

کانی‌شناسی و ژئوشیمی گلسنگ‌های نئوپروتروزویک کاهار در کوه کاهار (شمال باختر تهران)

نجمه اعتمادسعید^۱، محبوبه حسینی برزی^۲، محمدحسین آدابی^۳ و عباس صادقی^۴

^۱ دانشجوی دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۴ دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

چکیده

سازند کاهار در برش الگوی خود واقع در کوه کاهار، ۷۵ کیلومتری شمال باختر تهران، از حدود ۱۰۰۰ متر سنگ‌های آواری (بیشتر گلسنگ) تشکیل شده است. این مطالعه با تکیه بر روی ترکیب کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی این گلسنگ‌ها به دنبال شناسایی منشأ احتمالی و جایگاه زمین‌ساختی آنهاست. مطالعات میکروسکوپ نوری و XRD نشان می‌دهند که این گلسنگ‌ها از کوارتز، فلدسپار (به‌ویژه پلاژیوکلاز) و به‌میزان کمتر کانی‌های فیلسیلیکاتی (بیشتر اپلیت و کلریت) تشکیل شده‌اند. بررسی سنگ‌نگاری گلسنگ‌ها با استفاده از SEM-EDX نشان می‌دهد که فرم‌های صفحه‌ای اپلیت و کلریت ممکن است طی دیاژنز (اپلیتی شدن و کلریتی شدن) شکل گرفته باشند. تقسیم‌بندی گلسنگ‌های مورد مطالعه بر پایه اندیس بلوغ، آنها را تکتیک و فیلو-تکتیک، نهشته شده در حوضه‌های مرتبط با جایگاه زمین‌ساختی جزایر کماتی (قاره‌ای) نشان می‌دهد. اندیس شیمیایی دگرسانی (به‌طور میانگین ۷۰) و متغیرهای A-CN-K به‌دست آمده برای گلسنگ‌های کاهار، نشان‌دهنده هوازدهی شیمیایی متوسط در ناحیه منشأ آنهاست. همچنین، ترکیب شیمیایی گلسنگ‌ها، نشان از تأثیر کم چرخه مجدد رسوبی در نهشته‌های کاهار است. نمودارهای تفکیکی ژئوشیمیایی، نسبت عناصر فرعی غیر متحرک و نیز داده‌های عناصر خاکی کمیاب گلسنگ‌ها، نشان‌دهنده منشأ گرفتن رسوبات این گلسنگ‌ها از منشأهای فلسیک و نهشته شدن آنها در حوضه‌ای مرتبط با جایگاه زمین‌ساختی جزایر کماتی است. مدل به‌دست آمده برای جایگاه زمین‌ساختی حوضه کاهار در نئوپروتروزویک پسین را می‌توان توسط مدل‌های جدیدی که ایران را مشابه با زمین‌های کماتی آوالونیا و کادومیا به‌عنوان بخشی از زمین‌های حاشیه شمالی گندوانا در نظر می‌گیرند، تفسیر کرد.

کلیدواژه‌ها: سازند کاهار، گلسنگ، کانی‌شناسی، ژئوشیمی.

***نویسنده مسئول:** نجمه اعتمادسعید

E-mail: n_etemad@sbu.ac.ir

۱- پیش‌گفتار

(و احتمالاً همه ایران) است (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ Horton et al., 2008). برش نمونه این سازند در تقادیس کوه کاهار (Dedual, 1967)، حاوی بیش از یک کیلومتر گلسنگ با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های گری‌وکی و دولومیت‌های متبلور بیشتر استروماتولیتی است. مطالعات پیشین انجام شده روی این سازند محدود به بررسی ترکیب، محیط رسوبی و میکروفسیل‌ها بوده (برای نمونه: حمدی، ۱۳۷۴؛ لاسمی، ۱۳۷۹، قریب و همکاران، ۱۳۸۹) و خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های سیلیسی آواری این سازند، به‌ویژه مطالعه خاستگاهی گلسنگ‌های آن، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه خاستگاهی (Horton et al., 2008) روی زیرکن‌های آواری ماسه‌سنگ‌های کاهار نشان‌دهنده منشأ گرفتن این ماسه‌سنگ‌ها (همانند دیگر نهشته‌های آواری همسن در سرتاسر شمال آفریقا تا خاورمیانه) از کوهزایی "خاور آفریقا" است. اعتمادسعید و همکاران (۱۳۹۲) نیز با مطالعه ماسه‌سنگ‌های کاهار از راه تجزیه مودال و بررسی کانی‌های سنگین، خاستگاه زمین‌ساختی مرتبط با کمان‌های ماگمایی را برای این ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد دادند. افزون بر این، شرایط زمین‌ساختی حاکم بر ایران در زمان نئوپروتروزویک پسین مورد بحث‌های فراوانی قرار گرفته است و در بین پژوهشگران اختلاف نظرهایی در رابطه با ماگماتیسیم‌های مرتبط با کافت و یا کمان و در پی آن شرایط حاشیه غیر فعال و یا فعال قاره‌ای وجود دارد (برای نمونه: لاسمی، ۱۳۷۹؛ Ramezani & Tucker, 2003; Nadimi, 2007; Hassanzadeh et al., 2008; Horton et al., 2008; Saki, 2010). به همین دلیل، هدف این مقاله استفاده از ترکیب کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی گلسنگ‌های کاهار در تعیین ترکیب سنگ منشأ و شرایط زمین‌ساختی حاکم بر ایران طی نهشت این سازند در نئوپروتروزویک پسین است. بر این اساس این مطالعه که

مطالعه خاستگاه سنگ‌های رسوبی آواری، همانند بررسی اثر انگشت جغرافیای دیرینه است (Mondal et al., 2012; Jorge et al., 2013). در واقع، رسوبات آواری می‌توانند، سن، ترکیب و تاریخچه پسته قاره‌ای رخنمون یافته در زمان نهشت خود را به‌خاطر بسپارند. پیش فرض اساسی در مطالعات خاستگاهی، وابسته بودن ترکیب سنگ‌های رسوبی آواری به سنگ‌شناسی ناحیه منشأ، آب‌وهوا و ناهمواری‌هاست که همگی خود تحت کنترل زمین‌ساخت هستند (Armstrong-Altrin et al., 2013). فرایندهایی همانند هوازدهی، جورشدگی هیدرولیکی، تمرکز کانی‌های سنگین و دیاژنز نیز می‌توانند بر ترکیب رسوبات آواری اثر بگذارند (Fedro et al., 1995). تأثیر این فرایندها تا حد زیادی به‌مدت زمان سپری شده بین فرسایش و نهشت وابسته بوده و کمترین اثر را روی ترکیب رسوبات چرخه اول دارد (Potter et al., 2005). گلسنگ‌ها یا رسوبات آواری دانه‌ریز فراوان‌ترین نوع سنگ‌های رسوبی آواری هستند (Boggs, 2009). دو روش متداول جهت شناسایی خاستگاه گلسنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش اول بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی بخش رسی و نیز جزء سیلی و یا احیاناً جزء ماسه‌ای موجود در گلسنگ‌ها (سنگ‌نگاری)، خاستگاه این نهشته‌ها مشخص می‌شود. دومین روش برای مطالعه خاستگاه گلسنگ‌ها، آنالیز ژئوشیمیایی کل سنگ است (Boggs, 2009). به‌دلیل همگنی و نیز فراوانی بیشتر عناصر فرعی، گلسنگ‌ها بهتر از دیگر سنگ‌های آواری معرف ترکیب ناحیه منشأ هستند (McLennan et al., 2000). (DaPeng et al., 2012). توالی‌های رسوبی خوب حفظ شده با سن پرکامبرین کمیاب ولی در صورت وجود، دارای شواهد مهمی از تکامل قاره‌ای هستند. سازند کاهار با سن نئوپروتروزویک پسین، نماینده اولین نگاهت‌های رسوبی در ناحیه البرز

آلی و آهن و ۴ تیمار اشباع پتاسیم، اشباع منیزیم، تیمار حرارتی و تیمار اتیلن گلیکول انجام شده است. برای شناسایی و جدایش رس‌های دیاژنزی، سطح تازه سنگی این نمونه‌ها پس از پوشیده شدن با طلا، توسط میکروسکوپ الکترونی مدل Philips XL30 مجهز به تجزیه‌گر EDX (Energy Dispersive X-ray Microanalysis) در دانشگاه تربیت مدرس تهران مورد بررسی قرار گرفت. ۱۱ نمونه گلسنگی نیز برای بررسی‌های ژئوشیمیایی و تعیین میزان اکسیدهای اصلی توسط دستگاه فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و همچنین تعیین میزان عناصر فرعی توسط دستگاه پلاسما جفت شده القایی (ICP) انتخاب شده و در سازمان زمین‌شناسی تهران مورد بررسی قرار گرفتند.

