

خاستگاه زمین‌ساختی سازند کاهار (نئوپروتروزویک پسین) با استفاده از داده‌های تجزیه مودال و کانی‌های سنگین ماسه‌سنگ‌ها در برش نمونه، کوه کاهار، البرز مرکزی

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

^۱ دانشجوی دکتری، 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: ۱۳۹۰/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۵/۳۱

چکیده

این مطالعه روی خاستگاه زمین‌ساختی سازند کاهار با سن نئوپروتروزویک پسین در شمال ایران، کوه کاهار (مقطع نمونه) متمرکز شده است، این سازند دارای اطلاعات ارزشمندی در رابطه با رویدادهای زمین‌ساختی این دوره است. سازند کاهار در این ناحیه، توالی رسوبی خوب حفظ‌شده‌ای در حدود ۱۰۰۰ متر از سنگ‌های بیشتر ریزدانه سیلیسی-آواری به همراه مقادیر کمتری ماسه‌سنگ، کنگلومرا و دولومیت است. ماسه‌سنگ‌های لیتیک آرکوزی کاهار با بلوغ بافتی و ترکیبی پایین، دارای مقادیر فراوانی فلدسپار (پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم)، کوارتز و قطعات سنگی آتشفشانی هستند و میانگین ترکیبی $Q_{38}F_{40}L_{22} + Q_{39}F_{40}L_{21} + Q_{32}F_{40}L_{28} + Q_{m_{32}}F_{40}L_{28} + Q_{p_{27}}L_{vm_{60}}L_{sm_{13}} + Q_{p_{44}}P_{33}K_{23}$ را نشان می‌دهند که نشان از جایگاه زمین‌ساختی کمان ماگمایی فرسوده و منشأ نزدیک به حوضه آنها دارد. نوع قطعات لیتیک در این ماسه‌سنگ‌ها نشان‌دهنده چیرگی سنگ‌های منشأ آتشفشانی آندزیتی و فلسیک است. تحلیل کانی‌های سنگین (فراوانی کانی‌های ناپایدار و نیمه‌پایدار همچون بیوتیت و پیروکسن) نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های کاهار از رخنمون یافتن سنگ‌های ماگمایی کمانی منشأ گرفته‌اند. در هر حال، گوناگونی کم مجموعه‌های کانی سنگین در ماسه‌سنگ‌های کاهار نشان‌دهنده منشأ محلی و یکنواخت برای آنها است. با توجه به وجود دو دیدگاه زمین‌ساختی در رابطه با شرایط حاکم بر ایران طی نئوپروتروزویک پسین (حاشیه غیر فعال کافت و کمان ماگمایی پهنه فرورانش) نتایج این مطالعه با تأیید کمان ماگمایی در روشن سازی گذشته ایران زمین اهمیت دارد.

کلیدواژه‌ها: سازند کاهار، نئوپروتروزویک، خاستگاه زمین‌ساختی، کمان ماگمایی.

*نویسنده مسئول: نجمه اعتمادسعید

E-mail: n_etemad@sbu.ac.ir

۱-مقدمه

۱۳۷۴؛ جهانی و لاسمی، ۱۳۷۵؛ لاسمی، ۱۳۷۹، صبوری و همکاران، ۱۳۸۴؛ قریب و همکاران، ۱۳۸۹) و خاستگاه سنگ‌های سیلیسی-آواری این سازند و به‌ویژه خاستگاه زمین‌ساختی آنها، مورد توجه کمی قرار گرفته است (Horton et al., 2008). بر پایه مطالعه (Horton et al., 2008) روی زیرکن‌های تخریبی کاهار در برش چالوس، رسوبات سازند کاهار در ایران همانند بخش‌هایی از شمال آفریقا و خاورمیانه، به عنوان بخشی از یک گوه آواری گسترده (Extensive Clastic Wedge)، از کوهزایی خاور آفریقا (EAO) منشأ گرفته‌اند. افزون بر توجه کم به خاستگاه آواری‌های کاهار، شاید به دلیل تغییرات گاه شدید پس از رسوب‌گذاری همانند دگرگونی درجه پایین در آنها، طبیعت زمین‌ساختی ایران نیز در زمان نئوپروتروزویک پسین روشن نیست. بحث‌های زیادی در ارتباط با تکامل زمین‌ساختی ایران در طی نئوپروتروزویک پسین، انجام گرفته است. در میان پژوهشگران اختلاف باورهایی در رابطه با ماگماتیسم‌های مرتبط با کافت و یا کمان و در پی آن شرایط حاشیه غیرفعال و یا فعال قاره‌ای وجود دارد (برای نمونه: لاسمی، ۱۳۷۹؛ آقائباتی، ۱۳۸۳؛ Nadimi, 2007; Ramezani & Tucker, 2003; Hassanzadeh et al., 2008; Horton et al., 2008; Saki, 2010). بنابراین، به نظر می‌رسد مطالعه خاستگاه زمین‌ساختی سازند کاهار گامی در راستای روشن شدن شرایط زمین‌ساخت حاکم بر زمان شکل‌گیری پی‌سنگ رسوبی ایران است. در این مطالعه، ارتباط زمین‌ساخت با ترکیب ماسه‌سنگ‌های سازند کاهار در برش نمونه با استفاده از روش‌های تحلیل مودال و مطالعه کانی‌های سنگین، بررسی شده است. هدف این مطالعه دست‌یابی به خاستگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها و در پایان رسیدن به شواهدی از شرایط زمین‌ساختی البرز در دوره پرکامبرین پسین بوده است.

از آنجا که سنگ‌های رسوبی-آواری (Terrigenous Sedimentary Rocks) ممکن است تنها شواهد در دسترس از پوسته فرسایش‌یافته، پوشیده‌شده و یا دفن‌شده باشند، اهمیت فراوانی دارند (Condie et al., 2001). ترکیب پایانی این سنگ‌ها، حاصل رویارویی پیچیده متغیرهای مختلف مرتبط با خاستگاه (Provenance) رسوب است. این واژه (خاستگاه) در برگزیده همه عوامل مرتبط با تولید رسوب است که همگی تحت کنترل مستقیم یا غیر مستقیم زمین‌ساخت قرار دارند. از این رو زمین‌ساخت به عنوان کنترل‌کننده اولیه ترکیب رسوبات شناخته می‌شود (Busby & Azor, 2012). فنون گوناگونی برای یافتن ارتباط میان زمین‌ساخت و ترکیب ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از روش‌های سنگ‌شناسی (Dickinson, 1985; Purevjav & Roser, 2012; Zaid, 2012)، ژئوشیمیایی (McLennan et al., 1993; Jorge et al., 2013) و مطالعه کانی‌های سنگین (Garzanti & Ando, 2007; Meinhold et al., 2011; Sevastjanova et al., 2012) پیشنهاد شده است، که در این مطالعه از میان آنها روش‌های سنگ‌شناسی، بررسی فراوانی و نوع کانی‌های سنگین مورد استفاده قرار گرفته است.

سازند کاهار (Kahar Formation) با سن نئوپروتروزویک پسین، نماینده اولین رکوردهای رسوبی در ناحیه البرز (و احتمالاً همه ایران) است (آقائباتی، ۱۳۸۳ و Horton et al., 2008). برش نمونه این سازند در تاقدیس کوه کاهار در جاده چالوس (Dedual, 1967)، دارای بیش از یک کیلومتر سنگ‌های تخریبی ریزدانه (Mudrock) با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های گری‌وکی و دولومیت‌های متبلور بیشتر استروماتولیتی است. مطالعات پیشین انجام شده روی این سازند بیشتر محدود به بررسی ترکیب، محیط رسوبی و میکروفسیل‌ها بوده (برای نمونه: جهانی، ۱۳۷۳؛ واثقی، ۱۳۷۴؛ حمدی،

۲- زمین‌شناسی ناحیه

از دید زمین‌شناسی، فلات ایران متشکل از چندین واحد ساختاری است که بر پایه تقسیم‌بندی آقائاتی (۱۳۸۳)، ناحیه مورد مطالعه در شمال پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار دارد (شکل ۱). این منطقه همچنین از دید جغرافیایی در البرز مرکزی قرار دارد. برش مورد مطالعه از سازند کاهار برش نمونه (Type Locality) این سازند حدود ۷۵ کیلومتری شمال تهران (E ۵۱°۰۴'۵"، N ۳۶°۰۵'۲۲") در کوه کاهار (معرفی شده توسط Dedual (1967)) و بخشی از تاقدیس کاهار است. مرز زیرین سازند کاهار در این برش رخنمون ندارد و با مرزی گسلی در زیر دولومیت‌های متناسب به سازند سلطانیه قرار می‌گیرد (شکل ۱).

