

ژئوشیمی عناصر اصلی نهشته های سیلیسی آواری سازند شیرگشت، بلوک کلمرد، ایران مرکزی برای تعیین برخاستگاه زمین ساختی و هوازگی سنگ منشأ آرام بایت کل^۱ و محبوبه حسینی برزی^{۱*}

^۱ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۷/۲۵

چکیده

تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی عناصر اصلی ۱۲ نمونه از ماسه سنگ ها و شیل های سازند شیرگشت در دو مقطع کوه عاشقان و کوه راهدار به سن اردوویسین واقع شده در بلوک کلمرد، ایران مرکزی و رسم داده ها بر روی نمودارهای تقسیم بندی سنگ های آواری ترکیب آنها را کوارتز آرنایت و شیل نشان می دهد. همچنین، استفاده از نمودارهای تفکیکی، دوتایی و مثلثی، برخاستگاه کراتون و چرخه دوباره و جایگاه زمین ساختی حاشیه غیر فعال قاره ای را برای این نهشته ها تداعی می نماید. داده های یاد شده پیشنهاد کننده سنگ مادر رسوبی کوارتزی برای ماسه سنگ ها و سنگ آذرین متوسط تا اسیدی برای شیل ها است. افزون بر آن، تعیین اثر هوازگی در ناحیه منشأ با استفاده از اندیس CIA، میزان هوازگی این نهشته ها را در منطقه منشأ شدید معرفی می کند. این موضوع می تواند به وسیله آب و هوای گرم و مرطوب در ناحیه منشأ از حاشیه قاره ای غیر فعال شرح داده شود.

کلیدواژه ها: ژئوشیمی، برخاستگاه، کوارتز آرنایت، شیل، حاشیه غیر فعال

* نویسنده مسئول: محبوبه حسینی برزی

E_mail: hosseini@khayam.ut.ac.ir

۱- مقدمه

رابطه میان موقعیت زمین ساختی، برخاستگاه و ترکیب رسوبات سیلیسی آواری به وسیله پژوهشگران زیادی مورد بررسی قرار گرفته است (برای مثال Cullers, 1994; Armstrong - Altrin et al., 2004; Bhatia & Crook, 1986; Dickinson & Suczek, 1979). همواره نهشته های سیلیسی-آواری تحت تأثیر عواملی همچون نوع سنگ منشأ، هوازگی شیمیایی، مسافت حمل و نقل و تغییرات دیاژنی پس از رسوبگذاری قرار می گیرند (Jin et al., 2006a,b) با این وجود امروزه بررسی های ژئوشیمیایی به منظور بررسی برخاستگاه و موقعیت زمین ساختی حوضه رسوبگذاری مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Armstrong-Altrin et al., 2004; Bhatia & Crook, 1986).

اگر چه در ماسه سنگ ها اثرات دیاژنی همچون تبلور دوباره، آلپیتی شدن فلدسپارها و شستشوی کانی های فرعی می تواند موجب اختلالاتی در تفسیر برخاستگاهی شود (McBride, 1985; Blatt, 1985) اما امروزه از ژئوشیمی ماسه سنگ ها به عنوان ابزار قوی در بررسی های برخاستگاهی استفاده می شود (Zimmermann and Bahlburg, 2003; Cullers, 2000). از آن جایی که نهشته های شیلی دانه ریز بوده و نفوذپذیری بسیار کمی دارند می توانند ترکیب کانیایی سنگ منشأ را در خود حفظ کرده که بدین سبب در بررسی های برخاستگاهی از اهمیت زیادی برخوردار هستند (Hessler and Lowe, 2006).

بر پایه تقسیم بندی زمین شناسی ایران توسط آقائاتی (۱۳۸۳)، منطقه مورد بررسی، بخشی از بلوک کلمرد از خرده قاره ایران مرکزی است و ما بین گسل کلمرد در خاور و گسل پوشیده نائینی در باختر قرار دارد. سازند شیرگشت با سن اردوویسین در ناحیه کلمرد (باختر طبس) به طور عمده از واحدهای ماسه سنگی قهوه ای با لایه بندی مورب همراه با کنگلومرای قاعده ای، شیل های سرخ و سبز و واحدهای آهکی تشکیل شده است. مرز زیرین سازند شیرگشت در برش عاشقان با سازند کلمرد (منتسب به پرکامبرین) از نوع دگرشیبی زاویه دار است و در بالا توسط سازند گچال با ناپیوستگی فرسایشی پوشیده می شود همچنین مرز پایین این سازند در برش راهدار از نوع دگرشیبی آذرین پی (گرانودیوریت های پرکامبرین) بوده و در بالا با سطحی فرسایشی به سازند راهدار (دونین) محدود می شود.

در این بررسی سعی بر این است تا پراکندگی عناصر اصلی (major elements) در ماسه سنگ ها و شیل های سازند شیرگشت با میانگین های استاندارد تعریف شده،

مقایسه نموده و اطلاعاتی راجع به منشأ (سنگ شناسی، هوازگی شیمیایی، آب و هوا) و ناحیه رسوبگذاری (جایگاه زمین شناسی) این سنگ ها ارائه شود. این نتایج می تواند به عنوان گامی به منظور تفسیر جغرافیای دیرینه بلوک کلمرد به شمار می رود.

۲- نمونه برداری و روش ها

انجام تجزیه XRF روی نمونه های پودر شده سنگ، روشی با کاربرد بسیار گسترده در تعیین عناصر اصلی در سنگ ها است (Rollinson, 1993). به این منظور از بین ۷۵ نمونه ماسه سنگی برداشت شده در بررسی های صحرائی، با توجه به بررسی سنگ نگاری مقاطع نازک تهیه شده از آنها (حسینی برزی و همکاران، ۱۳۸۷) تعداد ۸ نمونه ماسه سنگی جور شده، به طور نسبی ریزدانه تر (متوسط دانه)، با کمترین میزان هوازگی و کمترین میزان کربنات کلسیم (کمتر از ۵ درصد) انتخاب شدند. همچنین از بین ۲۲ نمونه شیلی برداشت شده، با توجه به کلسی متری این نمونه ها (حسینی برزی و بایت گل، ۱۳۸۹)، ۴ نمونه با کمترین درصد CaCO_3 به منظور انجام تجزیه XRF انتخاب شد. نمونه های انتخاب شده پس از پودر شدن در دانشگاه شهید بهشتی، در آزمایشگاه کانسارسانان بینالود توسط دستگاه (Phelix 1480) فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، مورد تجزیه قرار گرفتند. دقت دستگاه مورد نظر برای اکسیدهای اصلی (MgO و K_2O ، CaO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، SiO_2) در حدود ۰/۰۱ و سه اکسید اصلی دیگر (TiO_2 و P_2O_5 ، MnO) در حدود ۰/۰۱ است. نتایج به دست آمده از این تجزیه ها در جدول ۱ آورده شده است.

۳- سنگ نگاری

ماسه سنگ های سازند شیرگشت در برش های مورد بررسی به طور عمده از ذرات کوارتز آواری تک بلورین (۹۵٪)، مقدار کمی فلدسپار (۰/۱٪)، میکا (۱/۵٪)، خرده سنگ از نوع چرت (۳٪) تشکیل شده اند (حسینی برزی و همکاران، ۱۳۸۷). فلدسپارها محدود به انواع پتاسیم دار بوده و پلاژیوکلازها به طور کلی دیده نمی شوند میکاها بیشتر شامل مسکوویت و تا حد کمتری بیوتیت هستند و از کانی های سنگین موجود در سنگ می توان به تورمالین، اسفن و زیرکن ریز دانه و گرد شده اشاره داشت. بیشتر دانه ها از کوارتز تک بلورین با خاموشی مستقیم هستند. در حالی که میزان دانه های کوارتز چندبلورین کمتر می باشد. نسبت خیلی بالا از دانه های کوارتز

می‌تواند بیشتر به حضور کانی‌های کوارتز و چرت نسبت داده شود. شیل‌ها از نظر TiO_2 و $\text{MgO} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ نیز نسبت به ماسه‌سنگ‌های همراه غنی‌تر هستند که نشان‌دهنده وجود فازهای رسی بیشتر در آنها است (Gateneh, 2000). Al_2O_3 معمولاً به عنوان فاکتوری برای مقایسه میان سنگ‌شناسی‌های مختلف به کار برده می‌شود. به این دلیل که Al_2O_3 در طی هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی نسبتاً بدون تغییر است. این در حالی است که CaO و K_2O ، Na_2O به عنوان بیشترین فازهای متغیر در ماسه‌سنگ‌ها شناخته می‌شوند (Gateneh, 2000).

در نمونه‌های ماسه‌سنگی بررسی شده که Al_2O_3 در برابر دیگر اکسیدها قرار گرفته است، بر اساس شکل ۴، SiO_2 با Al_2O_3 رابطه معکوسی دارد که نشان‌دهنده وجود دانه‌های بیشتر کوارتز است نکته قابل توجه در این نمودار، افزایش مقدار SiO_2 با کاهش میزان Al_2O_3 است، این امر حاکی از حضور بیشتر فاز SiO_2 قالب کوارتز است. لذا میزان بالای SiO_2 بیشتر از ۹۵ درصد و میزان پایین Al_2O_3 کمتر از ۱ درصد، به علت رسیدگی بالای بافتی و ترکیبی نمونه‌های مورد مطالعه است. پیروی بیشتر اکسیدها از روند Al_2O_3 ، نشان‌دهنده فراوانی کانی‌های رسی در سنگ‌ها است زیرا این عنصر به طور ویژه در رس‌ها حضور دارد (Das et al., 2006; Pettijohn et al., 1987). با توجه به شکل ۴ بیشتر اکسیدها در نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد بررسی روند خاصی را با Al_2O_3 نشان نمی‌دهند که این امر بیانگر عدم وجود کانی‌های رسی و فلدسپاردار در نمونه‌های مورد بررسی است. البته انطباق مثبت بین K_2O و Al_2O_3 نشان‌دهنده تمرکز کانی‌های پتاسیم‌دار در نمونه‌های مورد بررسی است که تأثیر مهمی را بر روی پراکندگی آلومینیم دارد و حاکی از کنترل فراوانی این عناصر به وسیله محتوی کانی‌های رسی و میکایی است (Jin et al., 2006a). نمونه‌های ماسه‌سنگی که درصد بالایی از K_2O را نشان می‌دهند حاوی مسکوویت زیادی هستند که در بررسی‌های سنگ‌نگاری نیز دیده شده‌اند (حسینی برزی و همکاران، ۱۳۸۷) در نتیجه وجود K_2O بالا در مسکوویت موجب انطباق مثبت بین K_2O و Al_2O_3 شده است.