۴- نتایج

۴-۱. کانی‌شناسی

کانی‌های اصلی سازنده سیلتستون‌های سازند کاهار (نمونه‌های گلسنگی درشت‌دانه) به ترتیب فراوانی کانی‌های زوایه‌دار تا نیمه‌زوایه‌دار کوارتز، فلدسپار (به ویژه پلاژیوکلاز) و کانی‌های ورقه‌ای همانند مسکوویت، هستند (شکل‌های ۲- الف تا پ). مطالعه رس سنگ‌های کاهار با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مجهز به تجزیه‌گر EDX، نشان‌دهنده وجود مسکوویت، به صورت ورقه‌های جهت‌یافته (شکل ۲- ت) و نیز کانی‌های رسی ایلیت و به میزان کمتر کلریت، به فرم دیاژنزی صفحه‌ای است (شکل‌های ۲- ث تا ج). مطالعه XRD نشان می‌دهد که رس سنگ‌های کاهار از کانی‌های کوارتز (۶۲-۴۶٪)، فلدسپار (۲۸-۲٪)، کانی‌های گروه میکا/مسکوویت (۱۱-۷٪)، کلسیت (۳-۰٪) و کانی‌های رسی ایلیت، کلریت و کانولینیت (۴۲-۴٪) تشکیل شده‌اند (جدول ۱). فلدسپارها بیشتر با پیک d (۲-spacing) ۳/۱۹ و ۳/۲۰ به ترتیب از نوع پلاژیوکلاز آلریت و آتوریت هستند. اندیس بلوغ گلسنگ‌ها بر پایه روش باتیا (Bhatia, 1985b) محاسبه شده است. این اندیس از نسبت درصد فیلسیلیکات‌ها به مجموع فیلسیلیکات‌ها، کوارتز و فلدسپار به دست می‌آید. در گلسنگ‌های مورد مطالعه میزان $MMI\%$ در محدوده ۳۷-۱۶ در تغییر است (جدول ۱).

۴-۲. ژئوشیمی کل سنگ

مقادیر عناصر اصلی و فرعی نمونه‌های گلسنگی مورد مطالعه در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. عناصر اصلی با ترکیب شیل‌های میانگین پست آرکن استرالیا (PAAS; Taylor & McLennan, 1985) مقایسه شده‌اند. همان‌گونه که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و TiO_2 در محدوده ترکیب شیل میانگین قرار می‌گیرند، در حالی که CaO و Na_2O افت و MgO غنی‌شدگی نشان می‌دهند. تغییرات در عناصر اصلی نمونه‌های مورد مطالعه روی نمودارهای دومتغیره هارکر نیز نشان داده شده است (شکل ۳). مقادیر نسبت‌های SiO_2/Al_2O_3 (۳/۱۴) تا Al_2O_3/TiO_2 (۳/۸۲)، Al_2O_3/Fe_2O_3 (۱۹/۵۰ تا ۲۷/۸۳)، میانگین (۲۱/۷۱) و نیز اندیس هوازگی شیمیایی $CIA = (Al_2O_3/Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) \times 100$ (۶۵/۲۰) تا ۷۳/۶۲ درصد، میانگین ۷۰/۶۹ درصد) در گلسنگ‌های مورد مطالعه محاسبه و در جدول ۲ نشان داده شده است.

۵- بحث

۵-۱. هوازگی ناحیه منشأ

شدت تأثیر هوازگی روی رسوبات آواری، که از عوامل مؤثر بر ترکیب آنهاست را می‌توان از راه بررسی ارتباط میان عناصر قلیایی و عناصر قلیایی خاکی (همانند اندیس شیمیایی دگرسانی) به دست آورد (Nesbitt & Young, 1982; Srivastava et al., 2013). میزان CIA در گلسنگ‌های مورد مطالعه پراکندگی زیادی نشان نمی‌دهد (۶۲/۷۳-۶۵/۲۰) و بیشترین مقادیر آن (۷۳-۷۰) در محدوده CIA برای شیل‌های پست آرکن استرالیا (PAAS: 70-75) در

دربار دارنده اولین بررسی سیستماتیک ترکیب شیمیایی گلسنگ‌های سازند کاهار است، در تبیین شرایط زمین‌ساختی حاکم بر البرز طی پرکامبرین پسین و روشن ساختن ابهامات موجود در این زمینه، دارای اهمیت است.

۲- زمین‌شناسی ناحیه

از دید زمین‌شناسی، فلات ایران متشکل از چندین واحد ساختاری است که بر پایه رده‌بندی آق‌نابتی (۱۳۸۳)، ناحیه مورد مطالعه در شمال پهنه ساختاری ایران مرکزی و از دید جغرافیایی در البرز مرکزی جای دارد (شکل ۱- الف). برش نمونه سازند کاهار (Dedual, 1967) بررسی شده در این مطالعه، حدود ۷۵ کیلومتری شمال تهران (36° 05' 22" N, 51° 04' 5" E) در کوه کاهار و بخشی از تاقدیس کاهار است. مرز زیرین سازند کاهار در این برش رخنمون ندارد (همانند دیگر برش‌های این سازند) و به صورت گسلی در زیر دولومیت‌های منتسب به سازند سلطانیه قرار می‌گیرد (شکل ۱- ب). این برش از حدود ۱۱۰۰ متر گلسنگ به همراه میان‌لایه‌هایی از کنگلومرا با جورشدگی ضعیف، ماسه‌سنگ و دولومیت تشکیل شده است (شکل ۱- پ). محیط‌های کم‌ژرفای دریایی، ساحلی و رودخانه‌ای، پیش از این توسط پژوهشگرانی همچون لاسمی (۱۳۷۹) و قریب و همکاران (۱۳۸۹) برای این سازند گزارش شده است. زمان دقیق نهشت سازند کاهار مشخص نیست. اگر چه سن توده‌های نفوذ کرده درون این سازند همانند گرانیته سرو جهان در زنجان (599±42 Ma; Hassanzadeh et al., 2008) سن این سازند را قدیمی‌تر از ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلیون سال نشان می‌دهند، با این وجود (Horton et al., 2008) در مطالعه‌ای روی زیرکن‌های آواری نمونه‌ای در ۱۵۰ متری زیر مرز کاهار با سلطانیه در جاده چالوس، سن کاهار را جوان‌تر از ۶۰۰ میلیون سال معرفی کرده‌اند. افزون بر این، این سازند بر پایه سن‌سنجی مدل روبیدیم-استرانسیم به 645 ± 120 Ma (Crawford, 1977 in Hassanzadeh et al., 2008) و بر پایه پالینومورف‌ها، استروماتولیت‌ها و جایگاه چینه‌ای به ریفن تا وندین (900-560 Ma) نسبت داده شده است (Seger, 1977; صبوری و همکاران، ۱۳۸۴). در مجموع، سن‌های گزارش شده، در کنار جایگاه چینه‌شناسی این سازند (در زیر سازند سلطانیه با سن قطعی پرکامبرین بالا-کامبرین زیرین) (حمیدی، ۱۳۷۴؛ Kimura et al., 1997)، نشان از تعلق داشتن رسوبات این سازند به انتهای پرکامبرین دارد.

۳- روش‌ها

پس از بررسی، اندازه‌گیری و تعیین ستون چینه‌شناسی سازند کاهار، حدود ۲۰۰ نمونه (گلسنگ، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ‌های کربناتی) برداشت شد. استراتژی نمونه‌برداری، نخست بر پایه گردآوری نمونه‌ها از واحدهای سنگ‌چینه‌نگاری اصلی بوده است، به طوری که نمونه‌ها نشان‌دهنده کل برش مورد مطالعه باشند. به این منظور نمونه‌برداری به هر دو صورت چینه‌ای و هدف‌دار انجام گرفته است. پس از تهیه مقاطع نازک از نمونه‌های مناسب، با توجه به هدف مطالعه، نمونه‌های گلسنگی از دیگر نمونه‌ها جدا شدند و نمونه‌های سیلتستونی با میکروسکوپ نوری مورد مطالعه قرار گرفتند. مبنای انتخاب نمونه‌های گلسنگی برای تجزیه‌های ژئوشیمیایی، میزان کم رشد کانی‌های دیاژنزی صفحه‌ای (همانند مسکوویت) و همچنین میزان کم کربنات کلسیم در آنها بوده است. به منظور انتخاب نمونه‌های با کمترین کربنات کلسیم، پس از شستن ۳۲ نمونه با آب مقطر و خشک کردن و پودر کردن آنها، مطالعه کلسیمیتری توسط دستگاه کلسیمیتر برنارد (Calcimeter Bernard) در دانشگاه شهید بهشتی تهران انجام شد. برای تعیین کانی‌شناسی نمونه‌های ریزدانه رس سنگی (Claystones)، ۸ نمونه گلسنگی برای بررسی توسط دستگاه پراش سنج اشعه ایکس (XRD مدل Simense-Diffractometr D500) انتخاب و به سازمان زمین‌شناسی مرکز تبریز فرستاده شدند. آماده‌سازی نمونه‌ها در این مرکز با حذف کربنات، مواد

را نشان می‌دهد. بر این اساس، گلسنگ‌های مورد مطالعه به منشأهای احتمالی فلیسیک و آندزیتی نزدیکی زیادی نشان می‌دهند. افزون بر این، نمودارهای Cr/Th در برابر Th/Sc (Condie & Wronkiewicz, 1990)؛ شکل ۴-پ)، La-Th-Sc؛ (Cullers, 2002)؛ Th/Co و Th/Sc (Girty & Barber, 1993)؛ شکل ۴-ث) نیز نشان‌دهنده مشتق شدن رسوبات آواری سازنده گلسنگ‌های کاهار از سنگ‌های منشأ فلیسیک مرتبط با کمان‌های ماگمایی هستند.