سازند کاهار در برش نمونه از حدود ۱۱۰۰ متر گلسنگ (Mudrock) به همراه میان‌لایه‌هایی از کنگلومرا با جورشدگی ضعیف، ماسه‌سنگ و دولومیت بیشتر دارای استروماتولیت‌های با برجستگی کم (Low-relief Stromatolites) تشکیل شده است. شکل ۲ ستون چینه‌شناسی سازند کاهار در برش مورد مطالعه را نشان می‌دهد. محیط‌های کم ژرفای دریایی، ساحلی و رودخانه‌ای توسط پژوهشگرانی همانند جهانی (۱۳۷۳)، وائقی (۱۳۷۴)، جهانی و لاسمی (۱۳۷۵)، لاسمی (۱۳۷۹) و قریب و همکاران (۱۳۸۹) برای این سازند گزارش شده است. هرچند تاکنون سنگ‌هایی کهن‌تر از کاهار در ناحیه البرز شناسایی نشده‌اند اما سن دقیق نهشت این سازند مشخص نیست. اگرچه، سن توده‌های نفوذ کرده درون این سازند همانند گرانتیت سرو جهان در زنجان (Hassanzadeh et al., 2008; 42±599 Ma) سن این سازند را کهن‌تر از ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلیون سال نشان می‌دهند ولی Horton et al. (2008) در مطالعه‌ای روی زیرکن‌های تخریبی نمونه‌ای از ۱۵۰ متری زیر مرز کاهار با سلطانیه در جاده چالوس، سن کاهار را جوان‌تر از ۶۰۰ میلیون سال معرفی نموده‌اند. افزون بر این، این سازند به سن‌های 120±645 بر پایه سن‌سنجی مدل روبیدیم-استرانسیم (Crawford, 1977) و ریفتن تاوندین (Ma 900-560) بر پایه پالینومورف‌ها، استروماتولیت‌ها و جایگاه چینه‌ای (Seger, 1977; Alsharhan & Nairn, 1997) آقائاتی، ۱۳۸۳؛ حمدی، ۱۳۷۴؛ صبوری و همکاران، ۱۳۸۴) نیز نسبت داده شده است. روی هم‌رفته، سن‌های گزارش شده در کنار جایگاه چینه‌شناسی این سازند که در مناطقی همانند فیروز آباد چالوس و چقلو زنجان، با مرزی پیوسته در زیر سازند سلطانیه با سن قطعی پرکامبرین بالا-کامبرین زیرین (حمدی، ۱۳۷۴؛ Kimura et al., 1997) قرار دارد، نشان می‌دهند که سازند کاهار به احتمال بسیار قوی وابسته به پایان پرکامبرین (نئوپروتروزویک پسین) است.

۳- روش‌ها

طی عملیات‌های صحرائی روی هم‌رفته حدود ۲۰۰ نمونه برداشت شد (ماسه‌سنگ، گلسنگ، کنگلومرا و دولومیت) و پس از تهیه و مطالعه مقاطع نازک و جداسازی گلسنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌ها، ۴۰ نمونه ماسه‌سنگی برای مطالعه سنگ‌شناسی با میکروسکوپ پلاریزان انتخاب شدند. سپس ۳۰۰ تا ۴۰۰ دانه در ۲۴ نمونه مناسب از دید اندازه دانه و جورشدگی، با نقطه شمار مکانیکی و باروش گزی - دیکینسون (Gazzi-Dickinson Method) (Ingersoll et al., 1984) شمارش شدند. متغیرهای شمارش شده در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. ۱۱ نمونه ماسه‌سنگی پس از شستشو، خردایش با هاون دستی و جدایش رده استاندارد ماسه‌های خیلی ریز (63-125 μm) با الک بر پایه روش Morton et al. (1996) در دانشگاه شهید بهشتی و جداسازی توسط سیال سنگین (برومو فورم)، جداسازی مغناطیسی و شناسایی کانی‌های سنگین در سازمان زمین‌شناسی کشور، تفسیر شدند. نتایج حاصل در جدول ۳ ارائه شده است.

۴- سنگ‌نگاری و تحلیل مودال

به طور میانگین فراوانی سازنده‌های اصلی ماسه‌سنگ‌های کاهار (جدول ۲) ترکیب $Q_{38}F_{40}L_{22}$ را نشان می‌دهند و بر پایه رده‌بندی (Folk (1980))، در گروه لیتیک آرکوزها قرار می‌گیرند (شکل ۴). همچنین، با محاسبه درصد زمینه (ماتریکس) (حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد)، بر پایه رده‌بندی (Pettijohn et al. (1987))، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه آرکوزیک آرنایت تا فلدسپاتیک گری وک هستند (شکل ۴).

تشکیل دهنده‌های اصلی این ماسه‌سنگ‌ها، به ترتیب فراوانی ابتدا شامل کانی‌های گروه فلدسپار در دو نوع پلاژیو کلازها و فلدسپارهای پتاسیم‌دار (بیشتر ارتوز و کمتر میکروکلین)، با چیرگی پلاژیو کلازها هستند (شکل ۳- A). ارتوزها در مواردی به سریست تبدیل شده‌اند ولی بیشتر پلاژیو کلازها سالم و بدون هوازدگی هستند. کوارتز در اکثر نمونه‌ها دومین جزء تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های کاهار است و به دو صورت کوارتز تک‌بلور و کوارتز چند بلور دیده می‌شود. کوارتزهای تک بلور فراوان‌تر هستند و بیشتر خاموشی موحی خفیف تا خاموشی مستقیم نشان می‌دهند. کوارتزها بیشتر زاویه‌دار هستند. قطعات سنگی آتشفشانی فراوان‌ترین قطعات سنگی ماسه‌سنگ‌های کاهار را تشکیل می‌دهند (شکل‌های B، C و D) و بیشتر هوازده و از نوع ریولیتی و آندزیتی با بافت فلیسیک و میکروولتیک هستند. همچنین، سنگ‌نگاری نمونه‌های مورد مطالعه نشان از تلاشی برخی از قطعات سنگی آتشفشانی و تبدیل آنها به زمینه و در برخی موارد پلاژیو کلازهای آزاد شده است. دیگر قطعات سنگی رسوبی از نوع چرت و تخریبی‌های ریزدانه و نیز قطعات سنگی رسوبی-دگرگونی در ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها دیده می‌شوند. با توجه به این که سازند کاهار در برش کوه کاهار آثار کمی از دگرگونی درجه پایین (پایین‌تر از رخساره شیست سبز) را نشان می‌دهد، کانی‌های ورقه‌ای با ویژه مسکوویت به صورت صفحات جهت یافته در میان دیگر اجزای تخریبی قابل مشاهده هستند. کانی‌های سنگین کدر (اپک) و شفاف نیز به صورت کمیاب در این ماسه‌سنگ‌ها دیده می‌شوند.

از دید ویژگی‌های بافتی، ماسه‌سنگ‌های کاهار، بیشتر ریزدانه تا متوسط‌دانه، با جورشدگی متوسط و دارای دانه‌های زاویه‌دار تا نیمه گرد شده با کرویت متوسط هستند (شکل ۳). زمینه (ماتریکس) حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. زمینه‌ها بیشتر به صورت دیاژنزی هستند. برای نمونه کلازها به صورت رشد درجا در میان دانه‌ها قابل مشاهده هستند (شکل ۳- E). همچنین بخشی از زمینه به صورت محصولات حاصل از متلاشی شدن و هوازدگی دانه‌هایی همانند فلدسپارها و لیتیک‌ها (زمینه دروغین) هستند (شکل ۳- D). با این حال مطالعات سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که سهم زمینه تخریبی قابل چشم‌پوشی به نظر نمی‌آید. ماسه‌سنگ‌ها از دید بلوغ بافتی، نابالغ (ایمچور) تا نیمه بالغ (ساب مچور) و از نظر بلوغ ترکیبی، دارای رسیدگی پایینی هستند (شکل ۳).