۶- بر خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت

بررسی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌ها به عنوان ابزاری قوی در بررسی موقعیت زمین‌ساختی محیط رسوبی ماسه‌سنگ‌ها و شناسایی برخاستگاه آنها استفاده می‌شود (North et al., 2005). همواره ترکیب ماسه‌سنگ‌ها توسط نوع سنگ منشأ، مسافت حمل و نقل و فرایندهای دیاژنزی کنترل می‌شود، هر چند موقعیت زمین‌ساختی حوضه رسوبگذاری نیز در این امر نقش مهمی ایفا می‌کند (Akarish and El-Gohary, 2008). بررسی‌های تفسیر برخاستگاه سنگ‌های رسوبی در گذشته بر اساس تجزیه‌های سنگ‌نگاری ذرات دانه درشت بوده است اما امروزه روش‌های ژئوشیمیایی به بررسی توالی‌های ریز دانه برای تعیین برخاستگاه سنگ‌های رسوبی تأکید دارد (Hassan et al., 1999). در این بخش با استفاده از داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی به تفسیر برخاستگاه پرداخته خواهد شد.

۶-۱. نمودار (Roser and Korsch 1986)

نمودارهای تابعی Roser and Korsch (1988) برای تمایز بین رسوباتی که منشأ اولیه آنها سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط یا فلسیک و یا رسوبات دارای کوارتز است، چهار محدوده برخاستگاهی را معرفی نموده‌اند که شامل: مافیک (P1)، حدواسط (P2)، فلسیک (P3)، رسوبی کوارتزی (P4). این نمودار بر اساس اکسیدهای Ti ، Al ، Fe ، Mg ، Ca ، Na و K چهار منشأ یادشده را از یکدیگر جدا می‌سازد. داده‌های اکسیدی نمونه‌های مورد بررسی در نمودار تابع تمایزی، در ناحیه با منشأ رسوبی کوارتزی واقع شده که این محدوده در واقع محدوده منشأ قاره‌ای چرخه دوباره همراه با حاشیه غیرفعال قاره‌ای، درون کراتونی و یا ایالت‌های با چرخه دوباره است (Cingolani et al., 2003; Das et al., 2006) (شکل ۵).

تک‌بلورین به دانه کوارتز چندبلورین در نمونه‌های سازند شیرگشت به خردشدن دانه‌های چندبلورین کوارتز در طول حمل و نقل با مسافت طولانی و انرژی بالا از ناحیه منشأ را پیشنهاد می‌کند (حسینی برزی و همکاران، ۱۳۸۷؛ حسینی برزی و بایت گل، ۱۳۸۹؛ Wanas & Abdel-Maguid, 2006). همچنین از نظر بلوغ بافتی (تعیین میزان رس، جورشدگی و گردشدگی)، این ماسه‌سنگ‌ها میزان بلوغ بافتی بالایی دارند و از نقطه نظر بلوغ ترکیبی ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت دارای بلوغ ترکیبی بالایی هستند (حسینی برزی و بایت گل، ۱۳۸۹).

۴- طبقه‌بندی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌ها

استفاده از ژئوشیمی و تجزیه‌های عناصر اصلی توسط دستگاه XRF، نیز می‌تواند افزون بر روش‌های سنگ‌نگاری و تجزیه مودال در طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی و همچنین تفکیک میان رسوبات بالغ و نابالغ، مؤثر واقع شود (Das et al., 2006). رسم داده‌های حاصل از تجزیه‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی مربوط به ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت بر روی نمودار (Pettijohn et al., 1987) (شکل ۱) و Herron (1988) (شکل ۲) انجام شده‌اند. با توجه به این نمودارها ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت ترکیب کوارتزآرنايت را نشان می‌دهد. همچنین رسم نمونه‌های شیلی در نمودار Herron (1988) نشان‌دهنده محدوده شیلی فاقد آهن برای این نمونه‌ها است.

۵- ترکیب عناصر اصلی

فرایندهای کنترل‌کننده ترکیب عناصر موجود در سنگ‌های رسوبی رامی‌توان با استفاده از نمودارهای بهنجارسازی شبیه به نمودارهای عکبوتی بررسی کرد. این نمودارها در سنگ‌های رسوبی می‌توانند غنی‌شدگی و تهی‌شدگی نامحسوس برخی از عناصر خاص را نشان دهند (Rollinson, 1993). با استفاده از اکسیدهای اصلی مانند SiO_2 ، CaO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 و MgO در دو محدوده، ترکیب بالایی پوسته قاره‌ای (Upper Continental Crust composition (UCC)) و میانگین شیل پس آرکن استرالیا (PAAS: Post Archean Australian average)، می‌توان میزان رسیدگی رسوب، موقعیت زمین‌ساختی و همچنین اطلاعاتی در مورد منشأ رسوبات را نیز به دست آورد (Zimmermann and Bahlburg, 2003). در این بین نسبت عناصر $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ، $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ، $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ برای بررسی موقعیت زمین‌ساختی و منشأ رسوبات، بیشترین کاربرد را دارند (Roser and Korsch, 1986; Herron, 1988). بهنجارسازی نمونه‌ها نسبت به میانگین شیل پس آرکن استرالیا (PAAS) (Toukeridis et al., 1999) در شکل ۳ در نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده است بر این اساس نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه از نظر عناصری همچون SiO_2 ، TiO_2 ، Fe_2O_3 ، MgO در محدوده PAAS قرار می‌گیرند و نمونه‌های شیلی تخلیه شدیدی در P_2O_5 ، MnO و CaO و غنی‌شدگی در Al_2O_3 ، K_2O ، MgO ، Fe_2O_3 و TiO_2 را نشان می‌دهند. دیگر عناصر کم و بیش در محدوده PAAS قرار می‌گیرند. تخلیه شدید MgO و Na_2O در ماسه‌سنگ‌ها و CaO در شیل‌ها را به تحرک زیاد این عناصر در طی هوازدگی شیمیایی، فرایندهای دیاژنزی و دگرسانی‌های ثانویه نسبت می‌دهند (Das et al., 2006). افزون‌بر آن، در طی مراحل اولیه هوازدگی و دیاژنز، Na و Ca از پلاژیوکلازها حذف می‌شوند (Nesbitt, 2003). به طوری که کم بودن این دو اکسید در ماسه‌سنگ‌ها را می‌توان به بلوغ رسوبی بالای آن نسبت داد. همچنین تحرک عنصر Mn در حین دیاژنز، باعث تخلیه در میزان این عنصر در نمونه‌های شیلی و ماسه‌سنگی نسبت به PAAS می‌شود (Rollinson, 1993).

غنی‌شدگی در K_2O و Al_2O_3 نسبت به PAAS در نمونه‌های شیلی را می‌توان به حضور فازهای رسی بیشتر در این نمونه‌ها نسبت داد و همچنین فراوانی CaO در نمونه‌های ماسه‌سنگی نسبت به شیل‌ها را می‌توان به سیمان‌های کربناتی در این ماسه‌سنگ‌ها نسبت داد. از طرف دیگر، میزان سیلیس بالا در این ماسه‌سنگ‌ها

۴-۶. نمودارهای سه‌نایی

مقادیر اکسید عناصر اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی در نمودار (Kroonenberg (1994) در نزدیکی و یا داخل محدوده حاشیه قاره‌ای غیر فعال قرار می‌گیرند (شکل ۹). البته رسم داده‌های ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت بر روی این نمودار میزان خیلی بالایی از SiO_2 را نشان می‌دهند (جابه‌جایی به سمت قطب SiO_2) که چنین جابه‌جایی نشان‌دهنده رسیدگی بالای ماسه‌سنگ‌ها و فراوانی بالای کوارتز در آنها است (Wanas and Abdel-Maguid, 2006) که با نسبت خیلی بالا از دانه‌های کوارتز تک‌بلورین (۹۵٪) بررسی‌های سنگ‌نگاری ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت (حسینی‌برزی و همکاران، ۱۳۸۷) همخوانی دارد.

۴-۵. نمودار $(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ (Roser and Korsch, 1988)

نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ می‌تواند برای تأیید برخاستگاه شیمیایی به کار رود. مقدار بالای این نسبت نشان‌دهنده منشأ گرانیتی به جای بازالتی است (Potter, 1978). به عقیده (Pettijohn et al., 1987)، میزان بالای K و فراوانی آن نسبت به Na در ماسه‌سنگ‌ها نشان‌دهنده فراوانی بیشتر میکا نسبت به فلدسپار در ماسه‌سنگ‌های بدون رس، و فراوانی ایلیت نسبت به مونت‌موریلونیت در ماسه‌سنگ‌های رس‌دار است. همچنین نسبت بالای $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ را به وجود کانی‌های پتاسیم‌دار همچون فلدسپار پتاسیم‌دار و میکا، ایلیت، مسکوویت و بیوتیت نسبت می‌دهند (Nath et al., 2000; Zhang, 2004). رسم نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 نیز نشان‌دهنده جایگاه زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیر فعال برای ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت است. همچنین رسم این عناصر در این نمودار موقعیت زمین‌ساختی شیل‌های سازند شیرگشت را حاشیه قاره‌ای غیرفعال نشان می‌دهد. میزان بالای K و فراوانی آن نسبت به Na را می‌توان به وجود مسکوویت بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری در ماسه‌سنگ‌ها و کانی رسی ایلیت در شیل‌ها (بایت گل، ۱۳۸۸ و حسینی‌برزی و همکاران، ۱۳۸۷) نسبت داد (شکل ۱۰).

۴-۷. برخاستگاه شیل‌های سازند شیرگشت

(Bhatia (1983) در نمودارهای مثلثی محدوده‌هایی را برای چهار جایگاه زمین‌ساختی تعیین نمود که در رئوس این مثلث از اکسیدهای K_2O ، Na_2O و CaO استفاده شده است. در این نمودار چهار محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیر فعال (PM)، جزایر اقیانوسی (OIA)، جزایر کمانی قاره‌ای (CIA)، حاشیه قاره‌ای فعال (ACM) مشخص شده که داده‌های شیل‌های سازند شیرگشت در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای در نزدیک قطب K_2O قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱) این نمودار تأییدی بر نتایج نمودارهای (Bhatia (1983) (شکل ۷) و Roser and Korsch (1988) (شکل ۱۰) است.