۴-۵. جایگاه زمین‌ساختی

بررسی میانگین ترکیب گلسنگ‌ها، ابزار مناسبی برای رسیدن به جایگاه زمین‌ساختی مرتبط با نهشت آنهاست. به باور Bhatia (1985b) میزان کانی کوارتز در گلسنگ‌ها در محدوده ۱۷ درصد در حاشیه‌های قاره‌ای غیر فعال تا ۴۶ درصد در جزایر کماتی (Island Arcs) تغییر می‌کند. همچنین فراوانی کانی‌های رسی در گلسنگ‌ها، از ۲۰ درصد در جزایر کماتی تا بیش از ۷۵ درصد در گلسنگ‌های حاشیه غیر فعال در تغییر است. بر این اساس، با توجه به بالا بودن میزان کوارتز (به‌طور میانگین ۵۲ درصد) و همچنین فراوانی کم کانی‌های رسی (به‌طور میانگین ۲۲ درصد) در ترکیب گلسنگ‌های سازند کاهار، این نمونه‌ها در محدوده ترکیبی گزارش شده برای گلسنگ‌های محیط زمین‌ساختی جزایر کماتی قرار می‌گیرند. در نظر گرفتن منشأ آواری برای بخشی از ایلیت و کلریت‌های گلسنگ‌های کاهار، می‌تواند نشان‌دهنده نهشت سریع در حوضه‌های آتشفشانی باشد. افزون بر اینکه ایلیت و کلریت می‌توانند محصول دیاژنزی تبدیل گروه اسمکتیت (همانند مونت‌موریلونیت)، به ترتیب طی فرایندهای ایلیتی شدن و کلریتی شدن اسمکتیت‌های دی‌اکتاهدال و تری‌اکتاهدال باشند که رخدادی متداول در گلسنگ‌های پیش از مزوزویک بوده است (Potter et al., 2005). همچنین، بر پایه میزان اندیس بلوغ در گلسنگ‌ها (MMI%) و نمودار کوارتز-فلدسپار-فیلسیلیکات‌ها، گلسنگ‌های سازند کاهار با میزان کوارتز بالا و فیلسیلیکات‌های کم، بیشتر ترکیب فیلوکتیک دارند (شکل ۴-ج). به باور Bhatia (1985b) گلسنگ‌های با ترکیب فیلوکتیک در ارتباط با جایگاه زمین‌ساختی جزایر کماتی قاره‌ای هستند. مقایسه ترکیب اکسیدهای اصلی و فرعی گلسنگ‌های مورد مطالعه با مقادیر میانگین این عناصر در جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلف (Bhatia, 1983 & 1985a) نیز چنین جایگاه زمین‌ساختی را برای گلسنگ‌های مورد مطالعه تأیید می‌نماید (جدول ۵). میزان SiO_2 و نسبت $\text{Log K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ در رسوبات آواری شواهد حساسی از جایگاه زمین‌ساختی هستند (Roser & Korsch, 1986). به‌منظور رفع مشکل عدم جدایش جایگاه‌های زمین‌ساختی جزایر کماتی قاره‌ای (CIA) و حاشیه‌های فعال قاره‌ای (ACM) در این نمودار (که هر دو در محدوده Active Continental Margin نشان داده می‌شوند)، از ترکیب میانگین گلسنگ‌های مربوط به جایگاه‌های مختلف زمین‌ساختی (Bhatia, 1983)، برای مقایسه استفاده شده است. بر این اساس گلسنگ‌های کاهار در محدوده‌های حاشیه قاره‌ای فعال (ACM) و کمان (ARC) و در نزدیکی داده‌های مربوط به جزایر کماتی قاره‌ای باتیا (Bhatia, 1983) قرار می‌گیرند (شکل ۵-الف). افزون بر این، نمودار مثلثی $\text{SiO}_2/20-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})-(\text{TiO}_2+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$ (Kroonenberg, 1994) با جدایش کامل جایگاه‌های زمین‌ساختی، گلسنگ‌های کاهار را در ارتباط با جایگاه زمین‌ساختی جزایر کماتی قاره‌ای (CIA) نشان می‌دهد (شکل ۵-ب). نمودارهای La-Th-Sc، La-Th-Co، Th-Sc-Zr/10 و Th-Co-Zr/10 (Bhatia & Crook, 1986)؛ شکل‌های ۵-پ تا ج) نیز به خوبی رسوبات مشتق شده از جزایر کماتی قاره‌ای و حاشیه فعال قاره‌ای را از یکدیگر جدا می‌سازند. بر اساس این نمودارها، گلسنگ‌های کاهار در ارتباط با جزایر کماتی قاره‌ای هستند. همچنین، در نمودار دوتایی Th/Sc در برابر Zr/Sc (McLennan et al., 1993) نیز گلسنگ‌های مورد مطالعه در امتداد روند مربوط به حاشیه فعال قاره‌ای (بر خلاف حاشیه غیر فعال) قرار می‌گیرند

(Taylor & McLennan, 1985) قرار می‌گیرد. این مقادیر نشان‌دهنده هوازگی شیمیایی کم تا متوسط در ناحیه منشأ رسوبات کاهار است. مقادیر CIA در نمودار مثلثی $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}) - \text{K}_2\text{O}$ (A-CN-K) (Fedo et al., 1995)، که نشان‌دهنده تغییر در ترکیب نمونه‌ها همراه با تغییر هوازگی شیمیایی و یا ترکیب ناحیه منشأ است، نیز رسم شدند (شکل ۴-الف). در این نمودار نمونه‌های گلسنگی مورد مطالعه با کمی فاصله نسبت به خط اتصال فلدسپار-پلاژیوکلاز و با روندی تقریباً موازی نسبت به ضلع A-CN قرار گرفته‌اند. محل قرارگیری نمونه‌ها در مثلث A-CN-K نشان‌دهنده شستشوی CaO و Na_2O طی فرایند هوازگی متوسط در ناحیه منشأ است.

۲-۵. چرخه مجدد رسوبی

بهترین شواهد در برآورد میزان چرخه مجدد در گلسنگ‌ها، در ماسه‌سنگ‌های همراه با آنها (به‌صورت میان‌لایه) یافت می‌شود (Potter et al., 2005). اعتمادسعيد و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه خود روی ماسه‌سنگ‌های کاهار در برش کوه کاهار، نشان دادند که ماسه‌سنگ‌های همراه با گلسنگ‌های مورد مطالعه، از نوع آركوز قطعه‌سنگ‌دار (Lithic Arkose) با فلدسپارهایی بیشتر از نوع پلاژیوکلاز و قطعات سنگی از نوع آتشفشانی هستند. این ماسه‌سنگ‌ها بلوغ بافتی و ترکیبی پایینی دارند و آثار چرخه مجدد رسوبی کمی را نشان می‌دهند. بر این اساس می‌توان تأثیر چرخه مجدد رسوبی بر ترکیب گلسنگ‌های مورد مطالعه را نیز کم دانست. روش‌های ژئوشیمیایی نیز، هر چند به کارایی روش‌های سنگ‌شناسی نیستند ولی در برآورد میزان چرخه مجدد رسوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Potter et al., 2005). (McLennan et al., 1993) نمودار متشکل از نسبت‌های Th/Sc و Zr/Sc را برای برآورد تأثیر چرخه مجدد در رسوبات معرفی کردند. نمونه‌های گلسنگی مورد مطالعه در این نمودار روی مسیر ۱ قرار می‌گیرند، به این معنی که این نمونه‌ها به‌طور مستقیم تحت تأثیر ترکیب سنگ‌های منشأ هستند و تأثیر فرایندهای رسوبی همانند چرخه مجدد رسوبی روی ترکیب آنها ناچیز است (شکل ۴-ب). با تعیین بلوغ رسوبی بر استفاده از نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Potter, 1978) نیز می‌توان به تأثیر فرایندهای پس از رسوب‌گذاری بر ترکیب رسوبات پی برد. این نسبت، نشان‌دهنده فراوانی کوارتز نسبت به ترکیبات ناپایدار است که در طی هوازگی، حمل و نقل و چرخه مجدد رسوبی افزایش می‌یابد. نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ بیشتر از ۵ تا ۶ در سنگ‌های رسوبی، نشان‌دهنده بلوغ رسوبی بالاست (Roser et al., 1996). این نسبت در گلسنگ‌های کاهار (به‌طور میانگین ۳/۸۲)، نشان‌دهنده بلوغ رسوبی پایین نمونه‌های مورد مطالعه و تأثیر کم چرخه مجدد رسوبی بر ترکیب آنهاست.