نتایج حاصل از نقطه شماری ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. با استفاده از نمودارهای مثلثی جدایش خاستگاه (Dickinson (1985))، میانگین ترکیب مودال ماسه‌سنگ‌های کاهار $Q_{39}F_{40}L_{21}$ ، $Q_{27}L_{23}P_{33}K_{23}$ و $Q_{m_{32}}F_{40}L_{28}$ است (شکل ۵). بر این پایه، ماسه‌سنگ‌های گری وکی کاهار در هر ۴ مثلث، درون یا در کنار محدوده منشأ کمان ماگمایی قرار می‌گیرند. ویژگی اصلی ماسه‌های مشتق شده از کمان (Arc Derived Sands) ترکیب فلدسپاتولیتیک تا لیتوفلدسپاتیک با نسبت بالای P/K است (Dickinson, 1985; Purevjav & Roser, 2012). پایین آمدن نسبت P/K در ماسه‌سنگ‌های این خاستگاه زمین‌ساختی، به فرسایش ژرف (Deep Dissection) مجموعه‌های کمانی نسبت داده می‌شود. نسبت P/K در ماسه‌سنگ‌های کاهار در محدوده ۰/۴۶ تا ۴/۸۶ و به طور میانگین ۳/۸۰ و نسبت Lv/Ls در محدوده ۲/۳۶ تا ۸/۸ و به طور میانگین ۶/۰۴ است که نشان‌دهنده چیرگی پلاژیو کلاز بر فلدسپارهای پتاسیم و چیرگی قطعات سنگی آتشفشانی بر

(جدول ۴). کاهش میزان کانی سنگین پیروکسن به سمت بالای برش مورد مطالعه را می‌توان به فرایند فرسایش کمان نسبت داد (شکل ۶).

۶- بحث

بر پایه مطالعات انجام شده در سال‌های گذشته، پژوهشگران درباره یکپارچه بودن البرز، ایران مرکزی و زاگرس-عربی (به غیر از کپه‌داغ) از پرکامبرین پسین تا تریاس میانی هم نظر بوده و بر این باورند که پی‌سنگ بلورین پرکامبرین ایران در همه این نواحی وابستگی گندوانایی (Gondwana Affinity) نشان می‌دهد (Stocklin, 1968; Ramezani & Tucker, 2003; Horton et al., 2008; Hassanzadeh et al., 2008; Saki, 2010)، ولی هنوز شرایط زمین‌ساختی حاکم بر این زمین‌ها در نئوپروتروزویک پسین (Late Neoproterozoic) مورد بحث است.

سازند کاهار به طور چیره متشکل از سیلیسی-آواری‌هایی است که بنا به شواهد سنی موجود، طی نئوپروتروزویک پسین در ناحیه البرز نهشته شده‌اند. استفاده از روش‌های کلاسیک در تعیین خاستگاه زمین‌ساختی این ماسه‌سنگ‌ها (تحلیل مودال)، نشان‌دهنده رخساره فلدسپاتولیتیک (با چیرگی فلدسپارهای پلاژیوکلاز و قطعات سنگی آتشفشانی)، و خاستگاه زمین‌ساختی کمان‌ماگمایی برای آنها است. این رسوبات از منشأهای آتشفشانی (volcanic sources) مشتق و احتمالاً در حوضه‌های مرتبط با کمان نهشته شده‌اند. وجود کانی‌های سنگین ناپایدار پیروکسن (در قاعده سازند) به همراه بیوتیت و همین‌طور پایین بودن میزان کانی‌های سنگین فراپایدار نیز وابستگی این ماسه‌سنگ‌ها به حوضه‌های کمان‌ماگمایی را نشان می‌دهد. در ماسه‌سنگ‌های فلدسپاتولیتیک مربوط به کمان‌های ماگمایی، مقدار کانی‌های سنگین پایدار کم و کانی‌های سنگین ناپایدار و نیمه‌پایدار همانند پیروکسن و بیوتیت بیشترین فراوانی را دارند (Garzanti & Ando, 2007; Lundberg, 1991). بیشترین فراوانی گزارش شده از میزان پیروکسن در ماسه‌سنگ‌های مرتبط با کمان‌های ماگمایی در مطالعه (Garzanti & Ando, 2007) به بیش از ۹۰ درصد نیز می‌رسد. با این فرض که هر کدام از سنگ‌های منشأ مهم و شناخته شده (برای نمونه، سنگ‌های آذرین اسیدی و بازی، سنگ‌های دگرگونی مجاورتی و دیناموترمال، پگماتیت‌ها و گرانیت‌ها) و نیز رسوبات مربوط به چرخه دوباره، دارای مجموعه مشخصی کانی‌سنگین در ترکیب خود هستند، می‌توان از روی تمرکز انواع کانی‌های سنگین در ترکیب ماسه‌سنگ‌ها، در رابطه با منشأ آنها بیان دیدگاه کرد (Garzanti & Ando, 2007; Boggs, 2009). مجموعه کانی‌های سنگین موجود در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه (بیوتیت، مسکوویت، روتیل، زیرکن و آمفیبول) نشان از وجود سنگ منشأ آذرین اسیدی برای این ماسه‌سنگ‌ها دارد. هرچند، وجود آندالوزیت، احتمال کمی از وجود منشأ دگرگونی را نیز نشان می‌دهد.

بلوغ بافتی پایین ماسه‌سنگ‌های کاهار (وجود دانه‌های زاویه‌دار با کرویت پایین، به همراه زمینه فراوان) و نیز حفظ اجزای ناپایدار همانند پلاژیوکلازها و قطعات سنگی آتشفشانی در این ماسه‌سنگ‌ها، نشان می‌دهد که اجزای تخریبی کاهار بیشتر مربوط به چرخه اول بوده و شرایط چرخه دوباره رسوبی، شستشوی شدید شیمیایی یا سایش شدید مکانیکی را تحمل نکرده‌اند.

چیرگی کانی‌های سنگین ناپایدار (همانند بیوتیت و پیروکسن) نسبت به انواع فراپایدار و مقادیر پایین اندیس ZTR هم تأییدی بر طبیعت نابالغ ماسه‌سنگ‌های کاهار است که با نتایج سنگ‌شناسی نیز همخوانی دارد. هرچند میزان کانی‌های سنگین ناپایدار نیز از نظر کمی فراوانی پایینی در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه دارد (احتمالاً به دلیل عملکرد رویدادهای پس از رسوب گذاری که حتی سبب بالا رفتن میزان کانی‌های سنگین کدر شده است)، اما نکته قابل توجه این است که در هر حال این کانی‌ها فراوانی خیلی بیشتری نسبت به کانی‌های فراپایدار (Ultrastable) تورمالین، آاناتاز و روتیل در همان نمونه‌ها دارند.

قطعات سنگی رسوبی و کاملاً هماهنگ با خاستگاه کمان‌ماگمایی است. به طور معمول، قطعات مشتق شده از کمان‌ماگمایی در حوضه‌های مرتبط با پهنه فورانش نهشته شده و منشأ قطعات در این جایگاه‌های زمین‌ساختی کمربندهای آتشفشانی و آتشفشانی-نفوذی (ولکانوبلوتونیک) شکل گرفته در پهنه‌های فورانش هستند (Busby and Azor, 2012).

۵- کانی‌های سنگین

تمرکز کانی‌های سنگین (Garzanti & Ando, 2007) در ماسه‌سنگ‌های کاهار، به طور میانگین ۱ درصد است (جدول ۳). به جز یک نمونه (KN3-15) با میزان تقریباً برابر کانی‌های سنگین کدر و شفاف، در دیگر نمونه‌ها کانی‌های سنگین کدر به میزان قابل ملاحظه‌ای فراوان‌تر از کانی‌های سنگین شفاف هستند. به طور میانگین کانی‌های سنگین کدر ۴۸ درصد، کانی‌های سنگین دگرسان شده ۴۵ درصد و کانی‌های سنگین شفاف ۷ درصد کل کانی‌های سنگین موجود در این ماسه‌سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند (شکل ۶ و جدول ۴). پیریت و هماتیت (به همراه اولیوئیت) فراوان‌ترین کانی‌های کدر و به ترتیب فراوانی، گروه میکاها (بیوتیت، مسکوویت و کلریت)، پیروکسن (به‌ویژه در بخش‌های قاعده‌ای سازند)، زیرکن (در بخش‌های میانی سازند) و به میزان بسیار کم آندالوزیت و آمفیبول‌ها کانی‌های شفاف را تشکیل می‌دهند.