۴-۸. سنگ مادر شیل‌های سازند شیرگشت

فراوانی عناصر موجود در شیل‌ها انعکاس فرایندهای محیطی همچون هوازدگی، حمل و نقل از سنگ منشأ به محل ته‌نشست رسوبات و دیاژنز است (Paikaray et al., 2008). غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم بر اثر این فرایندها ممکن است افزایش یا کاهش نشان دهد در حالی که تیتانیم و آلومینیم به علت حلالیت کم اکسیدها و هیدروکسیدهای این عناصر در محلول‌های آبدار با دمای پایین، کمتر تحت تأثیر فرایندهای نامبرده شده قرار می‌گیرند (Hayashi et al., 1997). نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ در شیل‌ها نشانگر خوبی برای تفسیر سنگ منشأ شیل‌ها در مقایسه با دیگر عناصر اصلی است (Paikaray et al., 2008). رسم نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ نشان می‌دهد که محدوده شیل‌های سازند شیرگشت نزدیک به سنگ منشأ حدواسط تا گرانیتی است (شکل ۱۲) این نمودار تأییدی بر نتایج نمودار تفکیک‌کننده تابعی (Roser and Korsch (1988) (شکل ۶) است. از نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ می‌توان به عنوان نشانگر خوبی برای تشخیص ترکیب شیل‌های قدیمی استفاده کرد.

(Roser and Korsch (1988) به منظور حذف داده‌های مربوط به CaO و SiO_2

زیستی (بیوژنیک) از نسبت اکسیدهای اصلی به منظور تعیین منشأ سنگ‌های ماسه‌سنگی - شیلی استفاده کردند. که بر اساس توابع مورد استفاده در این نمودار، داده‌های ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت سنگ مادر رسوبی کوارتزی و شیل‌ها سنگ مادر مخلوط فلسیک تا حدواسط را نشان می‌دهند (شکل ۶).

۴-۲. نمودار تفکیکی (Bhatia (1983)

شیمی عناصر اصلی برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها استفاده می‌شود (برای مثال Armstrong-Altrin et al., 2004; Bhatia, 1983; Lee & Sheen, 1998; Bhatia (1983) (Roser & Korsch, 1986; Zimmermann & Bahlburg, 2003). معیارهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی را برای تفکیک جایگاه‌های زمین‌ساخت صفحه‌ای حوضه‌های رسوبی از روی مکان‌های ماسه‌سنگی شناخته شده ارائه داد، بر این اساس، وی جایگاه زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی را به چهار نوع اصلی تقسیم‌بندی می‌کند: جزایر کمانی اقیانوسی (A)، جزایر کمانی قاره‌ای (B)، حاشیه قاره‌ای فعال (C) و حاشیه قاره‌ای غیر فعال (D). ماسه‌سنگ‌های منشأ گرفته از این جایگاه‌های زمین‌ساختی می‌توانند توسط غنی‌شدگی یا تخلیه نسبی از عناصر متحرک و غیر متحرک مشخص شوند (Gateneh, 2000). با رسم نمودن داده‌های حاصل از تجزیه ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سازند شیرگشت بر روی نمودار تفکیکی باتیا بیشتر نمونه‌ها در محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۷).

۴-۳. نمودارهای دو بعدی

ماسه‌سنگ‌های عهد حاضر که در محیط‌هایی چون جزایر کمانی اقیانوسی و قاره‌ای و حاشیه‌های قاره‌ای فعال و غیرفعال نهشته شده‌اند، از نظر $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t}) + \text{MgO}$ و نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ و $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ دارای ترکیب متفاوتی هستند (Bhatia, 1983). (Bhatia (1983) از ترکیب شیمیایی یادشده برای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی استفاده نمود و بر این اساس یک‌سری نمودارهای دو بعدی ارائه کرد. با رسم نمودن داده‌های حاصل از تجزیه ماسه‌سنگ‌های شیرگشت بر روی این نمودارها بیشتر نمونه‌ها در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۸). مقادیر عنصری نمونه‌های مورد بررسی در نمودار $\text{TiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ در نزدیکی و خارج از محدوده حاشیه غیر فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۸-a). بیرون افتادگی نقاط از این محدوده، ناشی از تهی‌شدگی تیتانیم در نمونه‌های سنگی است. از آن جایی که عنصر تیتانیم به طور عمده در سنگ‌های مافیکی آتشفشانی بیرونی و آتشفشانی درونی غنی‌شدگی پیدا می‌کند (Ishiga et al., 1999) مقدار کم این عنصر را می‌توان به منشأ رسوبی مربوط دانست. در نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ نمونه‌ها در محدوده حاشیه غیرفعال قاره‌ای قرار گرفته است. از نکات قابل توجه در این نمودار کاهش چشمگیر نسبت آلومینیم به سیلیسیم است (شکل ۸-b). حذف فلدسپارها و قطعات سنگی و نبود کانی‌های رسی، در برابر افزایش میزان کوارتز می‌تواند دلیل کاهش زیاد نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ در ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی باشد. همچنین بنابر عقیده (Oase et al., 2006) فراوانی کم کانی‌های پتاسیم‌دار (فلدسپارها و کانی‌های رسی) در ترکیب ماسه‌سنگ‌ها موجب کاهش $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ شده است که چنین مطلبی با کاهش $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ در نمودار $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (شکل ۸-c) و میزان پایین کانی‌های فرومنیزین بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری (حسینی‌برزی و همکاران، ۱۳۸۷) مورد تأیید است.

همچنین در رسم داده‌های ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت بر روی نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (شکل ۸-d) داده‌های حاصل، پراکندگی زیادی را نشان می‌دهند. این مطلب می‌تواند به دلیل حضور سیمان‌های دیاژنتیکی دولومیتی در ماسه‌سنگ‌ها باشد (Das et al., 2006). بررسی‌های سنگ‌نگاری صورت گرفته بر روی ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت توسط حسینی‌برزی و همکاران (۱۳۸۷) نیز گواه از وجود سیمان دولومیتی در این ماسه‌سنگ‌ها هستند.

شده و باید که از بین دیگر داده‌ها حذف شود و در تعبیر و تفسیر هوازنگی مورد استفاده قرار نگیرد. اما دیگر نمونه‌ها در شکل ۱۴-الف، میزان بالای CIA را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده هوازنگی شدید این نمونه‌ها است.

بنابراین در این راستا (Cullers, 2000)، اندیس هوازنگی دیگری را برای ماسه‌سنگ‌های با میزان CaO بالا و متغیر، ارائه نمود. این اندیس به صورت زیر تعریف می‌شود:

که در این فرمول نیز اکسیدها به صورت نسبت ملکولی در نظر گرفته می‌شوند.

میزان CIW' به دست آمده در نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند شیرگشت از ۹۸/۲۱ تا ۹۶/۵۵ با میانگین ۹۶/۵۲ که این اعداد میزان هوازنگی شدید را برای این نمونه‌ها پیشنهاد می‌کند. بر این اساس شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب را برای ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد می‌کند. روندهای هوازنگی را می‌توان با استفاده از نسبت‌های مولی عناصر و توسط مثلث A-CN-K ($(Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)$)، نیز به دست آورد (Fedoto et al., 1995; Nesbitt and Young, 1984). در این نمودار اکسیدها به صورت نسبت ملکولی برآورد می‌شوند (Nesbitt, 2003).

در نمودار A-CN-K مسیر هوازنگی را می‌توان هم از روش نیمرخ هوازنگی و هم از روش برآوردهای ترمودینامیکی به دست آورد (Nesbitt and Young, 1984). بر روی این نمودار، مراحل آغازین هوازنگی، روندی موازی ضلع A-CN را خواهند داشت. زیرا در طول مراحل اولیه هوازنگی یون‌های سدیم و پتاسیم با تخریب فلدسپارها (پلاژیوکلازها)، برداشته می‌شوند، با ادامه روند هوازنگی فلدسپار پتاسیم‌دار (K-feldspars)، یون‌های پتاسیم آن نیز کاهش یافته و روند هوازنگی به سمت ترکیب Al_2O_3 تغییر مکان می‌دهد (Paikaray et al., 2008). یعنی در هوازنگی پیشرفته، افت آشکاری در میزان K_2O با حرکت ترکیب این عناصر به سمت رأس A، بروز می‌کند (Nesbitt and Young, 1984).

روندهای هوازنگی نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۱۴-ب، نشان داده شده است. رسم نمونه‌های ماسه‌سنگی و شیلی در این نمودار نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های ماسه‌سنگی در نزدیک به ترکیب اسمکتیت تا ایلیت رسم شده‌اند که نشان‌دهنده درجه بالایی از دگرسانی در این ماسه‌سنگ‌ها است. روند هوازنگی نمونه‌های شیلی با روند دیگر نمونه‌ها موازی و در نزدیک ترکیب مسکویت رسم شده‌اند. این نمونه‌ها در روند هوازنگی پیشرفته در محدوده کانی رسی ایلیت قرار می‌گیرند. با توجه به این شکل، شیل‌های این سازند هوازنگی شیمیایی کمتری را نسبت به ماسه‌سنگ‌ها دارا هستند.