۳-۵. سنگ‌شناسی منشأ

از نسبت‌های مورد استفاده و مهم در تعیین ترکیب منشأ رسوبات آواری بر پایه عناصر اصلی می‌توان به نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ اشاره کرد که در سنگ‌های آذرین مافیک از ۳ تا ۸، در سنگ‌های آذرین حدواسط از ۸ تا ۲۱ و در سنگ‌های آذرین فلیسیک از ۲۱ تا ۷۰ تغییر می‌کند (Hayashi et al., 1997). نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (میانگین ۲۱/۷۱)، نشان‌دهنده وجود سنگ‌های منشأ گرانیتیویدی متوسط تا فلیسیک برای گلسنگ‌های کاهار است. همچنین نمودار TiO_2 در برابر Ni نیز وجود سنگ منشأ آذرین اسیدی را برای گلسنگ‌های کاهار تأیید می‌کند (Floyd et al., 1989)؛ شکل ۴-ت). به‌منظور تعیین ترکیب منشأ رسوبات آواری با استفاده از عناصر فرعی، لازم است از عناصری که در چرخه‌های رسوبی غیر متحرک هستند و تمرکز متفاوتی در سنگ‌های منشأ دارند (همانند عناصر خاکی کمیاب و عناصر با قدرت میدان بالا)، استفاده کرد (Taylor & McLennan, 1985). جدول ۴ مقایسه‌ای میان نسبت‌های کلیدی La/Sc ، La/Co ، Th/Sc ، Th/Co و Th/Cr در گلسنگ‌های کاهار و سنگ‌های منشأ مختلف با سن پروتروزویک (Condie, 1993)

اعتمادسعید و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه خود روی ماسه‌سنگ‌های کاهار در کوه کاهار شواهدی از وجود شرایط حاشیه فعال قاره‌ای مرتبط با فرورانش ارائه کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نیز با بررسی کانی‌شناسی و ژئوشیمی گل‌سنگ‌های کاهار در کوه کاهار، تأییدی بر نتایج به‌دست آمده از مطالعه ماسه‌سنگ‌های این سازند در برش نمونه است. این نتیجه با مدل زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره‌ای مرتبط با فرورانش برای نئوپروتروزویک پسین در ایران، همخوانی کاملی نشان می‌دهد. دست‌یابی به منشأ دقیق رسوبات کاهار نیازمند مطالعات سن‌سنجی گسترده‌ای در این زمینه است.

۶- نتیجه‌گیری

سازند کاهار در برش نمونه (کوه کاهار) به‌طور چیره‌متشکل از گل‌سنگ‌هایی است که از دید کانی‌شناختی از کوارتز، فلدسپار و به‌میزان کمتر کانی‌های رسی، بیشتر از نوع ایلیت و کلریت (دیاژنزی/آواری) تشکیل شده‌اند.

گل‌سنگ‌های کاهار از دید اندیس بلوغ گل‌سنگ‌ها در رده فیلو تکتیک تا تکتیک قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده بلوغ رسوبی متوسط تا کم و جایگاه زمین‌ساختی جزایر کمانی قاره‌ای است.

ترکیب ژئوشیمیایی گل‌سنگ‌های مورد مطالعه نشان از هوازگی متوسط ناحیه منشأ و تأثیر کم چرخه مجدد رسوبی بر ترکیب آنها دارد.

نمودارهای جداکننده، نسبت‌های عناصر فرعی غیر متحرک و عناصر خاکی کمیاب نشان‌دهنده جایگاه زمین‌ساختی مرتبط با جزایر کمانی قاره‌ای و چیرگی سنگ منشأ فلسیک و آندزیتی برای رسوبات کاهار است.

سپاسگزاری

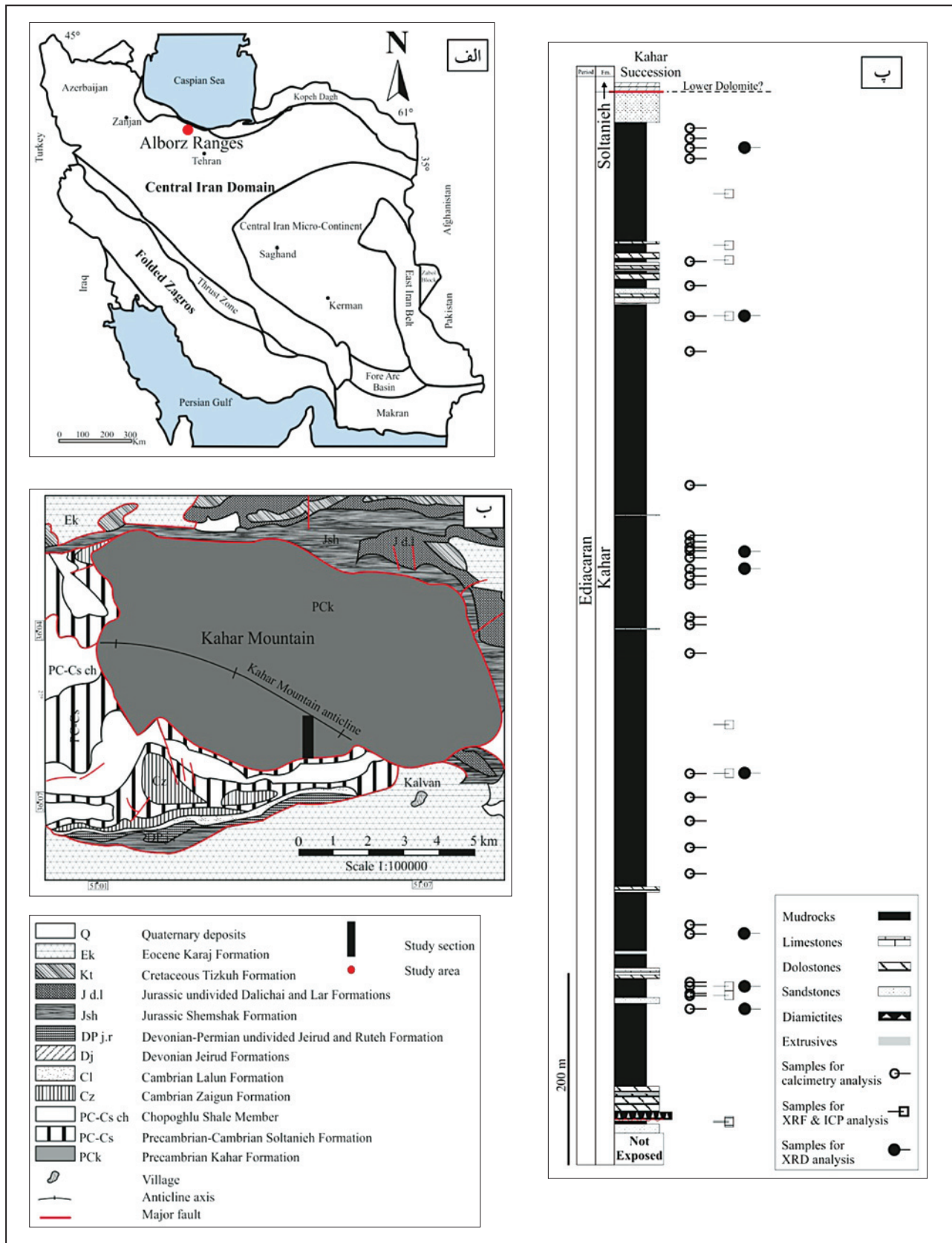
از جناب آقای دکتر هوشمندزاده برای کمک‌های فراوانشان در معرفی سازند کاهار برای بررسی خاستگاهی، راهنمایی‌ها و پیشنهادات ارزنده‌شان در طول مطالعه و نیز بازخوانی متن اولیه این مقاله، و نیز از مهدی اعتمادسعید، نرگس سرداری و مهدی شادان برای کمک‌های فراوانشان طی عملیات‌های صحرایی در کوه کاهار، سپاسگزاری می‌شود. از مسئولین و تکنسین‌های آزمایشگاه‌های دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی نیز برای فراهم آوردن امکانات مناسب آزمایشگاهی برای مطالعات انجام‌شده در این مقاله سپاسگزاری می‌شود.

(شکل ۴-ب). عناصر خاکی کمیاب نیز در تعیین جایگاه زمین‌ساختی رسوبات نقش پراهمیتی دارند. جدول ۶ مقایسه‌ای از متغیرهای مهم در ارتباط با عناصر خاکی کمیاب همانند $\sum REE$ ، $\sum LREE/\sum HREE$ و La_N/Yb_N را در گل‌سنگ‌های کاهار و همچنین جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلف (Bhatia, 1985a) نشان می‌دهد. بر این اساس، گل‌سنگ‌های سازند کاهار شباهت‌های بسیار نزدیکی به رسوبات مشتق‌شده از کمان نشان می‌دهند.

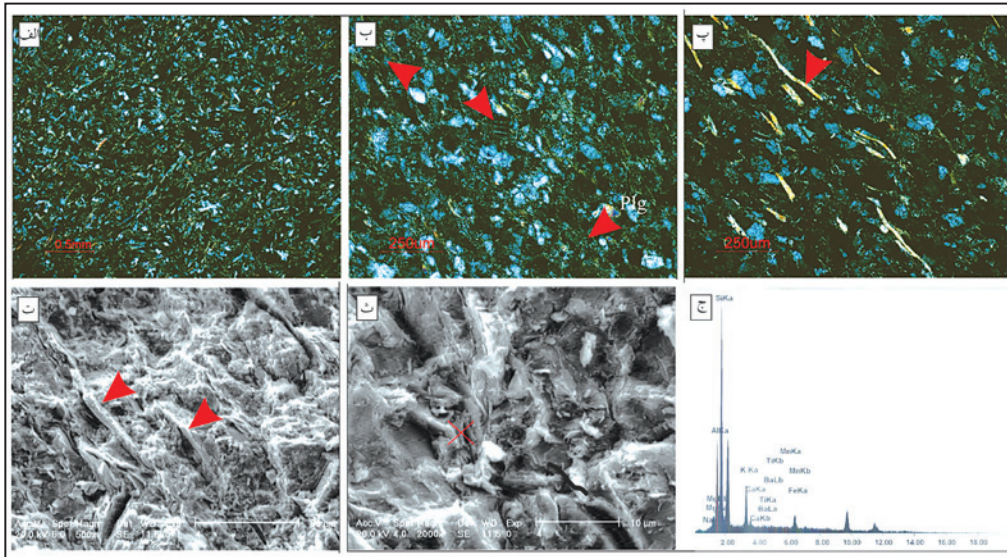
۵-۵. کمان یا کافت؟

بازسازی جغرافیای دیرینه برای ایران طی نئوپروتروزویک پسین نشان می‌دهد که همه واحدهای ساختاری ایران (به‌جز کپه‌داغ) در حاشیه گندوانا، میان خاور عربی (عمان) و باختر هند (Salt Range) واقع شده‌اند (Nadimi, 2007). سن‌سنجی‌های انجام‌شده روی پی‌سنگ بلورین ایران، پراکندگی گسترده رخساره‌های کربناتی-تبخیری با سن کامبرین آغازین، انطباق احتمالی سکانس‌های آواری با سن نئوپروتروزویک پسین و نیز توالی‌های آواری مشترک در پالتوزویک زیرین در این مناطق، شواهدی بر یکپارچه بودن این مناطق و وابستگی گندوانایی (Gondwana Affinity) آنهاست (Horton et al., 2008; Hassanzadeh et al., 2008).