به طور کلی فراوانی کانی‌های سنگین در ماسه‌سنگ‌ها کم (حدود ۱ درصد) است، ولی همین مقدار نیز در ماسه‌سنگ‌های کهن نسبت به ماسه‌سنگ‌های عهد حاضر کمتر است چرا که کانی‌های سنگین به‌صورت انتخابی در اثر هوازدگی شیمیایی، حمل رسوب و فرایندهای دیازتری از بین می‌روند (Morton & Hallsworth, 1999; Boggs, 2009). بنابراین انتظار می‌رود که ماسه‌سنگ‌های کهن از کانی‌های سنگین بسیار مقاوم غنی باشند (Boggs, 2009). با این حال، در ماسه‌سنگ‌های کهن کاهار، کانی‌های سنگین فراپایدار (زیرکن، روتیل، تورمالین و آاناتاز) مقادیر بالایی را نشان نمی‌دهند. به غیر از زیرکن، ماسه‌سنگ‌ها بدون تورمالین یا آاناتاز هستند و روتیل فراوانی بسیار کمی دارد. در مقابل، کانی‌های ناپایدار و نیمه‌پایدار (Metastable-unstable) شفاف، فراوانی بیشتری را نشان می‌دهند. اندیس ZTR (Hubert, 1962; Zircon-Tourmaline-Rutile; Hubert, 1962) که حاصل مجموع کانی‌های زیرکن، تورمالین و روتیل و نماینده بلوغ کانی‌شناسی مجموعه کانی‌های سنگین در ماسه‌سنگ‌هاست، در نمونه‌های مورد مطالعه میانگین ۲۹ درصد دارد که مقدار کمی است. در ماسه‌سنگ‌های بالغ کوارتزی، اندیس ZTR بالای ۹۰ درصد است (Hubert, 1962; Okeyode & Jibiri, 2012).

مطالعات گسترده‌ای به منظور روشن کردن انواع کانی‌های سنگین در خاستگاه‌های زمین‌ساختی تعریف شده توسط Dickinson (1985) انجام شده است (Garzanti & Ando, 2007). این مطالعات افزون‌بر تعریف اندیس‌هایی همانند اندیس تمرکز کانی‌های سنگین (HMC)، کانی‌های شفاف (Transparent)، کانی‌های کدر (Opaque)، کانی‌های مات (Turbid) و نیز استفاده از اندیس‌هایی همانند کانی‌های فراپایدار (ZTR)، کانی‌های تیتانیم + دیگر کانی‌ها (T&G)، کانی‌های دگرگونی با درجه پایین (LgM)، گارنت (Gt)، کانی‌های دگرگونی با درجه بالا (Hgm) و ... به بررسی فراوانی انواع کانی‌های سنگین در محیط‌های مختلف زمین‌ساختی عهد حاضر پرداخته‌اند. میزان اندیس‌های بالا در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه و مقایسه آنها با خاستگاه‌های زمین‌ساختی مختلف، در جدول ۴ نشان داده شده است. بالا بودن میزان پیروکسن به‌ویژه در قاعده و کانی بیوتیت در کل سازند کاهار (شکل ۶) و محاسبه اندیس‌های مورد استفاده در مطالعه کانی‌های سنگین در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد که این ماسه‌سنگ‌ها نزدیکی بیشتری به جایگاه‌های زمین‌ساختی کمان‌های ماگمایی نسبت به دیگر جایگاه‌های زمین‌ساختی، نشان می‌دهند

این رخساره گسترده به رخساره تاشک (Tashk Facies) مشهور است و همه جا متشکل از سری ستبری از سیلیسی-آواری‌های ریزدانه و ماسه‌سنگ‌های آرکوزی نابالغ با میان‌لايه‌هایی از توف است. مطالعه (Ramezani & Tucker, 2003) در ناحیه ساغند، محیط نهشت سازند تاشک را در کنار مرکز فوران بازالتی و یا آذرآواری مرتبط با جایگاه زمین‌ساختی کمان ماگمایی، معرفی کرد. نتایج مطالعه پیش رو، بر روی خاستگاه زمین‌ساختی سازند کاهار نیز وابستگی نزدیک این سازند با خاستگاه کمان ماگمایی را نشان می‌دهد. این نتایج نشان‌دهنده شرایط مرتبط با زمین‌ساخت مرتبط با فرورانش در این دوره زمانی (End Neoproterozoic Time) در ایران است.

۷- نتیجه‌گیری

- بلوغ بافتی و ترکیبی پایین ماسه‌سنگ‌های کاهار نشان‌دهنده مسافت حمل کوتاه برای رسوبات تشکیل‌دهنده آنها است.
 - چیرگی کانی‌های سنگین ناپایدار (همانند بیوتیت و پیروکسن) نسبت به انواع فراپایدار (همانند تورمالین و روتیل) و نیز مقادیر پایین اندیس ZTR در ماسه‌سنگ‌های کاهار تأییدی بر طبیعت نابالغ و میزان کم حمل در آنهاست.
 - نتایج تحلیل مودال روی ماسه‌سنگ‌های کاهار نشان‌دهنده وابستگی آنها به خاستگاه زمین‌ساختی کمان‌های ماگمایی است.
 - وجود کانی‌های سنگین ناپایدار همانند پیروکسن (به طور چیره در قاعده سازند) و بیوتیت نیز جایگاه زمین‌ساختی مرتبط با فرورانش را تأیید می‌کند.
 - منشأ ماسه‌سنگ‌های بالا مربوط به سنگ‌های آتشفشانی فلسیک (Felsic) و آندزیتی کمان‌های ماگمایی است. این رسوبات به احتمال زیاد در حوضه‌های مرتبط با پهنه فرورانش نهشته شده‌اند.