رسم نمونه‌ها در فضای ترکیبی (Paikaray et al., 2008) نشان می‌دهد که داده‌ها در نزدیک خط A-CN و یا حالت موازی با آن قرار دارند و گسترش رسم نقاط به سمت خط وصل‌کننده فلدسپارها در نزدیک ترکیب گرانیات و گرانودیوریت در اساس نشان‌دهنده ترکیب حدواسط این رسوبات است (Paikaray et al., 2008). همچنین بر اساس بررسی‌های (Hessler and Lowe, 2006)، عدم رسم نمونه‌ها در نزدیک خط وصل‌کننده $Al_2O_3 - K_2O$ ، نشان می‌دهد که شرایط هوازنگی خیلی شدیدی در ناحیه سنگ مادر وجود ندارد. چنین مطلبی در مورد شیل‌ها سازند شیرگشت بیشتر صدق می‌کند که دارای هوازنگی کمتری در ناحیه سنگ مادر نسبت به ماسه‌سنگ‌ها هستند و از قطب Al_2O_3 و خط وصل‌کننده $Al_2O_3 - K_2O$ ، فاصله بیشتری دارند، که نزدیک‌تر به خط وصل‌کننده فلدسپارها هستند (شکل ۱۵)، این مطلب نشان‌دهنده میزان درصد فلدسپار بیشتر در آنها و همچنین شرایط هوازنگی کمتر نسبت به ماسه‌سنگ‌ها است که تأییدی بر نتایج نمودار A-CN-K (Nesbitt and Young, 1984) است. رسم نمونه‌ها در این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌های شیلی و ماسه‌سنگی پخش‌شدگی و محدوده وسیعی را نسبت به خط وصل‌کننده فلدسپارها، در نمودار نشان نمی‌دهند که چنین روندی نشان‌دهنده هوازنگی شیمیایی شدید یا حضور چرخه دوباره در رسوبات آواری سازند

نسبت K_2O/Al_2O_3 کانی‌های رسی و فلدسپارها با هم متفاوت بوده (Young, 2002) و در کانی‌های رسی دارای محدوده ۰/۰ تا ۰/۳ و در فلدسپارها در محدوده ۰/۳ تا ۰/۹ قرار می‌گیرند (Cox et al., 1995). محدوده ترکیب ایلیت نزدیک به خط جداکننده ترکیب کانی‌های رسی و فلدسپارها است (Potter, 1978). در نمودار K_2O/Al_2O_3 (شکل ۱۳) ترکیب شیل‌های سازند شیرگشت در نزدیکی ترکیب ایلیت قرار می‌گیرند. نسبت بالای K_2O/Al_2O_3 (بیشتر از ۰/۳) نشان‌دهنده منشأ گرانیتی برای شیل‌ها است (Lee and Sheen, 1998). با توجه به قرارگیری داده‌ها در نزدیکی خط جداکننده کانی‌های رسی از فلدسپارها، می‌توان سنگ منشأ شیل‌های سازند شیرگشت را، یک سنگ حد واسط تا گرانیتی معرفی نمود.

۹- هوازنگی ناحیه منشأ

ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی تابع پیچیده‌ای از طبیعت سنگ‌های رسوبی، شدت و دوره هوازنگی، چرخه رسوبی دوباره، دیاژنز و جورشدگی است (Jin et al., 2006b; McLennan et al., 1993). تجزیه‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی سنگ‌های آواری، وسیله مناسبی برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی در ماسه‌سنگ‌هایی هستند که تحت تأثیر شدید دیاژنز و دگرگونی یا دیگر فرایندهای دگرسانی و هوازنگی قرار نگرفته‌اند (McLennan et al., 1993). بنابراین، لازم است برای بررسی و ارزیابی انواع برخاستگاه رسوبات، نقش هوازنگی و تعیین دیاژنز نیز مورد بررسی قرار گیرد (McLennan et al., 1993; Nesbitt and Young, 1982; Nesbitt et al., 1980; Ohta and Sakai, 2004). دگرسانی سنگ‌ها در طول هوازنگی باعث تخلیه عناصر خاکی و قلیایی شده و به نسبت باعث افزایش نسبی Al_2O_3 می‌شود (Garcia et al., 2004).

تاریخچه هوازنگی سنگ‌ها را اغلب توسط محاسبه نسبت اکسیدهای متحرک CaO ، K_2O ، Na_2O نسبت به اکسید غیرمتحرک Al_2O_3 برآورد می‌کنند، اندیسی که در این رابطه بیشترین کاربرد را دارد، اندیس شیمیایی دگرسانی (CIA) است که توسط Nesbitt and Young, (1982) پیشنهاد شد. این اندیس توسط فرمول زیر به دست می‌آید و اکسیدها در آن به صورت نسبت مولی بیان می‌شوند.

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]$$

CaO ، کلسیم حاضر در اجزای سیلیکاتی سنگ است و در نمونه‌هایی که CaO بالای آنها مربوط به سیمان‌های دیاژنتیکی است، این میزان باید تصحیح شود. CIA ممکن است پایین، متوسط یا بالا باشد که این محدوده تغییرات CIA از ۵۰ تا ۱۰۰ است. افزایش مقدار CIA از پایین به بالا با درجه دگرسانی شیمیایی مرتبط است. CIA پایین نشان‌دهنده این است که دگرسانی وجود نداشته یا خیلی پایین بوده است، و منعکس‌کننده شرایط اقلیمی سرد و خشک است، در حالی که CIA متوسط و بالا با انتقال کاتیون‌های متحرک (همانند Ca^{2+} ، Na^+ ، K^+) و باقی‌ماندن تشکیل‌دهنده‌های $(Al^{3+}$ ، $Ti^{4+})$ با تحرک کمتر مرتبط است (Nesbitt and Young, 1982). به منظور تعیین دقیق میزان CIA و حذف CaO حاصل از سیمان‌های کربناتی، نمونه‌های CaO بالاتر از ۵۰ درصد در نظر گرفته نمی‌شوند (Nesbitt, 2003). میزان CIA محاسبه شده برای ماسه‌سنگ‌های بررسی شده ۱۵/۳ تا ۹۰/۷۳ و شیل‌ها ۶۶/۷۱ تا ۷۶/۲۳ محاسبه شده است و به طور میانگین در بخش‌های ماسه‌سنگی و شیلی سازند شیرگشت به ترتیب ۶۹/۸۹ و ۷۳/۱۸ است. CIA بالاتر نمونه‌های شیلی نسبت به ماسه‌سنگ‌ها نشان‌دهنده تمرکز بیشتر محصول‌های هوازنگی به صورت کانی‌های رسی در شیل‌ها است (Paikaray et al., 2008).

گاهی اوقات استفاده از اندیس CIA در نمونه‌هایی که میزان CaO تغییرات زیادی نشان می‌دهد، نتایج جالب توجهی را ارائه نمی‌کند (Cullers, 2000). این مورد در نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند شیرگشت قابل دیدن است. به طوری که در دو نمونه (Q13 و B20) از ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت، میزان بالای CaO ، (شکل ۱۴-الف) باعث پایین آمدن میانگین CIA برآورد شده برای این ماسه‌سنگ‌ها

قاره‌ای غیرفعال برای این ماسه‌سنگ‌ها است.

بر اساس بررسی‌های (Crook (1974 نیز، رسوبات حاشیه قاره‌ای غیرفعال به طور کلی دارای رسیدگی بالایی بوده و در حوضه‌های درون صفحه‌ای (Plateinteriors) در حاشیه قاره‌ای پایدار (Stable continental margin) و یا در اینتراکراتون (Intracratonic) نهشته می‌شوند. قابل توجه است که این مطلب، توسط بررسی‌های سنگ‌نگاری و تجزیه مودال انجام شده توسط حسینی برزی و همکاران (۱۳۸۷) نیز تأیید می‌شود. شواهد سنگ‌نگاری از جمله فراوانی کوارتزهای تک‌بلورین با خاموشی مستقیم و گردش‌گی خوب، نبود پلاژیوکلازها و کانی‌های فرومیتزین، حضور دانه‌های زیرکن و تورمالین گردشده (حسینی برزی و بایت گل، ۱۳۸۸) نشانگر اشتقاق رسوبات از بخش‌های کراتون درونی طی چرخه‌های دوباره رسوبی و نهشته شدن آنها در مناطق حاشیه قاره‌ای غیرفعال است (Crook, 1974).

افزون بر این با توجه به نمودارهای Roser and Korsch (1988; 1986) سنگ مادر، این ماسه‌سنگ‌ها رسوبی کوارتزی با مفهوم چرخه دوباره است. بر اساس نتایج این نمودارها، مهم‌ترین سنگ مادر برای ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی، رسوبات کوارتزی قدیمی هستند که در نتیجه بالا آمدگی (Uplift) در بخش‌های کراتون درونی رخنمون می‌یابند. با توجه به رخساره‌های سنگی ارائه شده توسط Dickinson (1988) و برخاستگاه زمین‌ساختی پیشنهاد شده برای هر یک از آن‌ها و نتایج داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی (مقادیر کم اکسیدهای SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO و مقدار بالای SiO_2)، ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت دارای رخساره کوارتزی هستند. چنین رخساره‌ای بر اساس بررسی‌های Dickinson (1988)، دارای مقدار فراوانی کوارتز تک‌بلورین و مقدار کمتری کوارتز چندبلورین و فلدسپار است.

از نظر جایگاه زمین‌ساختی شیل‌های سازند شیرگشت بر اساس نمودارهای Bhatia (1983)، حاشیه قاره‌ای غیرفعال و سنگ مادر آن نیز بر اساس نمودار Roser and Korsch (1988)، (شکل ۶) و نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ حدواسط تا گرانیتی است. نمونه‌های شیلی تخلیه شدیدی در CaO و P_2O_5 , MnO و غنی‌شدگی در Al_2O_3 , K_2O , MgO , Fe_2O_3 و TiO_2 را نشان می‌دهند. غنی‌شدگی در K_2O و Al_2O_3 می‌تواند به حضور فازهای رسی بیشتر در این نمونه‌ها نسبت داد. میزان بالای K_2O به میزان بالای کانی‌های پتاسیم‌دار از جمله فلدسپارها و کانی‌های رسی همچون ایلیت و کلریت نسبت داده می‌شود (Deru et al., 2007). بنابراین می‌توان مقادیر خیلی بالای K_2O (شکل ۱۰ و شکل ۱۱) در نمونه‌های شیلی سازند شیرگشت را به حضور کانی‌های پتاسیم‌دار و کانی‌های رسی ایلیت و کلریت نسبت داد. قابل بیان است که در بررسی‌های صورت گرفته بر روی شیل‌های سازند شیرگشت، به وسیله SEM و XRD کانی‌های رسی ایلیت، کلریت و مونت‌موریلونیت شناسایی شده، بیشتر ایلیت دیده شده در این سازند به صورت دیاژنزی بوده و از تبدیل کانی رسی مونت‌موریلونیت حاصل شده است (بایت گل، ۱۳۸۸).

تعیین اثرات هوازدگی منشأ با استفاده از شاخص CIA، نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت به شدت هوازده بوده است این در حالی است که نمونه‌های شیلی شرایط آب و هوایی معتدل تری را نسبت به ماسه‌سنگ‌ها در طول ته‌نشست خود (با توجه به نمودارهای A-CN-K) (شکل ۱۴ و ۱۵) پیشنهاد می‌دهند. هوازدگی بیشتر ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت، در مقایسه با شیل‌ها به پایداری نسبی زمین‌ساختی و شرایط مرطوب تر در طول رسوبگذاری آنها نسبت داده می‌شود.