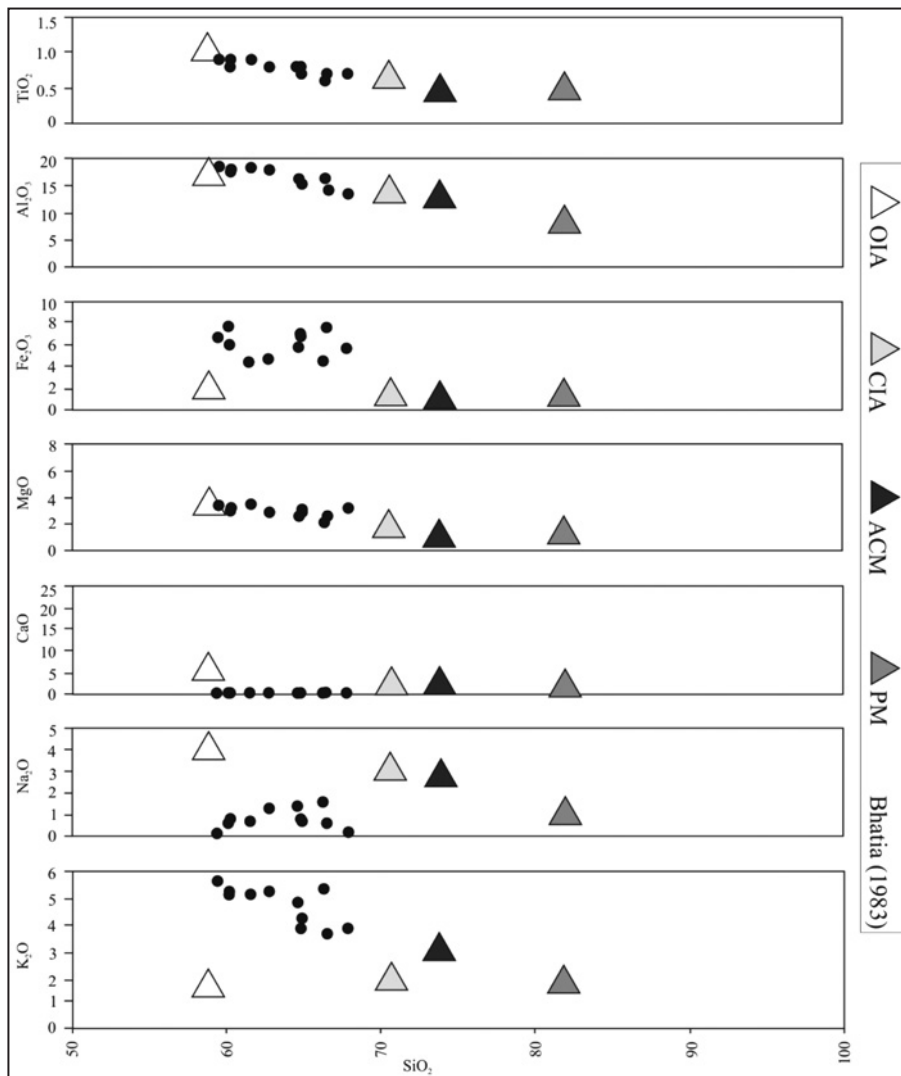
مدل زمین‌ساختی کلاسیک ارائه شده برای ایران طی این زمان، به فازهای کششی رخداد کاتانگایی یا پان‌آفریکن و وجود احتمالی کافت با جایگاه زمین‌ساختی حاشیه غیر فعال قاره‌ای اشاره دارد (برای نمونه: لاسمی، ۱۳۷۹؛ Hussein, 1989; Talbot & Alavi, 1996). ولی مدل زمین‌ساختی دیگری که در دهه اخیر با تکیه بر داده‌های به‌دست آمده از روش‌های دقیق ژئوشیمیایی و سن‌سنجی ارائه شده است، نشان از وجود حاشیه فعال قاره‌ای مرتبط با فرورانش و گسترش کمان‌های ماگمایی قاره‌ای دارد (Ramezani & Tucker, 2003; Nadimi, 2007; Horton et al., 2008; Hassanzadeh et al., 2008; Saki, 2010). این مدل‌های زمین‌ساختی، بیشتر بر پایه بررسی ترکیب پی‌سنگ بلورین ایران استوار بوده و استفاده از ترکیب پی‌سنگ رسوبی ایران شامل سنگ‌های سیلیسی آواری گسترده، مشهور به "رخساره تاشک" برای تعیین شرایط زمین‌ساختی حاکم بر ایران طی پایان پرکامبرین تاکنون مورد توجه کمی قرار گرفته است. هر چند لاسمی (۱۳۷۹)، بخش‌های زیرین و میانی سازند کاهار (در سربندان و شهمیرزاد) را به‌ترتیب به نهشته‌های پیش از کافت و همزمان با کافت نسبت داد (حاشیه قاره‌ای غیر فعال)، ولی



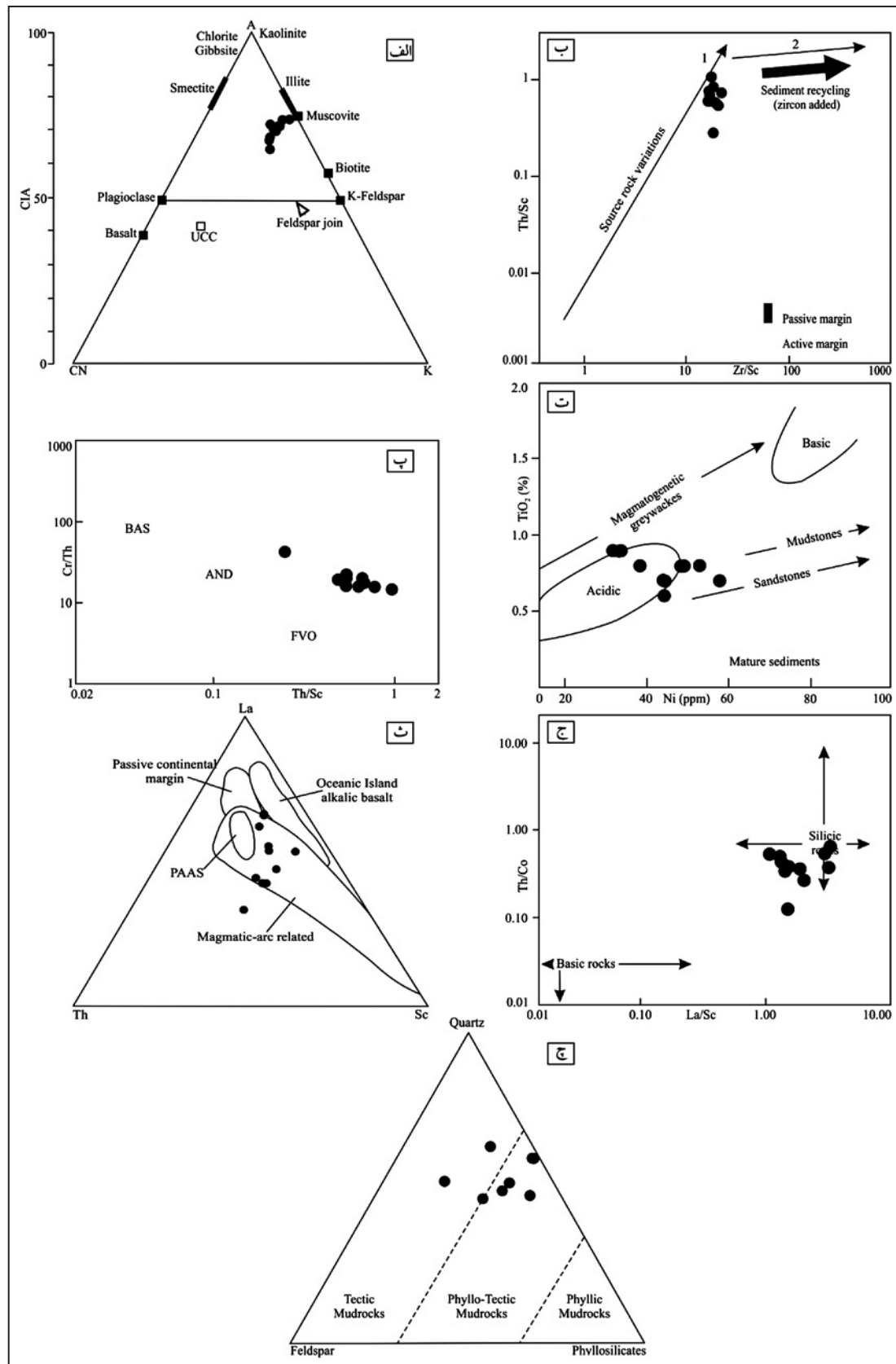
شکل ۱- الف) موقعیت ناحیه مورد مطالعه (دایره) در نقشه جدایش واحدهای ساختاری ایران (آفانباتی، ۱۳۸۳؛ ب) موقعیت کوه کاهار و برش مطالعه شده در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن‌آباد (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۹؛ پ) ستون چینه‌شناسی سازند کاهار در برش کوه کاهار. نمونه‌های انتخاب شده گلسنگی برای انجام مطالعات ژئوشیمیایی روی ستون نشان داده شده است.