سپاسگزاری

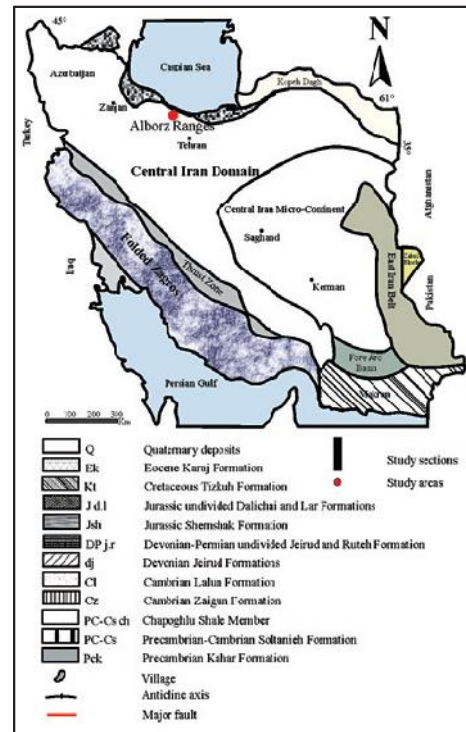
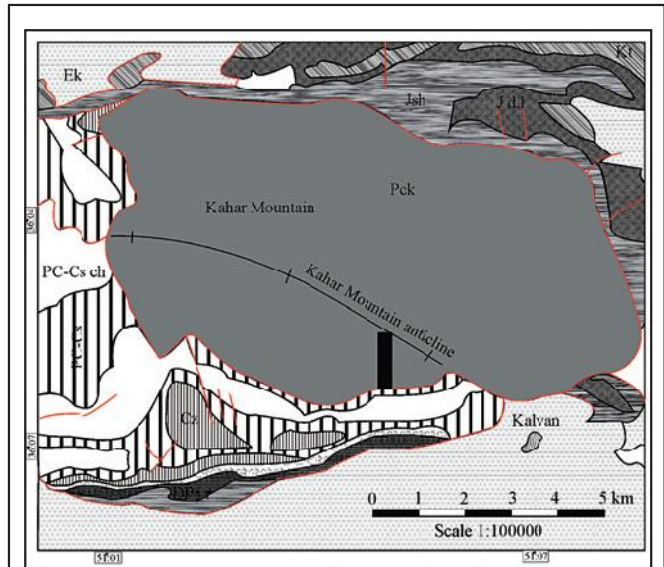
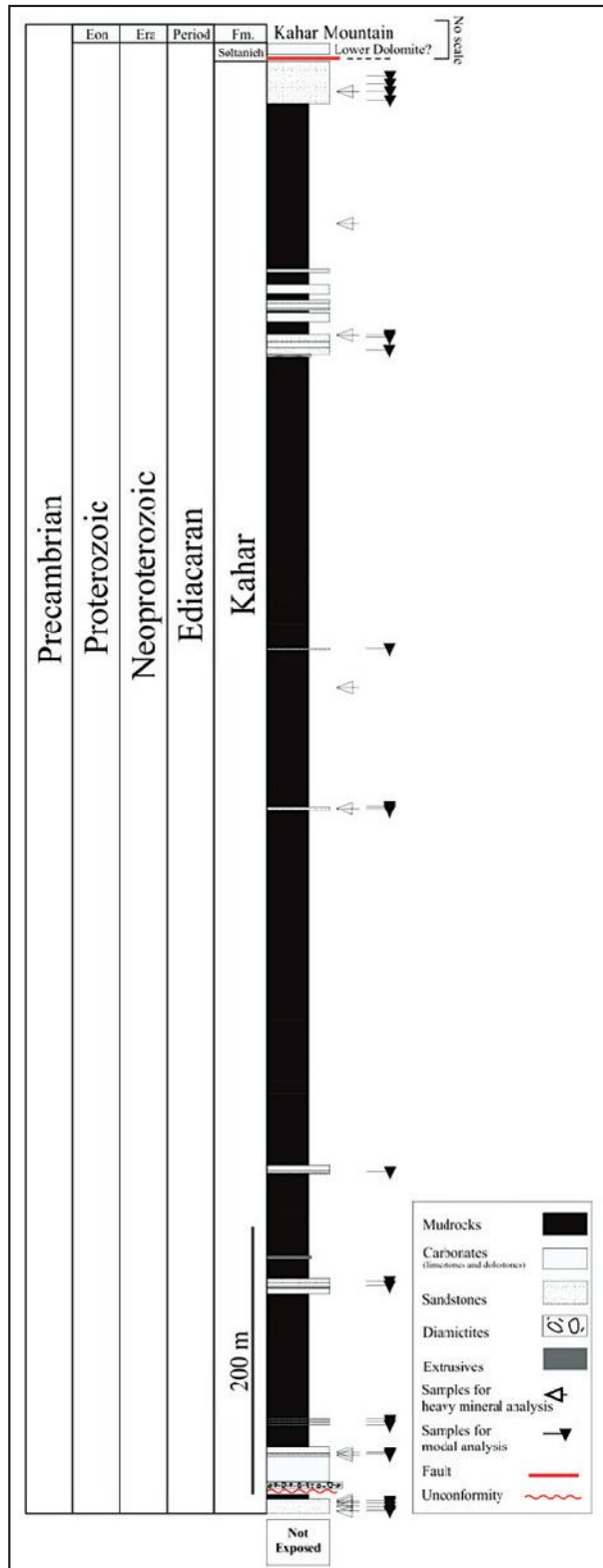
کمک‌های فراوان جناب آقای دکتر هوشمندزاده در معرفی سازند کاهار برای بررسی خاستگاهی، راهنمایی‌ها و پیشنهادات ارزنده در طول مطالعه و نیز بازخوانی متن اولیه این مقاله، شایان تقدیر است. از مسئولان و کارشناس‌های آزمایشگاه‌های دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، برای فراهم آوردن امکانات مناسب آزمایشگاهی برای مطالعات استفاده‌شده در این مقاله سپاسگزاری می‌شود. همچنین، از مهدی اعتمادسعید، نرگس سرداری و مهدی شادان برای کمک‌های فراوانشان در عملیات‌های صحرایی در کوه کاهار، سپاسگزاری می‌شود.

این نتایج نشان می‌دهند که رسوبات کاهار در ناحیه‌ای خیلی نزدیک به منشأ سیلیسی-آواری‌ها نهشته شده‌اند که منشأ گرفتن کامل رسوبات این ماسه‌سنگ‌ها از کوهزایی خاور آفریقا (Horton et al., 2008) را مورد تردید قرار می‌دهد.

در مدل زمین‌ساختی متداول ارائه شده برای پرکامبرین پسین-کامبرین زیرین ایران، وجود رخساره‌های آواری کم‌ژرفا، سری‌های تبخیری-آتشفشانی اینفراکامبرین (ریزو، دسو، راور و هرمز) و ترکیب قلیایی (Alkaline) سنگ‌های آتشفشانی پرکامبرین، به کشش‌های درون قاره‌ای در پوسته کراتونی ایران در این زمان نسبت داده شده‌اند (برای نمونه: لاسمی، ۱۳۷۹؛ آقابات، ۱۳۸۳؛ Stocklin, 1968; Falcon, 1974; Berberian & King, 1981; Hussein, 1989; Talbot & Alavi, 1996). این رویدادهای زمین‌ساختی به فازهای کششی رخداد کاتانگایی یا پان‌آفریکن مرتبط می‌شوند (آقابات، ۱۳۸۳). لاسمی (۱۳۷۹) به طور مشخص بخش‌های زیرین سازند کاهار در البرز را به نهشته‌های پیش از کافت و بخش‌های میانی و بالایی آن را به نهشته‌های همزمان با کافت نسبت می‌دهد.

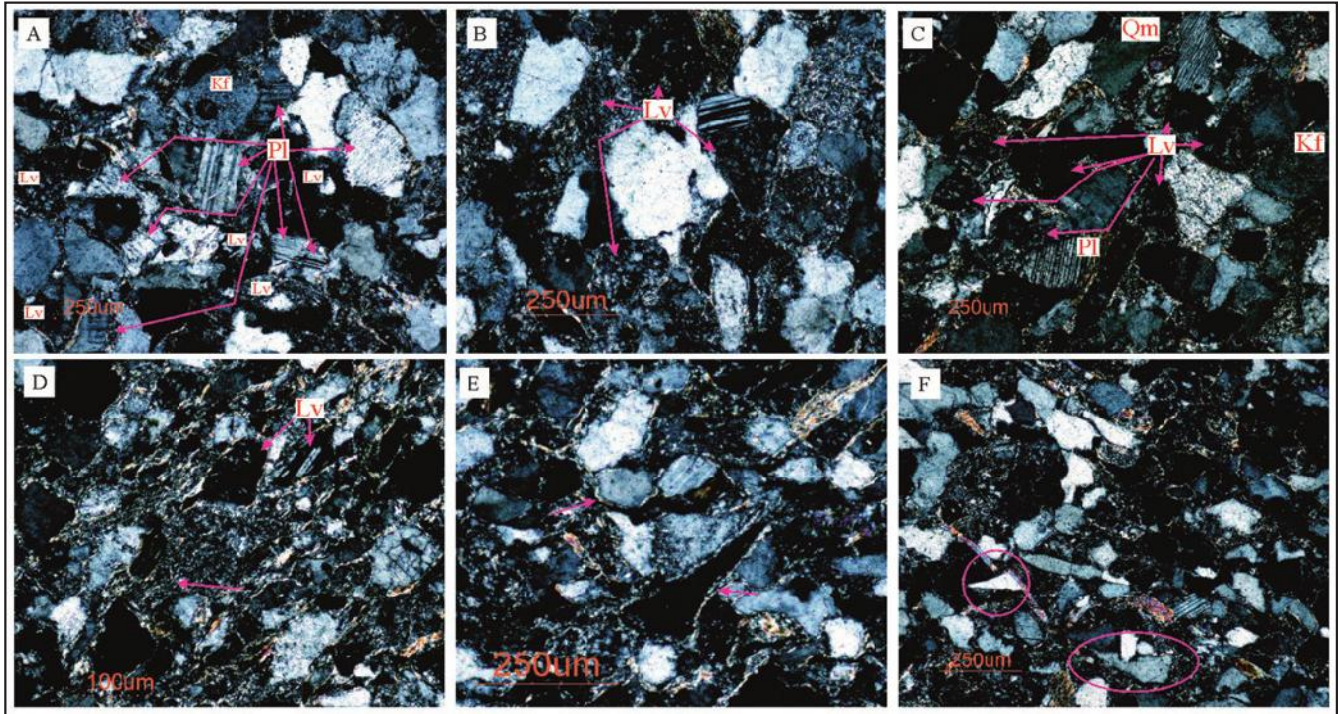
در مدل دیگر ارائه‌شده برای توالی‌های پرکامبرین پسین-کامبرین آغازین ایران که بیشتر بر پایه داده‌های ژئوشیمی و سن‌سنجی استوار است، بررسی ترکیب و سن پی‌سنگ بلورین ایران نشان‌دهنده ماگماتیسم گسترده مرتبط با فرورانش (Subduction-related Magmatism) در پایان پرکامبرین است (Ramezani & Tucker, 2003; Nadimi, 2007; Horton et al., 2008). در این مدل، نهشته‌های تبخیری گسترده و پیوسته نئوپروتروزویک پسین-کامبرین زیرین نیز به محیط‌های پشت کمانی کششی نسبت داده شده است (Ramezani & Tucker, 2003). در این مدل، بلوک‌های ایران همانند زمین‌های کمانی (Arc Terranes) آوالونیا (Avalonai ; 640-540 Ma) و کادومیا (Cadomia ; 616-540 Ma) بخش‌هایی از زمین‌های حاشیه‌ای گندوانا (Peri-Gondwanan Terranes) بوده‌اند که در طول حاشیه قاره‌ای فعال (Andean-type) گندوانا قرار داشته‌اند.