۱۱- نتیجه‌گیری

وارد نمودن داده‌های حاصل از تجزیه‌های ژئوشیمی عناصر اصلی نهشته‌های سیلیسی آواری سازند شیرگشت ماسه‌سنگ‌های این سازند را کوارتز آرنایت و شیل‌های آن

شیرگشت است. بدین ترتیب ترکیب هموزن ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سازند شیرگشت نشان‌دهنده هوازدگی با محدوده یکنواخت است، جایی که میزان فرسایش و هوازدگی در تعادل بوده‌اند و بر اساس بررسی‌های (Nesbitt et al. (1980 و Carlos et al. (2003 چنین شواهدی نشان‌دهنده سنگ مادر هوازده در آب و هوای گرم و مرطوب با شرایط پایدار زمین‌ساختی است.

لازم به یادآوری است که برخاستگاه حاشیه قاره‌ای غیرفعال و روندهای دیده شده در اکسیدهای اصلی این رسوبات دلالت بر دوره طولانی از هوازدگی در آب و هوای گرم و مرطوب است، به طوری که افزایش شاخص بلوغ شیمیایی از جمله میزان SiO_2 و $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (فازهای کم‌تحرك) در تطابق با میزان بالای کوارتز و بلوغ (maturity) بالای این نهشته‌ها، تأییدی بر این مطلب است. این میزان در طی دوره طولانی از هوازدگی در آب و هوای گرم و مرطوب در نتیجه افزایش کوارتز نسبت به اجزای ناپایدار مثل فلدسپار و قطعه سنگی، افزایش می‌یابد. البته نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در سنگ‌های رسوبی نیز نشان‌دهنده بلوغ رسوبی است (Carlos et al., 2003). میزان بالای این نسبت در نهشته‌های سازند شیرگشت نشان‌دهنده بلوغ رسوبی ترکیبی خیلی بالا در ماسه‌سنگ‌ها و فاصله حمل طولانی در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب است.

چنین شرایط آب و هوایی با انتقال کاتیون‌های متحرک (همانند Ca^{2+} , Na^+ , K^+) و باقی‌ماندن تشکیل‌دهنده‌های $(\text{Al}^{3+}$, $\text{Ti}^{4+})$ با تحرك کمتر مرتبط است (Nesbitt and Young, 1982) که باعث کاهش فراوانی فلدسپارها و کانی‌های رسی که میزان آنها در کنترل میزان عناصر CaO , Na_2O و K_2O (فازهای متحرک) است، می‌شود. این نتایج با بررسی‌های سنگ‌نگاری و تجزیه مودال این ماسه‌سنگ‌ها (بایت گل، ۱۳۸۸ و حسینی برزی و همکاران، ۱۳۸۷) از جمله میزان بالای کوارتز (بیش از ۹۵ درصد)، میزان پایین فلدسپار و قطعات سنگی ناپایدار (کمتر از ۵ درصد)، بلوغ ترکیبی و بافتی بالای این ماسه‌سنگ‌ها و البته شواهد ناچیزی از چرخه دوباره سیمان رشد اضافی (گرد شده در پیرامون دانه‌های کوارتز) همخوانی دارد. به طوری که فراوانی کانی‌های سنگین همچون زیرکن، تورمالین و اسفن نیز نبود فلدسپار به همراه مقادیر کمی از قطعات سنگی از نوع چرت نشان از یک دوره طولانی هوازدگی شیمیایی شدید در ناحیه منشأ طی آب و هوای گرم و مرطوب است (Pettijohn et al., 1987). همچنین با توجه به نمودار ژئوشیمیایی Suttner and Dutta (1986)، در تعیین آب و هوا با استفاده از اکسیدهای اصلی (شکل ۱۶)، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در این نمودار شرایط شدید آب و هوایی گرم و مرطوب را نشان می‌دهند که این مطلب نیز می‌تواند تأییدی بر نتایج سنگ‌نگاری و روند عناصر به دست آمده از بررسی‌های ژئوشیمیایی این ماسه‌سنگ‌ها باشد.

۱۰- بحث

با توجه به نمودارهای ارائه شده توسط Bhatia (1983) می‌توان بیان نمود که جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت، حاشیه قاره‌ای غیرفعال است. مهم‌ترین شواهد جایگاه زمین‌ساختی در این نمودارها روند کاهشی CaO و K_2O , Na_2O (فازهای متحرک) و غنی‌شدگی SiO_2 و Al_2O_3 (فازهای کم‌تحرك) است که چنین روندی باعث افزایش رسیدگی بافتی و بلوغ شیمیایی بالای ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی می‌شود. روند این اکسیدها میزان کوارتز، فلدسپار، میکا و پلاژیوکلازها را در رسوبات سیلیسی-آواری کنترل می‌کنند (Huntsman-Mapila et al., 2009)، به طوری که نسبت فازهای غیرسیال به سیال به سمت حواشی غیرفعال قاره‌ای در نتیجه پایداری زمین‌ساختی و هوازدگی طولانی افزایش می‌یابد (Armstrong-Altrin et al., 2004; Zimmermann & Bahlburg, 2003). در نتیجه افزایش فازهای غیرسیال (Al_2O_3 و SiO_2) نسبت به فازهای سیال (CaO و K_2O , Na_2O) در ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت تأییدی بر جایگاه حاشیه

از حاشیه غیرفعال قاره‌ای با فرض آب و هوای معتدل در حضور چرخه دوباره به طور کامل فعال باشد.

سپاسگزاری

از همکاری آقایان مهدی شادان، علی محمد علی خاصی و اسد عبدی در جمع آوری نمونه‌ها و بررسی‌های صحرائی تشکر و قدردانی می‌شود. از تمامی مسئولان آزمایشگاه‌های دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، به خاطر کمک‌های بی‌شائبه در طول این بررسی تشکر می‌شود. در انتها از داوران محترم که با نظرات خود به ارتقای سطح علمی این مقاله کمک نموده‌اند سپاسگزاریم.

را شیل فاقد آهن نشان می‌دهد که مطابق با نتایج حاصل از بررسی‌های سنگ‌نگاری است. داده‌های ژئوشیمیایی مانند داده‌های حاصل از تجزیه مودال حاکی از برخاستگاه رسوبی کوارتزی، چرخه دوباره و جایگاه زمین‌ساختی حاشیه غیرفعال قاره‌ای است. تجزیه داده‌های حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی نهشته‌های سیلیسی-آواری سازند شیرگشت سنگ مادر ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت را رسوبی کوارتزی و سنگ مادر شیل‌های این سازند را حدواسط تا اسیدی معرفی می‌نماید. با توجه به میزان هوازدگی سنگ منشأ که در این بررسی در حد شدید ارزیابی شده و با توجه به شواهد سنگ‌نگاری در این باره به نظر می‌رسد که حاشیه غیرفعال قاره‌ای را با فرض آب و هوای گرم و مرطوب همراه با برخاستگاه رسوبی محتمل تر

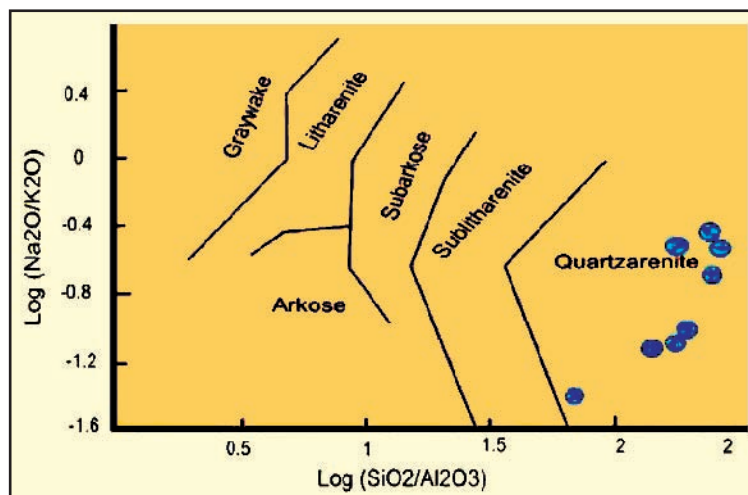
جدول ۱

(a) درصد عناصر اصلی در ماسه‌سنگ‌ها و مقادیر برآورد شده CIA و CIW

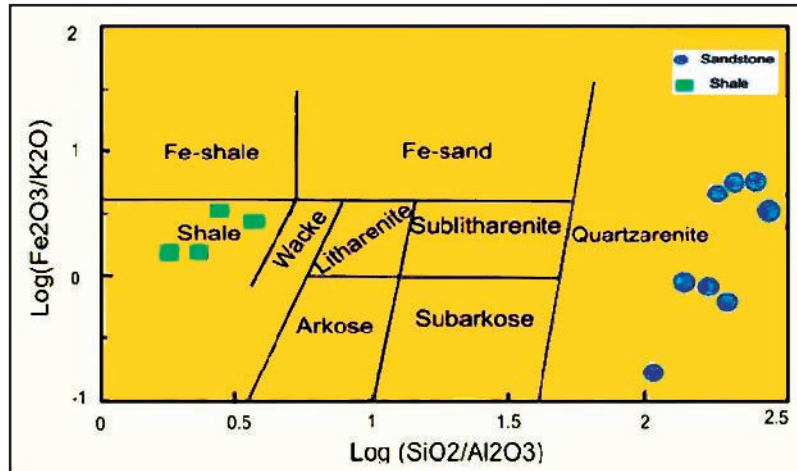
S.N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Total	CIA	CIW
Q1	98.67	0.55	0.01	0.01	0.01	0.07	0.05	0.037	0.001	0.034	99.52	85.93	98.21
B6	98.77	0.36	0.26	0.02	0.05	0.02	0.04	0.040	0.006	0.003	99.59	80	87.8
3Q	98.63	0.46	0.04	0.05	0.01	0.05	0.01	0.095	0.002	0.027	99.64	80.7	97.87
13Q	95.87	0.95	0.03	1.57	0.01	0.15	0.03	0.031	0.003	0.842	99.36	35.44	98.95
20B	95.13	0.43	0.35	2.37	0.01	0.05	0.50	0.073	0.038	0.648	99.71	15.03	97.72
2B	98.90	0.41	0.03	0.02	0.01	0.05	0.01	0.034	0.001	0.020	99.56	83.67	97.61
10B	99.002	0.28	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.033	0.001	0.020	99.51	90.32	96.55
4B	98.95	0.37	0.31	0.01	0.01	0.03	0.03	0.091	0.001	0.031	99.84	88.09	97.36