شکل ۲- الف تا پ) تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های گلسنگی سازند کاهار در XPL. الف) دانه‌های زاویه‌دار کوارتز؛ ب) پلاژیوکلاز؛ پ) کانی ورقه‌ای مسکوویت؛ ت تا ث) تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه گلسنگی KN 59d که نشان‌دهنده رشد دیاژنی مسکوویت به شکل ت) ورقه‌های جهت یافته و ث) ایلیت صفحه‌ای است؛ ج) تجزیه EDX در تصویر نشان‌دهنده ترکیب شیمیایی کانی ایلیت (فراوانی Si، Al و K) در محل علامت زده شده در تصویر "ث" است.

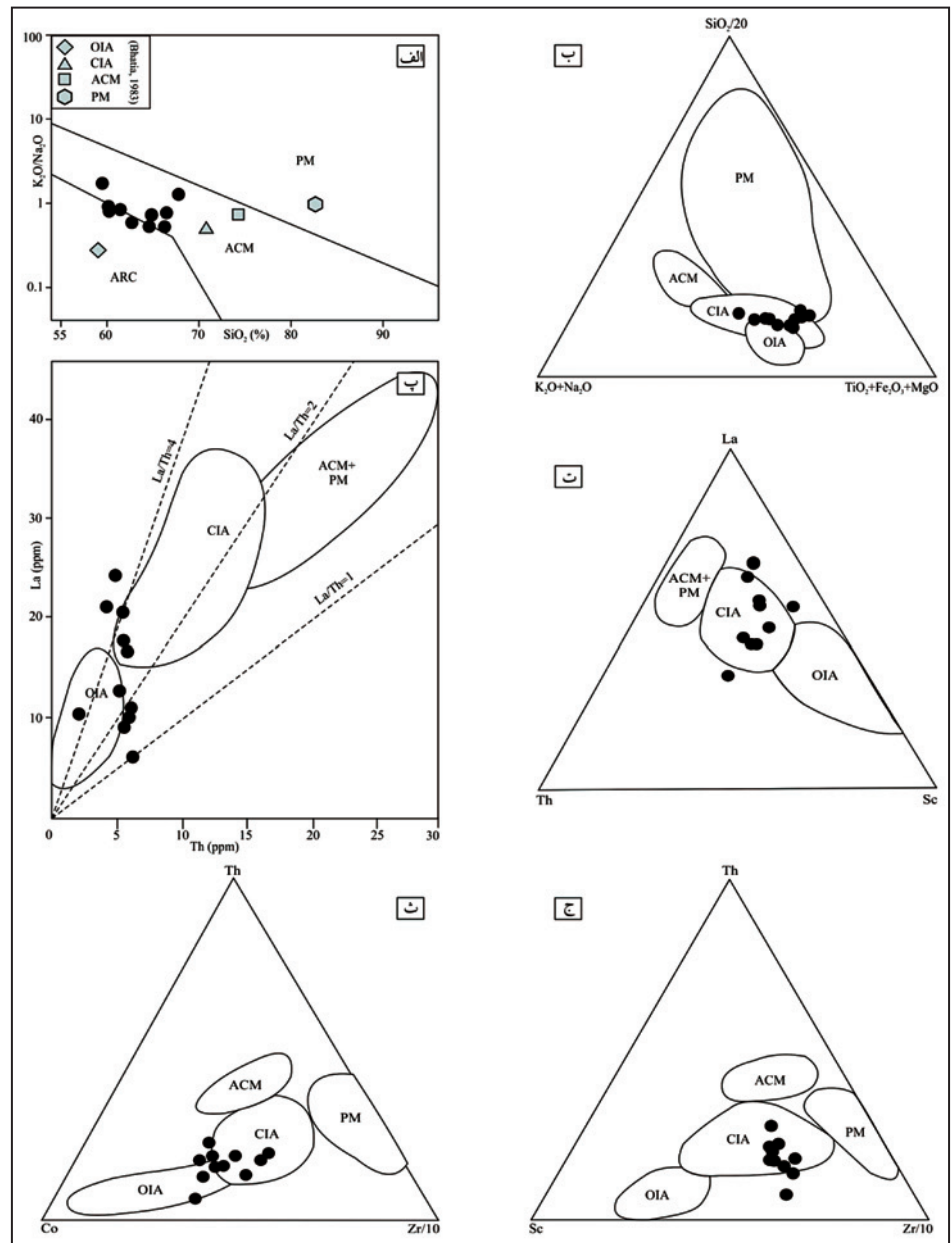


شکل ۳- نمودارهای هارکر (Harker) برای مقایسه فراوانی اکسیدهای عناصر اصلی در برابر SiO_2 و مقایسه گلسنگ‌های کاهار با ترکیب میانگین گلسنگ‌های مربوط به جایگاه‌های مختلف زمین‌ساختی Oceanic Island Arc :OIA. (Bhatia, 1983) Continental Island Arc :CIA Active Continental Margin :ACM Passive Margin :PM



شکل ۴- الف) موقعیت گلسنگ‌های کاهار در نمودار مثلثی $Al_2O_3 - (CaO^* + Na_2O) - K_2O$ (Fedo et al., 1995)؛ ب) نمودار جدایشی Th/Sc در برابر Zr/Sc (McLennan et al., 1993)؛ پ تا ج) تعیین منشأ گلسنگ‌های کاهار با استفاده از نمودارهای جدایشی $Th/Co-La/Sc$ و $La-Th-Sc$ (Floyd et al., 1989)؛ TiO_2-Ni (Condie & Wronkiewicz, 1990)؛ $Cr/Th-Th/Sc$ (Girty & Barber, 1993)؛ Th/Co (Cullers, 2002)؛ چ) رده‌بندی کانی‌شناسی گلسنگ‌های کاهار بر پایه نسبت کوارتز-فلدسپار-فیلسیلیکات‌ها (Bhatia, 1985b).

شکل ۵- الف و ب) تعیین جایگاه زمین‌ساختی مرتبط با گلسنگ‌های کاهار بر پایه اکسیدهای اصلی در نمودارهای $\log(K_2O/Na_2O)-SiO_2\%$ (Roser & Korsch, 1986) و $SiO_2/20-(K_2O+Na_2O)-(TiO_2+Fe_2O_3+MgO)$ (Kroonenberg, 1994) و تعیین جایگاه زمین‌ساختی مرتبط با گلسنگ‌های کاهار بر پایه عناصر فرعی در نمودارهای La-Th، La-Th-Sc، Th-Sc-Zr/10 و Th-Co-Zr/10 (Bhatia & Crook, 1986).



جدول ۱- نتایج کانی‌شناسی حاصل از تجزیه نیمه کمی گلسنگ‌های ریزدانه کاهار. اندیس مجوریتی گلسنگ‌ها بر پایه روش باتیا (Bhatia, 1985b)، محاسبه شده است. Chl: کلریت؛ Ill: ایلیت؛ Mon: مونت موریلونیت؛ K: کانولینیت.

Sample No.	Qtz%	Felds%	Mica group%	Calcite%	Clay minerals%	MMI%	Mudrock nomenclature
KN2	52	13	0	0	35 (Ill- Chl- K)	35.00	Phyllo-tectic claystone
KN 6	46	20	9	0	23 (Chl- Ill- Mon)	32.65	Tectic claystone
KN 16	49	16	7	0	27 (Ill- K- Mon)	34.34	Phyllo-tectic claystone
KN 25	57	2	7	3	29 (Chl- Ill)	37.89	Phyllo-tectic claystone
KN 42	47	9	0	0	42 (Ill- K- Chl)	42.86	Phyllo-tectic claystone
KN 46	57	2	7	3	29 (Chl- Ill)	37.89	Phyllo-tectic claystone
KN 59d	48	28	11	0	4 (Chl- Ill)	16.48	Tectic claystone
KN 86	62	12	0	0	23 (Ill- K- Chl)	23.71	Tectic claystone
Mean	52	13	8	1	22	32.60	

جدول ۷- نتایج حاصل از تجزیه اکسیدهای اصلی و میزان اندیس شیمیایی درگرسایی (CIA) و نسبت‌های SiO_2/Al_2O_3 و Al_2O_3/TiO_2 در گدسنگ‌های کاهان.