مطالعه خاستگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های کاهار با استفاده از روش‌های تجزیه مودال و مطالعه کانی‌های سنگین، با نشان دادن شرایط زمین‌ساختی مرتبط با کمان‌های ماگمایی، با نظریه دوم همخوانی نشان می‌دهد. البته بحث و نتیجه‌گیری در مورد کاهار به محدوده گسترده‌تری از رخساره گری‌وکی (در سازند کاهار فلدسپاتیک‌گری‌وکی) احتمالاً همزمان با کاهار کشیده می‌شود که در پایان نئوپروتروزویک به‌طور گسترده در سرتاسر ایران نهشته شده، رخنمون‌های آنها در مناطق مختلف گاه اسامی متفاوتی همچون کاهار، تاشک، تکنار و ... را به خود گرفته و یا در مناطقی در زیر رسوبات جوان‌تر پوشیده شده و رخنمون نیافته‌اند.

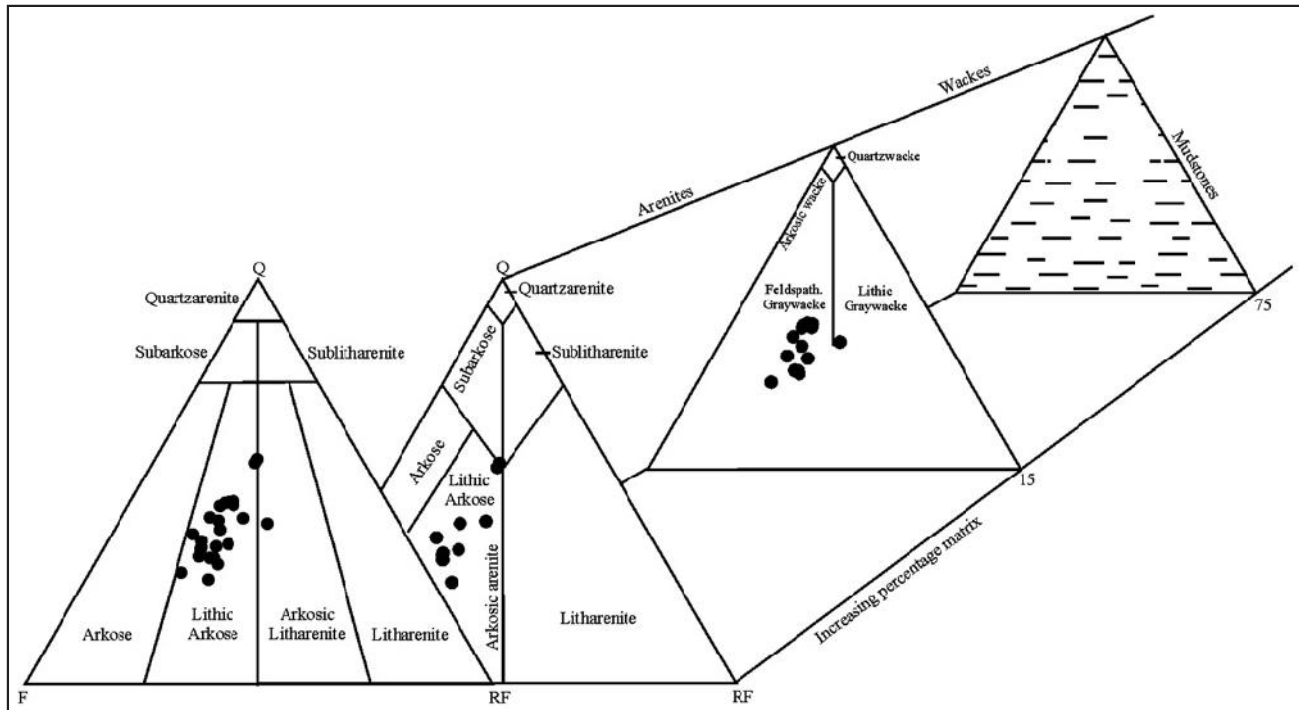


شکل ۱- موقعیت ناحیه مورد مطالعه (دایره سرخ) در نقشه جدایش واحدهای ساختاری ایران (آقاباتی، ۱۳۸۳) و موقعیت کوه کاهار و برش مطالعه شده در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزن آباد (وحدتی دانشمند، ۱۳۷۹).

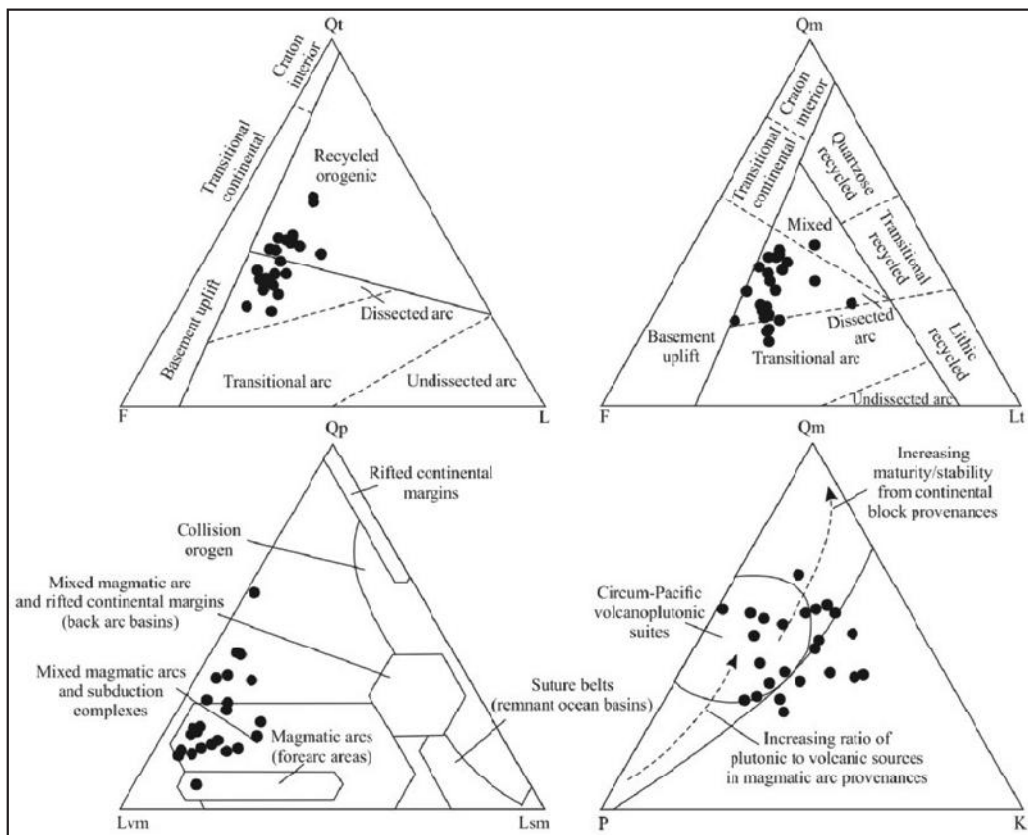
شکل ۲- ستون چینه‌شناسی سازند کاهار در برش کوه کاهار. نمونه‌های انتخاب شده ماسه‌سنگی برای انجام تحلیل مودال و کانی سنگین روی ستون علامت زده شده‌اند.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ پلاریزان از ماسه‌سنگ‌های کاهار. فراوانی کانی‌های پلاژیوکلاز (Pl) و قطعات سنگی آتشفشانی (Lv) در این تصاویر آشکار است. در تصویر ۳- D زمینه‌های دروغین دیانزی و در تصویر ۳- E درج‌زایی کانی کلریت مشخص است. تصویر ۳- F زاویه‌دار بودن چیره دانه‌های تک‌بلور کوآرتز را نشان می‌دهد.