(b) درصد عناصر اصلی موجود در شیل‌ها و مقادیر برآورد شده CIA

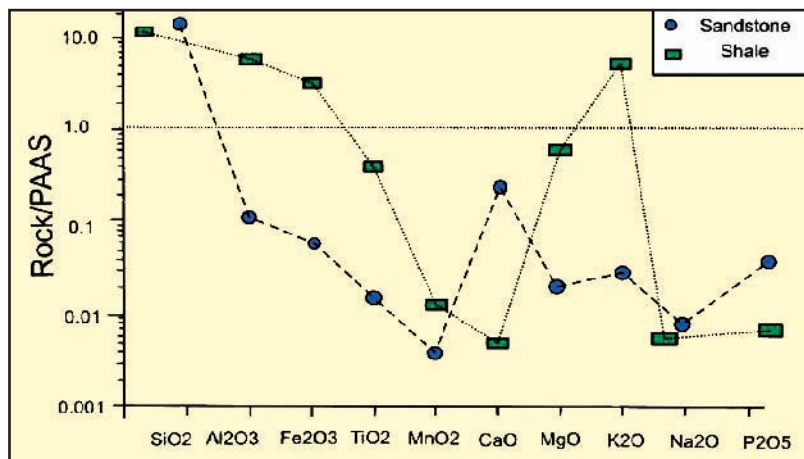
S.N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Ttotal	CIA
18	55.38	19.69	10.02	0.37	0.01	5.81	1.87	0.653	0.055	0.106	99.71	76.04
42	61.14	19.98	5.45	0.29	0.01	5.90	1.49	0.721	0.013	0.078	99.68	76.23
28	62.57	14.31	8.83	1.20	0.01	5.93	1.53	0.617	0.026	0.064	99.61	66.71
40	57.58	19.58	5.90	1.62	0.01	5.44	1.91	1.565	0.015	0.148	98.49	73.47



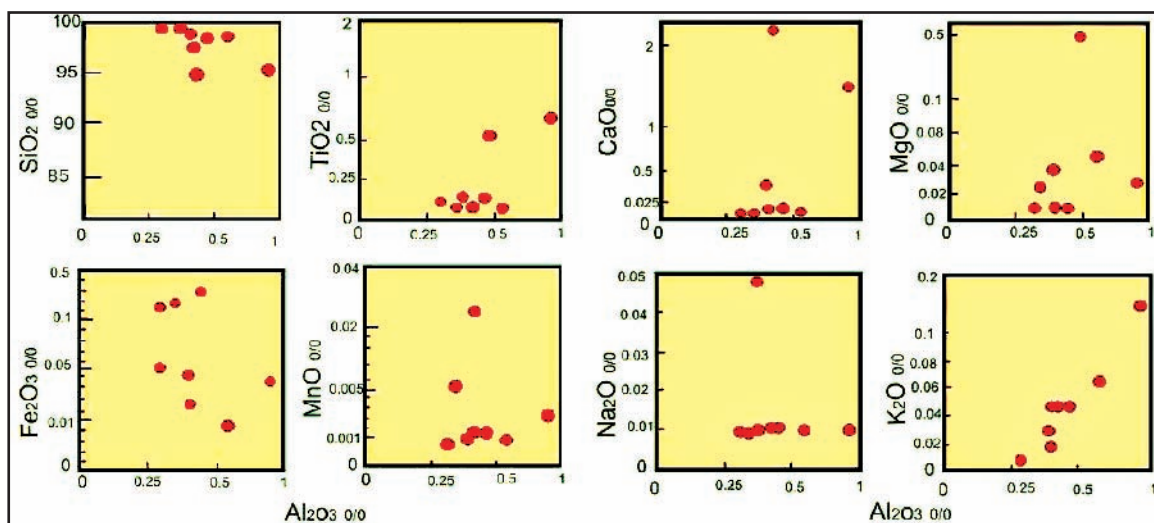
شکل ۱- طبقه‌بندی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌ها بر روی نمودار (Pettijohn et al. (1987) نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند شیرگشت در محدوده کوارتز آرنایت قرار می‌گیرند.



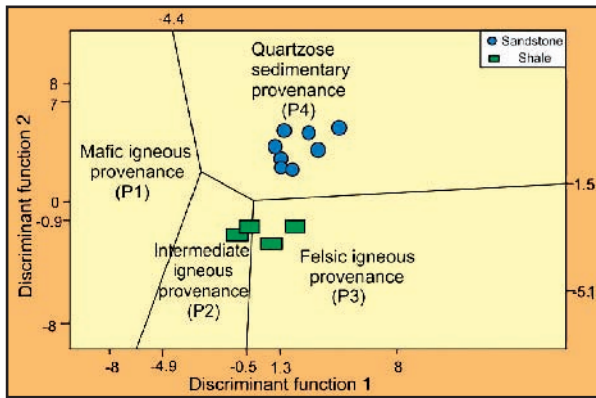
شکل ۲- طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها بر روی نمودار Herron (1988) نمونه‌های ماسه‌سنگی در محدوده‌های کوارتز آرنایت و نمونه‌های شیلی نیز در محدوده شیل فاقد آهن قرار می‌گیرند.



شکل ۳- بهنجار سازی نمونه‌ها نسبت به شیل میانگین پس آرکن استرالیا (PAAS: Post Archean Australian) در نمونه‌های ماسه‌سنگی و شیلی سازند شیرگشت. (Taylor and McLennan, 1985) (average Shale)

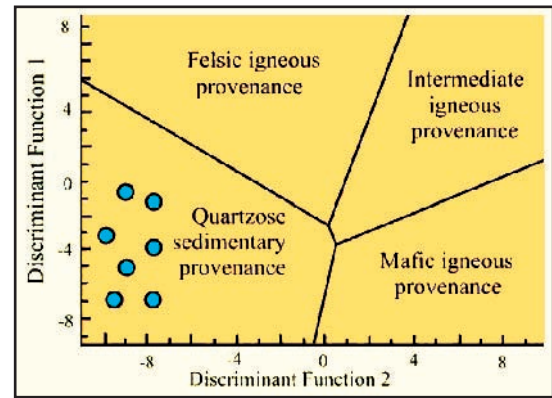


شکل ۴- بررسی تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به Al_2O_3 در ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت

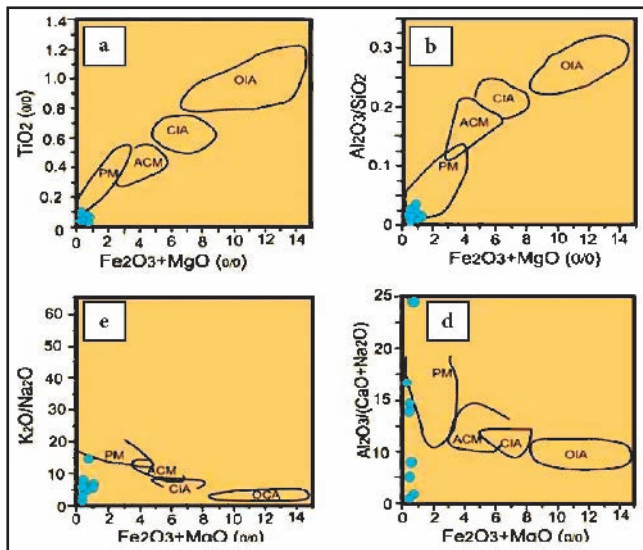


شکل ۶- نمایش داده‌های سازند شیرگشت بر روی نمودارهای تفکیک کننده تابعی بر اساس نسبت اکسیدهای اصلی (Roser and Korsch, 1988).

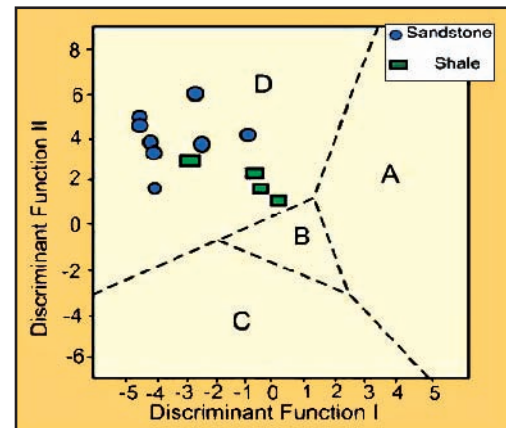
Discrimination Function 1: $30.638 \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$
 Discrimination Function 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 ۵- نمودار تابعی مشخص کننده برخاستگاه ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از اکسیدهای عناصر اصلی (Roser and Korsch, 1988). داده‌های نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند شیرگشت در محدوده برخاستگاه رسوبی کوارتزی قرار گرفته‌اند.
 Discrimination Function 1: $-1.733\text{TiO}_2 + 0.607\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.76 \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t}) - 1.5\text{MgO} + 0.616\text{CaO} + 0.509\text{Na}_2\text{O} - 1.224\text{K}_2\text{O} - 9.09$
 Discrimination Function 2: $0.445 \text{TiO}_2 + 0.07 \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.25 \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t}) - 1.142 \text{MgO} + 0.438 \text{CaO} + 1.475 \text{Na}_2\text{O} + 1.426 \text{K}_2\text{O} - 6.81$

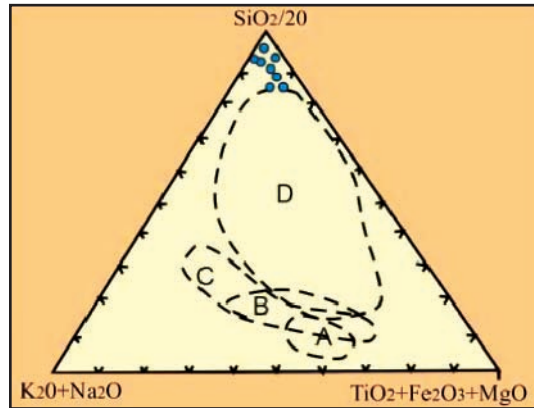


شکل ۸- نمودارهای بعدی Bhatia (1983) با استفاده از اکسیدهای اصلی. چهار محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیر فعال (PM)، جزایر اقیانوسی (OIA)، حاشیه قاره‌ای فعال (CIA)، حاشیه قاره‌ای غیر فعال (ACM)، نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند شیرگشت در محدوده حاشیه قاره‌ای غیر فعال قرار می‌گیرند. کاهش نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ، به فراوانی کم کانی‌های پتاسیم‌دار در ترکیب ماسه‌سنگ‌ها و همچنین پراکندگی در رسم داده‌ها بر روی نمودار با نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ در برابر $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ به حضور سیمان‌های دیباژنتیکی دولومیتی در ماسه‌سنگ‌ها نسبت داده می‌شود.