Sample	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO%	MgO%	Na ₂ O%	K ₂ O%	TiO ₂ %	PO ₅ %	L.O.I*	Sum	CIA	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /TiO ₂
KN3-2a	66.3	16.7	4.5	0.3	2.1	1.6	5.3	0.6	0.2	2.1	99.7	65.20	3.97	27.83
KN3-7	64.6	16.6	5.8	0.3	2.6	1.4	4.8	0.8	0.3	2.58	99.78	67.36	3.89	20.75
KN3-8	62.7	18.3	4.7	0.4	2.9	1.3	5.2	0.8	0.3	3.32	99.92	68.30	3.43	22.88
KN3a	64.8	15.6	6.8	0.3	3.1	0.8	4.2	0.8	0.3	3.2	99.9	70.89	4.15	19.50
KN6	60.2	18.4	6	0.4	3.2	0.8	5.2	0.9	0.2	4.49	99.79	70.57	3.27	20.44
KN25	59.4	18.9	6.7	0.3	3.4	0.1	5.6	0.9	0.2	4.45	99.95	73.62	3.14	21.00
KN28	67.8	13.8	5.7	0.3	3.2	0.2	3.8	0.7	0.3	3.94	99.74	73.45	4.91	19.71
KN59d	61.5	18.7	4.4	0.4	3.5	0.7	5.1	0.9	0.3	4.31	99.81	71.65	3.29	20.78
KN76	66.5	14.5	7.6	0.4	2.6	0.6	3.6	0.7	0.3	3.03	99.83	72.10	4.59	20.71
KN80	60.1	18.2	7.7	0.3	3	0.6	5.1	0.8	0.3	3.86	99.96	72.07	3.30	22.75
KN84	64.8	15.7	7	0.4	2.9	0.7	3.8	0.7	0.3	3.42	99.72	72.38	4.13	22.43
Mean	63.52	16.85	6.08	0.35	2.95	0.80	4.70	0.78	0.27	3.52		70.69	3.82	21.71
S.d.	2.90	1.78	1.19	0.05	0.40	0.47	0.71	0.10	0.05	0.78		2.66	0.59	2.32
PAAS	62.8	18.9	7.15	1.3	2.2	1.2	3.7	1						

*L.O.I- Loss On Ignition

جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه عناصر فوسفی و عناصر خاکی کمیاب به ppm در گدسنگ‌های کاهان.

Sample	Ce	Co	Cr	Dy	Eu	Er	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Ni	Pr	Rb	Sc	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	Y	Yb	Zr	V
KN3-2a	33.8	6.3	81.5	4.1	1.4	4.1	2.9	4.1	0.5	21.1	0.1	17.6	20.7	43.9	4.5	53.5	6.5	1.7	43.7	1	4.1	0.2	2.5	7.6	1.2	103.5	79.5
KN3-7	43.5	12.9	104.2	4.3	1.5	4.3	4.4	4.3	0.5	24.2	0.2	25.3	20.8	38.1	5.4	57	7.6	2.2	48.4	1.6	4.8	0.2	3.7	8.8	1.6	126.7	94.3
KN3-8	27.9	20.6	95.5	4.2	2	4.2	4	2.6	0.3	17.6	0.1	28.7	17.7	48	2.5	41.3	8.7	0.5	40	1.6	5.4	0.2	3.3	6.4	1.4	162.5	115.4
KN3a	8.7	12.8	98.8	3	1.3	3	2.7	4	0.4	9.2	0.2	21.5	10.9	48.8	2.6	5.3	6.9	0.3	31.2	1.3	5.5	0.2	1.7	8.8	1.4	111.2	75.9
KN6	29.4	16.2	93.1	4.1	1.4	4.1	4.8	2.4	0.4	16.9	0.2	27.9	17.6	31.5	8	57.4	9.1	1.4	34.5	1.7	5.7	0.2	1.9	7.1	1.5	144.3	109
KN25	19	14.8	98.9	3.5	1.8	3.5	4.7	1.8	0.4	12.8	0.2	27.9	13.1	33.5	5.3	8.8	9	0.8	13	1.8	5.1	0.2	3.2	7.7	1.8	183.7	120.2
KN28	33.7	10.2	108.2	4.4	1.3	4.4	4.2	2	0.4	20.4	0.2	23.7	17.4	44.3	3.9	24.9	7	1.6	18.5	1.5	5.4	0.2	2.6	16	1.9	150.9	72
KN59d	12.6	16.6	83.9	2.8	1.8	2.8	2.4	2.1	0.2	10.3	0.1	22.9	11.6	32.9	2.7	7.2	6.9	0.3	32.1	1.3	2	0.1	2.5	5.6	1.2	123.6	91.3
KN76	6.3	11.8	93	1.9	0.9	1.9	3.4	3.2	0.4	6	0.2	18.3	7.8	43.8	1.8	20.3	5.6	0.3	27.4	1.2	6.3	0.2	1.3	7.3	1.3	96.7	61.6
KN80	14.6	12.3	96.8	2.9	1.4	2.9	3.8	3.6	0.5	10.7	0.2	26.4	11.5	52.5	3.4	27.5	8.3	1.6	27.2	1.5	6.1	0.3	2.1	7.2	1.5	137.4	109
KN84	13	15.6	91.5	2.1	1.8	2.1	3.8	4	0.6	9.7	0.2	22.8	12.9	57.4	0.2	9.4	6.4	0.7	28.5	1.5	5.7	0.2	2.5	8.2	1.5	116.2	79
Mean	22.05	13.65	95.04	3.39	1.51	3.39	3.74	3.10	0.42	14.45	0.17	23.91	14.73	43.15	3.66	28.42	7.45	1.04	31.32	1.45	5.10	0.20	2.48	8.25	1.48	132.43	91.56
S.d.	12.18	3.76	7.86	0.90	0.31	0.90	0.80	0.95	0.11	5.88	0.05	3.77	4.31	8.41	2.10	20.65	1.17	0.68	10.35	0.23	1.19	0.04	0.72	2.74	0.22	26.42	19.57

جدول ۴- مقایسه نسبت عناصر شاخص فرعی در تعیین سنگ‌های منشأ در گلسنگ‌های کاهار با سنگ‌های منشأ آتشفشانی فلسیک، آندزیت‌ها و بازالت‌ها (Condie, 1993). نزدیکی نسبت‌های ژئوشیمیایی به دست آمده برای گلسنگ‌های کاهار و سنگ‌های منشأ مختلف، با رنگ خاکستری نشان داده شده است.

Elemental ratio	Felsic volcanic rocks	Andesites	Basalts	Kahar mudrocks	
	Mean	Mean	Mean	Range	Mean
La/Sc	1.88	1.05	0.32	1.07-3.25	1.94
La/Co	5	0.74	0.29	0.51-3.35	1.21
Th/Sc	0.5	0.17	0.07	0.29-1.13	0.7
Th/Cr	0.8	0.05	0.02	0.02-0.07	0.05
Th/Co	0.33	0.12	0.06	0.12-0.65	0.41

جدول ۵- مقایسه میانگین به دست آمده از ترکیب شیمیایی اکسیدهای اصلی و نسبت عناصر فرعی گلسنگ‌های کاهار و داده‌های ارائه شده توسط Bhatia (1985a) برای جایگاه‌های زمین‌ساختی جزایر کمانی اقیانوس (OIA)، جزایر کمانی قاره‌ای (CIA)، حاشیه فعال قاره‌ای (ACM) و حاشیه غیر فعال (PM).

	OIA	CIA	ACM	PM	Kahar mudrocks
SiO ₂	58.83	70.69	73.86	81.95	63.51
TiO ₂	1.06	0.64	0.46	0.49	0.78
Al ₂ O ₃	17.11	14.04	12.89	8.41	16.85
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.29	0.2	0.18	1.1	0.26
Fe ₂ O ₃ t+MgO	11.73	6.79	4.63	2.89	9.03
La/Th	3.15	2.4	1.8	2.2	3.08
Th/Sc	1	0.9	2.6	3.1	0.69
Th/U	2.8	5.2	5	6.7	2.3
Zr/Th	28	12	7	7	28.29
La/Sc	1	1.8	2.5	1.9	1.9
Rb/Sr	0.29	1.31	2.9	5.8	0.87

جدول ۶- مقایسه متغیرهای عناصر خاکی کمیاب در گلسنگ‌های کاهار و جایگاه‌های زمین‌ساختی با خاستگاه‌های مختلف (Bhatia, 1985a).

Tectonic setting	Provenance type	REE parameters						
		La	Ce	∑REE	La/Yb	La _N /Yb _N	∑LREE/∑HREE	Eu/Eu* ¹
OIA	Undissected magmatic arc	8±1.7	19±3.7	58±10	4.2±1.3	2.8±0.9	3.8±0.9	1.04±0.11
CIA	Dissected magmatic arc	27±4.5	59±8.2	146±20	11.0±3.6	7.5±2.5	7.7±1.7	0.79±0.13
ACM	Uplifted basement	37	78	186	12.5	8.5	9.1	0.6
PM	Craton interior tectonic highlands	39	85	210	15.9	10.8	8.5	0.56
Avg. Kahar mudrocks		14.44	22.04	71.67	9.79	6.62	3.84	1.68-2.27

1: $Eu/Eu^* = (Eu/0.087) / [(Sm/0.231) + (Gd/0.306)] / 2$

کتابنگاری

- اعتمادسعید، ن.، حسینی برزی، م.، آدابی، م. ح. و صادقی، ع.، ۱۳۹۲- خاستگاه زمین‌ساختی سازند کاهار (تئوپروتروزویک پسین) با استفاده از داده‌های آنالیز مودال و کانی‌های سنگین در برش نمونه، کوه کاهار، البرز مرکزی. علوم زمین ۸۸، ۳-۱۲.
- آقانیاتی، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۵۸۶ صفحه.
- حمدی، ب.، ۱۳۷۴- سنگ‌های رسوبی پرکامبرین، کامبرین در ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، شماره ۲۰، ۳۵۳ صفحه.
- صبوری، ج.، فراهانی، ب. و نریمانی، ح.، ۱۳۸۴- مطالعه زیست‌چینه‌ای و تعیین سن سازند کهار در البرز مرکزی (برش فیروز آباد چالوس). چهاردهمین گردهمایی علوم زمین. قریب، ف.، لاسمی، ی. و امامی، م. ه.، ۱۳۸۹- سنگ‌شناسی و محیط رسوبی سازند کهر در نواحی فیروز‌آباد و شاهین دژ (البرز مرکزی و باختری). علوم زمین ۷۷، ۱۱۴-۱۰۹.
- لاسمی، ی.، ۱۳۷۹- رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالتوزویک ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، شماره ۷۸، ۱۸۰ صفحه.
- وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۹- نقشه زمین‌شناسی مرزن آباد، ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۶۲۶۲.