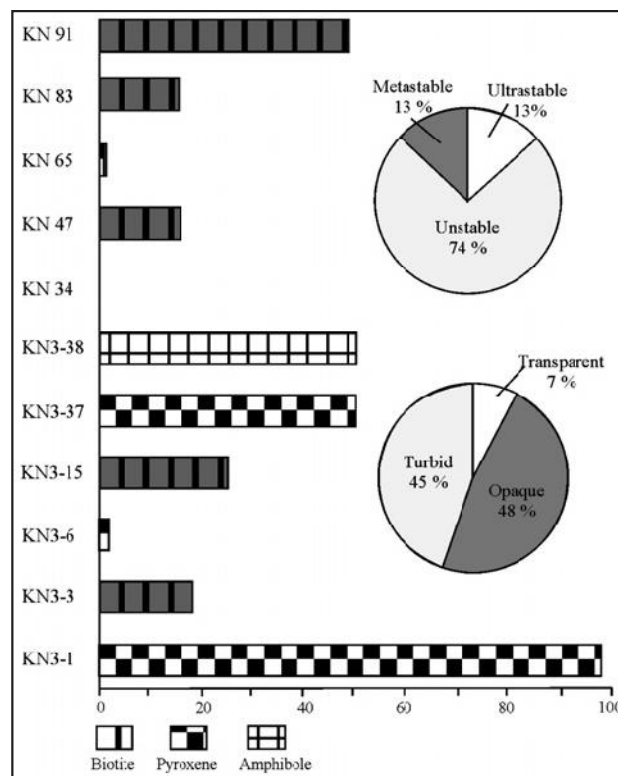
شکل ۴- ترکیب سنگ‌شناسی ماسه‌سنگی کاهار با استفاده از رده‌بندی Folk (1980) و Pettijohn et al. (1978).



شکل ۵- نتایج تحلیل مودال در ماسه‌سنگ‌های کاهار روی نمودارهای جدا کننده خاستگاه (Dickinson (1985).

جدول ۱- متغیرهای شمارش شده در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه (Dickinson, 1985).

Symbol	Definition
Point-counting categories	
Qm	Monocrystalline quartz (>0.625 mm)
Qpq	Polycrystalline quartz (not including chert)
Cht	Chert
P	Plagioclase feldspar
K	K-feldspar
Lv	Volcanic lithic fragment
Ls	Sedimentary lithic fragment
Lms	Metamorphic lithic fragment
Recalculated parameters	
Qp	Polycrystalline quartz including chert
Qt	Total quartzose grains (Qm+Qp)
F	Total feldspar grains (P+K)
L	Total unstable lithic fragments (Lv+Ls+Lms)
Lt	Total lithic fragments (L+Qp)
Lvm	Total volcanic lithic grains
Lsm	Total sedimentary lithic grains



شکل ۶- پراکندگی و فراوانی کانی‌های سنگین و کانی‌های سنگین ناپایدار پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت در برش مورد مطالعه.

جدول ۲- داده‌های حاصل از نقطه‌شماری ۳۰۰ تا ۴۰۰ دانه در ماسه‌سنگ‌های کاهار.

Sample No	Qm	Qpq	KF	Plg	Cht	LS	Lsm	Lv	Acc	Cem	Matrix	SUM	Qt	L	Qp	Lt
KN3 1	106	11	26	90	9	9	1	42	17	11	48	370	126	52	20	72
KN3 2	111	7	25	76	7	6	0	40	10	5	62	349	125	46	14	60
KN3 3	103	4	15	73	8	14	0	46	16	11	48	338	115	60	12	72
KN3 6	54	27	33	92	3	13	0	40	15	50	41	368	84	53	30	83
KN3 11	76	3	32	81	1	9	0	40	5	96	0	343	80	49	4	53
KN3 37	105	6	47	36	5	9	0	40	16	16	54	334	116	49	11	60
KN3 38	98	23	21	33	3	5	0	40	15	59	0	297	124	45	26	71
KN3 45	66	62	1	53	5	5	0	40	0	46	7	285	133	45	67	112
KN 1	60	26	49	61	6	8	0	46	27	33	32	348	92	54	32	86
KN 3	88	17	29	56	3	5	0	40	28	4	62	332	108	45	20	65
KN 10	45	19	49	74	2	10	10	44	11	41	49	354	66	64	21	85
KN 12	76	11	39	26	6	19	1	45	19	52	71	365	93	65	17	82
KN 18	84	8	50	47	4	7	3	40	21	15	58	337	96	50	12	62
KN 33	67	20	78	36	1	6	3	40	17	31	84	383	88	49	21	70
KN 34	59	9	67	37	3	6	9	42	3	35	65	335	71	57	12	69
KN 35	105	7	75	37	6	5	0	40	1	10	67	353	118	45	13	58
KN 52	56	29	37	86	7	8	0	40	6	67	6	342	92	48	36	84
KN 61	64	9	59	47	5	6	0	47	9	49	72	367	78	53	14	67
KN 64b	70	34	44	88	2	7	0	40	6	23	5	319	106	47	36	83
KN 65	65	9	56	92	2	8	0	43	32	34	62	403	76	51	11	62
KN 90	71	7	45	72	8	7	0	47	36	24	60	377	86	54	15	69
KN 91	79	6	50	50	6	6	0	53	17	19	58	344	91	59	12	71
KN 92	118	6	49	48	5	8	0	50	5	18	63	370	129	58	11	69
KN 93	98	9	38	46	0	5	0	44	13	20	63	336	107	49	9	58

جدول ۳- داده‌های حاصل از تجزیه کانی‌های سنگین ماسه‌سنگ‌های کاهار.

Mineral Group	Mean	Standard deviation	Range
Hematite	9.41	18.94	0-50
Limonite	0.09	0.19	0-0.5
Pyrite	17.63	31.65	0.01-82.27
Magnetite	0.012	0.006	0.01-0.02
Leucosene	0.001	0.004	0-0.01
Oligist	3.27	6.31	0-21
Zircon	0.28	0.64	0-2
Rutile	0.004	0.005	0-0.01
Biotite	0.05	0.14	0-0.5
Muscovite	0.13	0.21	0-0.51
Chlorite	0.05	0.14	0-0.5
Pyroxene Group	1.59	5.28	0-17.52
Amphibole Group	0.001	0.004	0-0.01
Epidote Group	0.0009	0.003	0-0.01
Barite	0.0009	0.003	0-0.01
Andalusite	0.04	0.15	0-0.5
Marcasite	0.0009	0.003	0-0.01
ZTR%	29	0.64	0-2.01
HMC%	1	0.57	0.33-2

جدول ۴- مقایسه نتایج به دست آمده از تجزیه کانی‌های سنگین در ماسه‌سنگ‌های سازند کاهار و اصلی‌ترین خاستگاه‌های زمین‌ساختی عهد حاضر (Garzanti & Ando, 2007). اندیس‌های محاسبه شده عبارتند از: HMC: اندیس درصد تمرکز کانی‌های سنگین؛ t_{HM} %: اندیس درصد کانی‌های شفاف؛ op_{HM} %: اندیس درصد کانی‌های کدر؛ tu_{HM} %: اندیس درصد کانی‌های مات؛ ZTR: اندیس مجموع کانی‌های فرا پایدار؛ T&: اندیس مجموع کانی‌های تیتانیم و دیگر کانی‌ها؛ LgM: اندیس کانی‌های دگرگونی درجه پایین؛ Gt: اندیس گارنت؛ HgM: اندیس کانی‌های دگرگونی درجه بالا؛ A(Hb+&A): اندیس مجموع هورنبلند و دیگر آمفیبول‌ها؛ PX(CPX+OPX): اندیس مجموع کلینوپیروکسن و اورتوپیروکسن؛ OS: اندیس مجموع اولیوین و اسپینل.