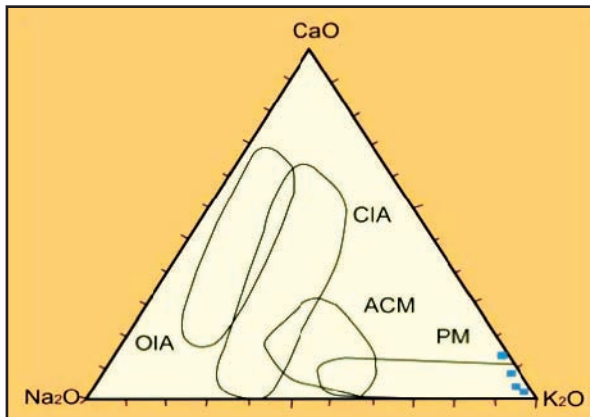


شکل ۷- نمودارهای تفکیکی Bhatia (1983) با استفاده از اکسیدهای عناصر اصلی. نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند شیرگشت در محدوده حاشیه قاره‌ای غیر فعال قرار می‌گیرند.

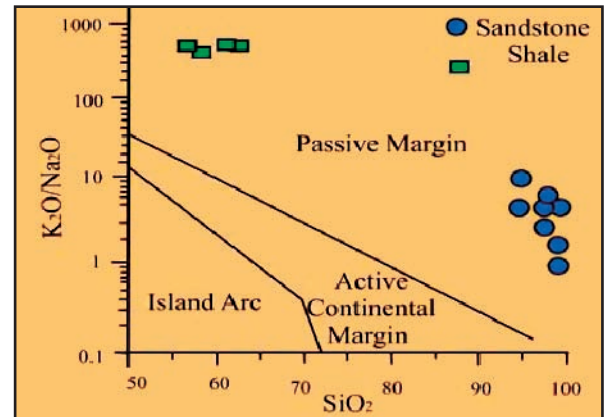
Discrimination Function 1: $-0.0447\text{SiO}_2 - 0.972 \text{TiO}_2 + 0.008 \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.267 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.208\text{FeO} - 3.082\text{MnO} + 0.140\text{MgO} + 0.195\text{CaO} + 0.719 \text{Na}_2\text{O} - 0.032 \text{K}_2\text{O} + 7.510 \text{P}_2\text{O}_5 + 0.303$
 Discrimination Function 2: $-0.421 \text{SiO}_2 + 1.988 \text{TiO}_2 - 0.526 \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.551 \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1.610 \text{FeO} + 2.720 \text{MnO} + 0.881 \text{MgO} - 0.907 \text{CaO} - 0.177 \text{Na}_2\text{O} - 1.840 \text{K}_2\text{O} + 7.244 \text{P}_2\text{O}_5 + 43.57$



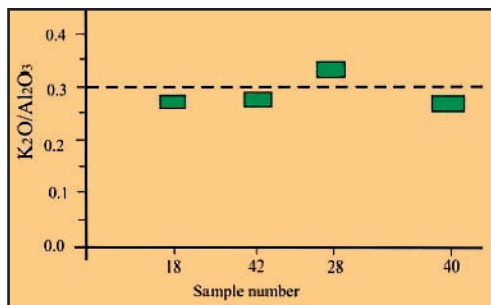
شکل ۹- نمودار سه تایی (Kroonenberg, 1994). داده های اکسیدهای اصلی ماسه سنگ های سازند شیرگشت در محدوده حاشیه غیر فعال قاره ای قرار گرفته اند. جابه جایی نمونه ها به سمت قطب SiO_2 به دلیل ترکیب کوآرتز آرنایتی این ماسه سنگ ها است.



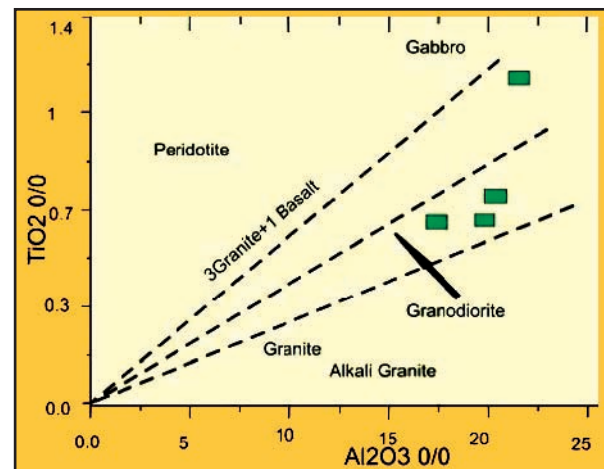
شکل ۱۱- رسم نمونه های شیلی در نمودار سه تایی $(CaO - Na_2O - K_2O)$ ، از Bhatia (1983)، که به وسیله Toulkeridis et al. (1999) تصحیح شد، نشان می دهد که بیشتر نمونه ها در محدوده حاشیه قاره ای غیر فعال قرار دارند.



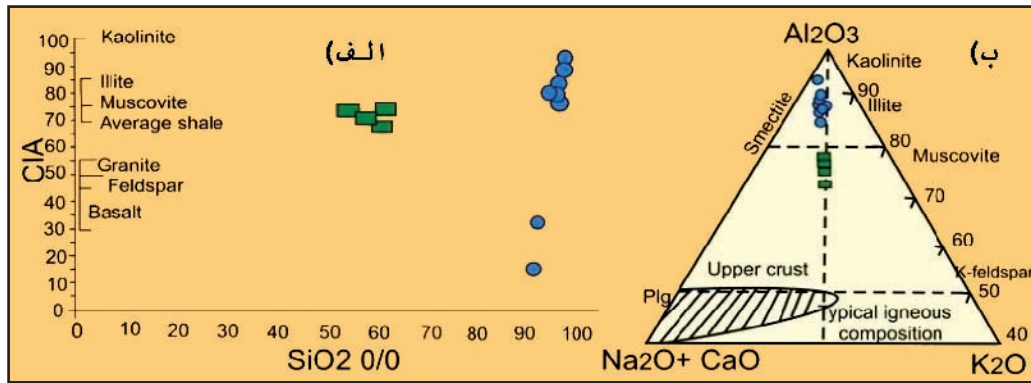
شکل ۱۰- نمودار دوتایی $SiO_2 - \log(K_2O/Na_2O)$ (Roser and Korsch, 1988). این نمودار نشان می دهد که ماسه سنگ ها و شیل های سازند شیرگشت در محدوده حاشیه قاره ای غیر فعال قرار می گیرند. میزان K_2O خیلی بالای در نمونه های شیلی نشان دهنده وجود کانی های پتاسیم دار در ترکیب این شیل ها است.



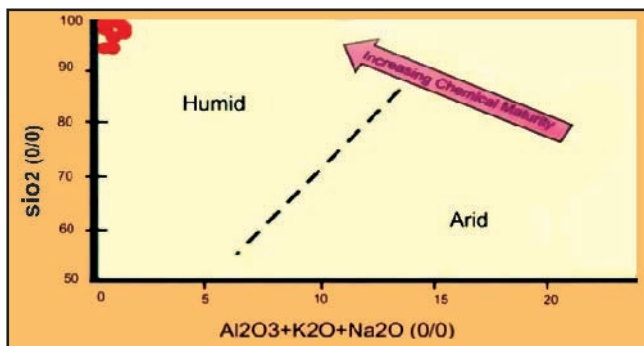
شکل ۱۳- نسبت K_2O/Al_2O_3 (Lee, 2002) به عنوان نشانگر خوبی برای تشخیص ترکیب شیل های قدیمی، ترکیب شیل های سازند شیرگشت را نزدیک به ترکیب ایلپیت نشان می دهد.



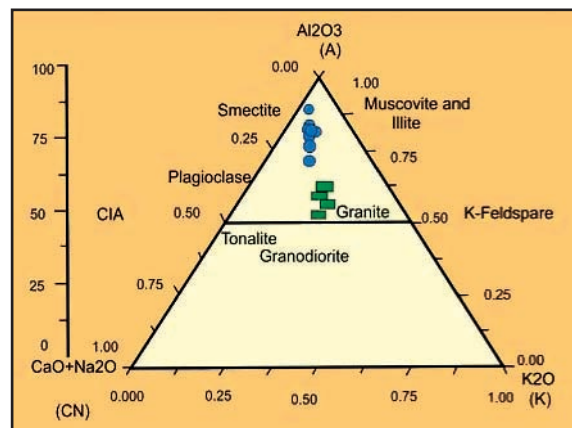
شکل ۱۲- نسبت اکسیدهای Al_2O_3/TiO_2 (Schieber, 1992)، در شیل های سازند شیرگشت نشان می دهد که شیل های سازند شیرگشت نزدیک به سنگ منشأ حدواسط تا گرانیتی است.



شکل ۱۴- روند هوازگی در مثلث A-CN-K در نمونه‌های سازند شیرگشت. نمونه‌ها در محدوده هوازگی شدید (منطقه ایلیت و اسمکتیت) قرار می‌گیرند (Nesbitt & Young, 1982, 1984; Fedo et al., 1995).



شکل ۱۶- نمودار دوتایی Suttner and Dutta (1986) نشانگر آب و هوای به شدت مرطوب برای منطقه منشأ ماسه‌سنگ‌های سازند شیرگشت است.



شکل ۱۵- رسم نمونه‌ها در فضای ترکیبی نمودار A-CN-K و میزان آن نسبت به خط وصل کننده فلدسپارها (Paikaray et al., 2008). نمونه‌های ماسه‌سنگی در محدوده هوازگی شدید (منطقه ایلیت و اسمکتیت) ولی نمونه‌های شیلی، محدوده هوازگی کمتری در ناحیه سنگ مادر نسبت به ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهند و از قطب Al_2O_3 و خط واصل Al_2O_3 - K_2O ، فاصله بیشتری دارند، که نزدیک‌تر به خط واصل فلدسپارها با ترکیب منشأ حدواسط قرار دارند.