References

- Armstrong-Altrin, J. S., Nagarajan, R., Madhavaraju, J., Rosalez-Hoz, L., Lee, Y. I., Balaram, V., Cruz-Martinez, A. & Avila-Ramirez, G., 2013- Geochemistry of the Jurassic and Upper Cretaceous shales from the Molango Region, Hidalgo, eastern Mexico: Implications for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Copmptes Rendus Geoscience*, article in press.
- Bhatia, M. R. & Crook, K. A. W., 1986- Trace element characteristics of greywacks and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contribution of Mineralogy and Petrology* 92: 181-193.
- Bhatia, M. R., 1983- Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Geology* 91: 611-627.
- Bhatia, M. R., 1985a- Rare Earth Element geochemistry of Australian Paleozoic graywacks and mudrocks: provenance and tectonic control. *Sedimentary Geology* 45: 97-113.
- Bhatia, M. R., 1985b- Composition and classification of Paleozoic flysch mudrocks of Eastern Australia: implications in provenance and tectonic setting interpretation. *Sedimentary Geology* 41: 249-268.
- Boggs, Jr. S., 2009- *Petrology of Sedimentary Rocks*. Cambridge University Press, 600 pp.
- Condie, K. C. & Wronkiewicz, D.J., 1990- The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal craton as an index of craton evolution: *Earth and Planetary Science Letters* 97: 256-267.
- Condie, K. C., 1993- Chemical composition and evolution of upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology* 104: 1-37.
- Crawford, A. R., 1977- A summary of isotopic age data for Iran, Pakistan and India. *Memoire hors serie n°8. Societe geologique de France*, 251-260.
- 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.
- DaPeng, L., YueLong, C., Zhong, W., Yu, L. & Jian, Z., 2012- Paleozoic sedimentary record of the Xing-Meng Orogenic Belt, Inner Mongolia: implications for the provenances and tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt. *Chinese Science Bulletin* 57 (7): 776-785.
- Dedual, E., 1967- Zur geologie des mittleren und unteren Karaj – Tales, Zentral Elburz (Iran). *Mitt. Geological Institute ETH /University of Zurich* 76, 125 pp.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W. & Young, G. M., 1995- Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary-rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23: 921-924.
- Floyd, P. A., Winchester, J. A. & Park, R. G., 1989- Geochemistry and tectonic setting of Lewisian clastic metasediments from the Early Proterozoic Loch Maree Group of Gairloch, N.W. Scotland. *Precambrian Research* 45(1-3): 203-214.
- Girty, G. H. & Barber, R. W., 1993- REE, Th, and Sc evidence for the depositional setting and source rock characteristics of the Quartz Hill chert, Sierra Nevada, California. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society of America, Special Paper 284: 109-119.
- Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Horton, B. K., Axen, G. J., Stockli, L. D., Grove, M., Schmitt, A. K. & Walker, J. D., 2008- U-Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic–Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement. *Tectonophysics* 451: 71-96.
- Hayashi, K., Fujisawa, H., Holland, H. & Ohmoto, H., 1997- Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61(19): 4115-4137.
- Horton, B. K., Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Axen, G. J., Gillis, R. J., Guest, B., Amini, A. H., Fakhari, M., Zamanzadeh, S. M. & Grove, M., 2008- Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Tectonophysics* 451: 97-122.

- Husseini, M. I., 1989- Tectonic and deposition model of Late Precambrian–Cambrian Arabian and adjoining plates. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 73: 1117-1131.
- Jorge, R.C.G.S., Fernandes, P., Rodrigues, B., Pereira, Z. & Oliveira, J. T., 2013- Geochemistry and provenance of the Carboniferous Baixo Alentejo Flysch Group, South Portuguese Zone. *Sedimentary Geology* 284-285: 133-148.
- Kimura, H., Matsumoto, R. & Kakuwa, R., 1997- The Vendian–Cambrian $\delta^{13}\text{C}$ record, north Iran: evidence for overturning of the ocean before the Cambrian explosion. *Earth and Planetary Science Letters* 147: E1-E7.
- Kroonenberg, S. B., 1994- Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments. *Proceedings of the 29th International Geological Congress, Part A*: 69-81.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. & Hanson, G. N., 1993- Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes controlling the composition of clastic sediments*, Geological Society of America, Special Papers 284: 21-40.
- McLennan, S. M., Simonetti, A. & Goldstein, S. L., 2000- Nd and Pb isotopic evidence for provenance and post-depositional alteration of the Paleoproterozoic Huronian Supergroup, Canada. *Precambrian Research* 102: 263-278.
- Mondal, M. E. A., Wani, H. & Mondal, B., 2012- Geochemical signature of provenance, tectonics and chemical weathering in the Quaternary flood plain sediments of the Hindon River, Gangetic plain, India. *Tectonophysics* 566: 87-94.
- Nadimi, A., 2007- Evolution of the Central Iranian basement. *Gondwana Research* 12: 324-333.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M., 1982- Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299: 715-717.
- Potter, P. E., 1978- Petrology and chemistry of modern big river sands. *Geology* 86: 423-449.
- Potter, P. E., Maynard, J. B. & Depetris, P. J., 2005- *Mud and Mudstones*. Springer-Verlag Berlin, 297 pp.
- Ramezani, J. & Tucker, R., 2003- The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *American Journal of Science* 303: 622-665.
- Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1986- Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio. *Geology* 94: 635-650.
- Roser, B. P., Cooper, R. A., Nathan, S. & Tulloch, A. J., 1996- Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 39: 1-16.
- Saki, A., 2010- Proto-Tethyan remnants in northwest Iran: Geochemistry of the gneisses and metapelitic rocks. *Gondwana Research* 17: 704-714.
- Seger, F. E., 1977- *Zur geologie Nord-Alamut gebietes (Zentral-Elburz)*; Eidgenossisihe technische Hochschule ETH/Zurich. Thesis No. 6093. 161 pp.
- Srivastava, A. K., Randive, K. R. & Khare, N., 2013- Mineralogical and geochemical studies of glacial sediments from Schirmacher Oasis, East Antarctica. *Quaternary International*, article in press.
- Talbot, C. J. & Alavi, M., 1996- The past of a future syntaxis across the Zagros. In: Alsop, G.I., Blundell, D.J., Davison, I. (Eds.), *Salt Tectonics*. Geological Society of London Special Publication 100: 89-109.
- Taylor, S. R. & McLennan, S., 1985- *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell, Oxford., 312 pp.

Mineralogy and Geochemistry of the Neoproterozoic Kahar Formation Mudrocks, Kahar Mountain, NW of Tehran

N. Etemad-Saeed ^{1*}, M. Hosseini-Barzi ², M. H. Adabi ³ & A. Sadeghi ⁴

¹ Ph.D. Student, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2013 July 15

Accepted: 2014 January 04

Abstract

The Kahar Formation at its type locality in the Kahar Mountain, 75 km NW of Tehran, consists of about 1000 m of siliciclastic rocks (mainly mudrocks). This study focuses on the mineralogical and geochemical composition of these mudrocks to identify possible source areas and their tectonic setting. The optical microscopy and XRD studies suggest that the mudrocks are rich in quartz and feldspar (especially plagioclase) and have low phyllosilicates (mostly illite and chlorite). SEM-EDX petrographic investigation of mudrocks reveals that platy illite and chlorite may have formed during the diagenesis (illitization and chloritization). Classification of studied mudrocks based on the maturity index, indicate that they are tectic and phyllo-tectic types, deposited in basins related to an (continental) island arc tectonic setting. The Chemical Index of Alteration (average 70) and A–CN–K parameters indicate that a moderate chemical weathering has taken place in the source region of the Kahar mudrocks. In addition, the chemical composition of mudrocks suggests that the amount of sediment recycling is very low in the Kahar deposits. The geochemical discrimination diagrams, immobile trace element ratios and Rare Earth Elements of mudrocks suggest that the Kahar mudrocks were derived mainly from the felsic sources and deposited in the basins related to an island arc tectonic setting. The resulting model for the tectonic setting of the Kahar basin during the Late Neoproterozoic can be best explained by recently models that considered Iran as part of Peri-Gondwanan terranes, similar to the Avalonia and Cadomia arc terranes, occupying the northern margins of Gondwana.

Keywords: Kahar Formation, Mudrock, Mineralogy, Geochemistry.

For Persian Version see pages 287 to 298

*Corresponding author: N. Etemad-Saeed; E-mail: n_etemad@sbu.ac.ir