ۱۳۸۵. زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- اعتمادسعید، ن.، حسینی برزی، م.، اسدی مهماندوستی، ا.، ۱۳۸۶. محیط رسوبی و برخاستگاه زمین ساختی سازند لالون در مقطع باهمو، ایران مرکزی. چکیده مقالات بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص. ۸۴-۸۳.
- اعتمادسعید، ن.، ۱۳۸۷. سنگ شناسی و محیط رسوبی سازند لالون در مقطع باهمو، اسفوردی، یزد. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۸۶ ص.
- حسینی برزی، م.، اعتمادسعید، ن.، ۱۳۸۷. برخاستگاه زمین ساختی ماسه سنگ های لالون در مقطع باهمو، ایران مرکزی: با نگرشی بر تاثیر فرآیندهای دیاژنزی بر ترکیب ماسه سنگ ها. فصلنامه پژوهش های علوم زمین، شماره ۲، ص ۹۷-۱۱۷.
- سهیلی، م.، مهدوی، م.، ۱۳۷۰. نقشه ی زمین شناسی اسفوردی، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی کشور.
- Assereto, R., 1963. The Paleozoic formations in central Alborz Iran. *Riv. Ital., Paleontology*, 6, 503-543.
- Batumike, M.J., Kampunzu, A.B., and Cailteux, J.H., 2006. Petrology and geochemistry of the Neoproterozoic Nguba and Kundelungu Groups, Katangan Supergroup, southeast Congo: Implications for provenance, paleoweathering and geotectonic setting. *J. African Earth Sciences*. 44, 97-115
- Bauluz, B., Mayayo, M.J., Fernandez-Nieto, C., and Lopez, J.M.G., 2000. Geochemistry of Precambrian Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance and tectonic setting. *Chemical Geology*. 168, 135-150.
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geology*. 91, 611-627.
- Bhatia M.R., 1985. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones: a reply. *J. Geology*. 93, 85-7.
- Bhatia, M.R., and Crook, K.A.W., 1986. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 92, 181-193.
- Bock, B., McLennan, S. M., and Hanson, G. N., 1994. Rare earth element redistribution and its effects on the neodymium isotope system in the Austin Glen Member of the Normanskill Formation, New York, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58 (3), 5245-5253.
- Cardenas, A., Girty, G.H., Hanson, A.D., and Lahren, M.M., 1996. Assessing differences in composition between low metamorphic grade mudstones and high-grade schists using logratio techniques. *J. Geology*. 104, 279-293.
- Condie, K.C., Boryta, M.D., Liu, J., Qian, X., 1992. The origin of khondalites: Geochemical evidence from the Archean to Early Proterozoic granulite belt in the North China craton: *J. Precambrian Research*. 59, 207-223.
- Condie, K. C., Dengate, J., and Cullers, R. L., 1995. Behavior of rare earth elements in paleoweathering profile on granodiorite in the front range, Colorado, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 59, 279-294.

Coast and Nelson, New Zealand. *N.Z.J. Geol. Geophys.*, v. 39, p. 1-16.

- Roser, B.P., and Korsch, R.J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *J. Geology*. 94, 635–650.

- Roser, B.P., and Korsch, R.J., 1988. Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*. 67, 119–139.

- Suttner, L.J., and Dutta, P.K., 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*. v. 56, p. 329-345.

- Taylor, S.R., and McLennan, S., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell, Oxford., 312p.

- Varga, A., Szakmany, G., Argyelan, T., and Jozsa, S., 2007. Complex examination of the Upper Paleozoic siliciclastic rocks from southern Transdanubia, SW Hungary- Mineralogical, petrographic, and geochemical study, in Arribas, J., Critelli, S., and Johnsson, M.J., eds., *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry: Geological Society of America Special Paper*, 420, p. 221-240.

- Nesbitt, H.W., and Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. 299, 715–717.

- Nesbitt, H.W., and Young, G.M., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based upon thermodynamic and kinetic consideration. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 48, 1523-1534.

- Nesbitt, H.W., and Young, G.M., 1989. Formation and diagenesis of weathering profile. *J. Geology*. 97, 129–147.

- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., and Siever, R., 1987. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, Berlin. 553 p.

- Potter, P.E., 1978. Petrology and chemistry of modern big river sands. *J. Geology*. 86, 423-449.

- Rashid, S.A., 2002. Geochemical characteristics of Mesoproterozoic clastic sedimentary rocks from the Chakrata Formation, Lesser Himalaya: implications for crustal evolution and weathering history in the Himalaya. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 21, p. 283-293.

- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman, 352 p.

- Roser, B.P., Cooper, R.A., Nathan, S., and Tulloch, A.J., 1996. Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West

Archive of SID