کتابنگاری

- آفانیاتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- بایت گل، آ.، ۱۳۸۸- محیط رسوبی و دیاژنز ماسه‌سنگ‌ها در سازند شیرگشت در دو برش کوه عاشقان و کوه راهدار، طبس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی. ۲۲۱ صفحه.
- حسینی برزی، م.، بایت گل، آ.، ۱۳۸۹- تحلیل رخساره‌ای و محیط رسوبی نهشته‌های مخلوط سیلیسی آواری-کربناته سازند شیرگشت در بلوک کلمرد ایران مرکزی. مجله مطالعات زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد. رخساره‌های رسوبی. جلد ۲، شماره ۱. ص ۱-۲۴.
- حسینی برزی، م.، بایت گل، آ.، شادان، م.، ۱۳۸۷- پتروگرافی و برخاستگاه زمین‌ساختی سازند شیرگشت در مقاطع کوه عاشقان و کوه راهدار، بلوک کلمرد، ایران مرکزی. اولین همایش سراسری کاربرد روش‌های نوین در علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات.

References

- Akarish, A. I. M. and El-Gohary, A. M., 2008- Petrography and geochemistry of lower Paleozoic sandstones, East Sinai, Egypt: Implications for provenance and tectonic setting. *Journal of African Earth Sciences* 52. 43-54.
- Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y., Verma, S. and Ramasamy, S., 2004- Geochemistry of sandstones from the Upper Miocene Kudanul Formation, southern India: Implications for provenance, weathering and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research* 74 (2), 167-179.

- Bhatia, M. R. and Crook, K. W., 1986- Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib Mineral Petrol* ;92:181–93.
- Bhatia, M. R., 1983- Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*. 91, 611–627.
- Blatt, H., 1985- Provenance studies and mudrocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55, 69–75.
- Carlos, A. C., Marcelo, M. and Paulina, A., 2003- Composition, provenance, and tectonic setting of Ordovician siliciclastic rocks in Southern extension of the Precordillera crustal fragment, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 91–106p.
- Cingolani, C. A., Manassero, M. and Abre, P., 2003- Geoquímica de elementos traza y tierras raras de las sedimentitas de la Formación Pavo'n, Ordovícico del Bloque de San Rafael, Mendoza. XV Congreso Geológico Argentino, CD-Rom version.
- 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.
- Crook, K. A. W., 1974- Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variations in flysch arenites (graywackes). In: Dott Jr., R.H., Shaver, R.H. (Eds.), *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. SEPM Spec. Publ., vol. 19, 304–310.
- Cullers, R. L., 2000- The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51, 181–203.
- Cullers, R. L., 1994- The controls on the major and trace element variation of shales, siltstone and sandstones of Pennsylvanian- Permian age from uplifted continental blocks in Colorado of platform sediment in Kansas, USA, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(22), 4955-4972.
- Das, B. K., Al-Mikhailafi, A. S. and Kaur, P., 2006- Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Science* 26, 649-668.
- Deru, X., Xuexiang, G., Penghun, L., Guanghao, C., Bin, X., Bachinski, R., Zhuanli, H. and Gonggu, F., 2007- Mesoproterozoic-Neoproterozoic transition: geochemistry, provenance and tectonic setting of clastic sedimentary rocks on the SE margin of the Yangtze Block, South China. *Journal of Asian Earth Sciences* 29, 637–650.
- Dickinson, W. R. and Suczek, C., 1979- Plate tectonics and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 63, 2164–2182.
- Dickinson, W. R., 1988- Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins. In: Kleinspehn, K.L., Paola, C. (Eds.), *New Perspective in Basin Analysis*. Springer, New York., 3–25.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1995- Unraveling the effects of K-metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921–924.
- Garcia, D., Ravenne, C., Maréchal, B. and Moutte, J., 2004- Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis. *Sediment. Geol.* 171, 113–128.
- Gateneh, W., 2000- Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences* 35, pp. 185-198.
- Gu, X. X., Liu, J. M., Zheng, M. H., Tang, J. X. and Qi, L., 2002- Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, south China: Geochemical evidence: *Journal of Sedimentary Research.*, 72, 393-407.
- Hassan, S., Ishiga, H., Roser, B. P., Dozen, K. and Naka, T., 1999- Geochemistry of Permian –Triassic shales in the Salt Range, Pakistan: implications for provenance and tectonism at the Gondwana margin. *Chem. Geol.* 158, 293– 314.
- Hayashi, K., Fujisawa, H., Holland, H. D. and Ohmoto, H., 1997- Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 4115–4137.
- Herron, M. M., 1988- Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sed. Petrol.* 58, 820–829.
- Hessler, A. M. and Lowe, D. M., 2006- Weathering and sediment generation in the Archean: An integrated study of the evolution of siliciclastic sedimentary rocks of the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Precambrian Research* 151, 185–210.
- Huntsman-Mapila, P., Tiercelin, J.-J., Benoit, M., Ringrose, S., Diskin, S., Cotton, J. and Hémond, C., 2009- Sediment geochemistry and tectonic setting: Application of discrimination diagrams to early stages of intracontinental rift evolution, with examples from the Okavango and Southern Tanganyika rift basins. *Journal of African Earth Sciences* 53, 33–44.
- Ishiga, H., Dozen, K. and 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*. v, 17, p, 443-457.
- Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S. and Yu, J., 2006a- Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting and catchment weathering. *Geomorphology* 80, 147–163.
- Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S. and Yu, J., 2006b- Rare Earth Elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R., Mackay, G.A. (Eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. Min. Soc. Am., 21., 169–200.
- 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 29 International Geological Congress, Part A.*, 69–81.

- Lee, Y. I. and Sheen, D. H., 1998- Detrital modes of the Pyeongan Supergroup (Late Carboniferous –Early Triassic) sandstones in the Samcheog coalfield, Korea: implication for provenance and tectonic setting. *Sediment. Geol.* 119, 219–238.
- Lee, Y. I., 2002- Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic–early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea. *Sedimentary Geology* 149, 219– 235.
- McBride, E. F., 1985- Diagenetic processes that affect provenance determination in sandstone. In Zuffa G. G. (Ed.), *Provenance in Arenites*. Reidel Publishing Company .p 407. 95-113.
- McLennan, S. M., 1989- Rare Earth Elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R., Mackay, G.A. (Eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. *Min. Soc. Am.*, 21,. 169–200.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993- Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Processes Controlling the Composition of clastic sediments*. GSA Special Paper, 284, Boulder, 21–40.
- Nath, B. N., Kunzendorf, H. and Pluger, W. L., 2000- Influence of provenance, weathering and sedimentary processes on the elemental ratio of the fine-grained fraction of the bed load sediments from the Vembanad Lake and the adjoining continental shelf, southwest Coast of India. *J. Sed. Res.* 70, 1081–1094.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1982- Early Proterozoic climates and plate motions inferred from mayor 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 on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1523–1534.
- Nesbitt, H. W., 2003- Petrogenesis of siliciclastic sediments and sedimentary rocks. In: Lenz, D.R. (Ed.), *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks*, *Geotext*4. Geological Association of Canada, Newfoundland, 39–51.
- Nesbitt, H. W., Markovics, G. and Price, R. C., 1980- Chemical processes affecting alkalies and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44, 1659–1666.
- North, C. P., Hole, M. J. and Jones, D. G., 2005- Geochemical correlation in deltaic successions: a reality check. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 117, 620-632.
- Oase, S., Asiedu, D. K., Yakubo, B., Koeberl, C. and Dampare, S. B., 2006- Provenance and tectonic setting of Late Proterozoic Buem sandstones of southeastern Ghana: Evidence from geochemistry and detrital modes. *J. Afri. Earth. Sci.* 44, 85–96.
- Ohta, T. and Sakai, T., 2004- Deep-marine sedimentation and sequence evolution of the Toyora Group in the Nagato Basin, Inner Zone of SW Japan. *Special Issue, Journal of Geological Society of Thailand*, No.1, 45–60.
- Paikaray, S., Banerjee, S. and Mukherji, S., 2008- Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleoweathering. *Journal of Asian Earth Sciences* 32, 34–48.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R., 1987- *Sand and Sandstone*. (2nd ed.) Springer-Verlag, New York. 553.
- Potter, P. E., 1978. Petrology and chemistry of modern Big River sands. *J. Geol.* 86, 423–449.
- Rollinson, H. R., 1993- *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific and Technical, New York. 352 pp.
- Roser, B. P. and Korsch, R. J., 1986- Determination of tectonic setting, Roser, B. P.; Korsch, R. J. 1988: Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminate function analysis of major element data. *Chemical geology* 67: 119-139.
- Roser, B. P. and Korsch, R. J., 1988- Provenance signature of sandstone-mudstone suite determined using discriminate function analysis of major element data. *Chemical Geology*. 67, pp. 119–139.
- Schieber, J., 1992- A combined petrographical-geochemical provenance study of the Newland formation, Mid-Proterozoic of Montana. *Geological Magazine* 129, 223–237.
- Suttner, L. J. and Dutta, P. K., 1986- Alluvial sandstone composition and palaeoclimate: framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology* 56, 329–345.
- Taylor, S. R. and McLennan, S., 1985- *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell, Oxford, 312.
- Toulkeridis, T., Clauer, N., Kröner, A., Reimer, T. and Todt, W., 1999- Characterization, provenance, and tectonic setting of Fig Tree greywackes from the Archaen Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Sediment. Geol.* 124, 113–129.
- Wanas, H. A. and Abdel-Maguid, N. M., 2006- Petrography and geochemistry of the Cambro Ordovician Wajid Sandstone, southwest Saudi Arabia: Implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 416–429.
- Young, G. M., 2002- Stratigraphic and tectonic settings of Proterozoic glaciogenic rocks and banded iron-formations: relevance to the snowball Earth debate. *Journal of African Earth Sciences* 35, 451–466.
- Zhang, K. L., 2004- Secular geochemical variations of the Lower Cretaceous siliciclastic from central Tibet (China) indicate a tectonic transition from continental collision to back-arc rifting. *Earth Plan. Sci. Lett.* 229, 73–89.
- Zimmermann, U. and Bahlburg, H., 2003- Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the southern Puna Basin, NW Argentina. *Sedimentology* 50, 1079–1104.