	HMC	t_{HM} %	op_{HM} %	tu_{HM} %	ZTR	T&	LgM	Gt	HgM	A (Hb+&A)	PX(CPX+OPX)	OS
Kahar	1	7	48	45	0.29	0.0009	0.0009	0	0.04	0-0.01	0-17.52	0
Rift shoulder provenance (Gulf of Aden)	1	52	39	9	24	1	27	15	1	25	6	1
Cratonic provenance (Arabia)	0.9	69	18	13	7	0	49	15	1	19	7	1
Magmatic arc provenance (Parece Vela)	n.d.	n.d.	25	n.d.	0	0	2	0	0	3	95	0

کتابنگاری

- آقائباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- جهانی، د. و لاسمی، ی.، ۱۳۷۵- رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی سازند کهر (پرکامبرین بالایی) در منطقه سربندان دماوند، اولین کنگره زمین‌شناسی دانشگاه‌های ایران، خلاصه مقالات، ص. ۶۷-۶۸.
- جهانی، د.، ۱۳۷۳- مطالعه و بررسی رخساره‌ها و محیط‌های رسوبی سازند کهر (پرکامبرین پسین) در مناطق سربندان دماوند و شه میرزاد سمنان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۱۶۶ ص.
- حمدی، ب.، ۱۳۷۴- سنگ‌های رسوبی پرکامبرین، کامبرین در ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، شماره ۲۰، ۳۵۳ ص.
- صوری، ج.، فراهانی، ب. و نریمانی، ح.، ۱۳۸۴- مطالعه زیست‌چینه‌ای و تعیین سن سازند کهر در البرز مرکزی (برش فیروزآباد چالوس)، چهاردهمین گردهمایی علوم زمین. قریب، ف.، لاسمی، ی. و امامی، م. ه.، ۱۳۸۹- سنگ‌شناسی و محیط رسوبی سازند کهر در نواحی فیروزآباد و شاهین‌دژ (البرز مرکزی و باختری)، فصلنامه علوم زمین شماره ۷۷، ص. ۱۱۴-۱۰۹.
- لاسمی، ی.، ۱۳۷۹- رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالئوزویک ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، شماره ۷۸، ۱۸۰ ص.
- واتفی، ب.، ۱۳۷۴- تحقیق سنگ‌شناسی و رسوب‌شناسی سازند کهر پرکامبرین در البرز مرکزی فیروزآباد مازندران، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ص. ۱۷۸.
- وحدتی دانشمند، ف.، ۱۳۷۹- نقشه زمین‌شناسی مرزن‌آباد، ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۲۶ ص.

References

- Alsharhan, A. S. & Nairn, A. E. M., 1997- Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East. Elsevier, Amsterdam. 811 pp.
- Berberian, M. & King, G. C. P., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences 18, 210-265.
- Boggs, Jr. S., 2009- Petrology of Sedimentary Rocks. Cambridge University Press, 600 pp.
- Busby, C. J. & Azor, A., 2012- Tectonic of Sedimentary Basins (Eds.). Wiley-Blackwell, 647 pp.
- Condie, K. C., Lee, D. & Lang Farmer, G., 2001- Tectonic setting and provenance of the Neoproterozoic Unita Mountain and Big Cottonwood groups, northern Utah: constraints from geochemistry, Nd isotopes and detrital modes. Sedimentary Geology 141-142, 443-464.
- 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.
- Dedual, E., 1967- Zur geologie des mittleren und unteren Karaj – Tales, Zentral Elburz (Iran). Mitt. Geol. Inst. E.T.H.U. Univ. Zurich, 76, 125 pp.
- Dickinson, W. R., 1985- Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones, in: Zuffa, G.G. (Eds.), Provenance of Arenites Reidel, Dordrecht, pp. 333-363.

- Falcon, N. L., 1974- Southern Iran: Zagros Mountains, in: Spencer, A. M. (Eds.), Mesozoic–Cenozoic orogenic belts, Data for orogenic studies 4. Geological Society of London Special Publication, 199–211.
- Folk, R. L., 1980- Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, U.S.A, 182 pp.
- Garzanti, E. & Andò, S., 2007- Plate tectonics and heavy-mineral suites of modern sands, in: Mange, M., Wright, D. (Eds.), Heavy Minerals in Use, Elsevier, Amsterdam: Developments in Sedimentology Series 58, 741–763.
- 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.
- 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.
- Hubert, J. F., 1962- A zircon–tourmaline–rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy minerals assemblages with the gross composition and texture of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* 32, 440–450.
- 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.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D. & Sares, S. W., 1984- The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Petrology* 54, 103–116.
- 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*. Article in press.
- 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.
- Lundberg, N., 1991- Detrital record of the early Central American magmatic arc: petrography of intraoceanic forearc sandstones, Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Geological Society of American Bulletin* 103, 905–915.
- 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.
- Meinhold, G., Morton, A. C., Fanning, C. M., Frei, D., Howard, J. P., Phillips, R. J., Strogon, D. & Whitham, A. G., 2011- Evidence from detrital zircons for recycling of Mesoproterozoic and Neoproterozoic crust recorded in Paleozoic and Mesozoic sandstones of southern Libya. *Earth and Planetary Science Letters* 312, 164–175.
- Morton, A. C. & Hallsworth, C. R., 1999- Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology* 124, 3–29.
- Morton, A. C., Clauoé-Long, J. C. & Berge, C., 1996- SHRIMP constraints on sediment provenance and transport history in the Mesozoic Statfjord Formation, North Sea. *Journal of the Geological Society, London*, 153, 915–929.
- Nadimi, A., 2007- Evolution of the Central Iranian basement. *Gondwana Research* 12, 324–333.
- Okeyode, I. C. & Jibiri, N. N., 2012- The heavy mineral analysis of Ogun River sediments. *European Journal of Scientific Research* 89, 296–305.
- Pettijohn, F., Potter, P. & Siever, R., 1987- Sand and Sandstone. Springer-Verlag, New York, 533 pp.
- Purevjav, N. & Roser, B., 2012- Geochemistry of Devonian–Carboniferous clastic sediments of the Tsetserleg terrane, Hangay Basin, Central Mongolia: Provenance, source weathering, and tectonic setting. *Island Arc* 21, 270–287.
- 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.
- 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.
- Sevastjanova, I., Hall, R. & Alderton, D., 2012- A detrital heavy mineral viewpoint on sediment provenance and tropical weathering in SE Asia. *Sedimentary Geology* 280, 179–194.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52, 1229–1258.
- 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 100. Geological Society of London Special Publication, pp. 89–109.
- Zaid, S. M., 2012- Provenance, diagenesis, tectonic setting and geochemistry of Rudies sandstone (Lower Miocene), Warda Field, Gulf of Suez, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 66–67. 56–71.

Tectonic Provenance of Kahar Formation (Late Neoproterozoic) Using Modal and Heavy Mineral Analyses in Sandstones, Type Locality, Kahar Mountain, Central Alborz

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

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

² Assistant Professor, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Professor, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2011 June 26

Accepted: 2012 August 21

Abstract

This work is focused on tectonic provenance of the Late Neoproterozoic Kahar Formation in the northern Iran. Kahar Mountain (type locality) provides valuable information on tectonic events during this time. The Kahar Formation in this area is a well preserved sedimentary sequence and consists of about 1000 meters of predominantly fine grained siliciclastic rocks and minor sandstones, conglomerates and dolomitized stromatolites. Kahar lithic arkose sandstones with low compositional and textural maturity, contain abundant feldspar (plagioclase and K feldspar), quartz, and volcanic lithic fragments and have an average composition of $Q_{38}F_{40}L_{22}$, $Qt_{39}F_{40}L_{21}$, $Qm_{32}F_{40}Lt_{28}$, $Qp_{27}Lvm_{60}Lsm_{13}$ and $Qm_{44}P_{33}K_{23}$ suggesting a proximal source and a dissected arc setting. The type of lithic fragments in the sandstones show andesitic and felsic volcanic rock sources. Heavy mineral analysis (abundant metastable and unstable minerals such as biotite, and pyroxenes) indicate that Kahar sandstones were derived from unroofing of arc-type magmatic rocks. The low diversity of heavy mineral assemblages in the Kahar sandstones indicates that the source rocks were uniform and localized. Considering the two common tectonic views regarding the Late Neoproterozoic condition of Iran (rift-passive margin and magmatic arc-subduction zone), the results of this study which confirm the magmatic arc tectonic setting of Alborz-Iran at that time seems critical.

Keywords: Kahar Formation, Neoproterozoic, Tectonic provenance, Magmatic arc.

For Persian Version see pages 3 to 12

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