

برخاستگاه ماسه‌سنگ‌های ژئوتین - فرازین در مقطع کوه تیزی (شمال خاور کرمان)، ایران مرکزی

سید حسن حجازی^{۱*}، محمد حسین آدابی^۲ و سید رضا موسوی حرمی^۳

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۳ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۷/۲۹

چکیده

ماسه‌سنگ‌های ژئوتین - فرازین کوه تیزی (واقع در ۲۵ کیلومتری شمال خاور کرمان) به‌طور ناپیوسته بر روی سنگ‌های کامبرین بالایی سازند کوهبنان قرار گرفته‌اند و خود توسط نهشته‌های کربنifer زیرین سازند هوتک (با یک ناپیوستگی فرسایشی) پوشیده می‌شوند. در این ماسه‌سنگ‌ها که اغلب از نوع کوارتزآرنایت هستند، بیشتر دانه‌ها کوارتز متوسط تا بسیار ریزدانه (به‌همراه مقادیر بسیار کم فلدسپار، خرده‌سنگ و کانی سنگین) نیمه‌زایه‌دار تا گرد شده بوده و جورشدگی خوبی دارند. مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیک، تراکم فیزیکی و شیمیایی شدید (مرز دانه‌ها به‌صورت مستقیم، محدب - مقعر و مضرسی و آثار انحلال ناشی از فشار)، کاهش بسیار زیاد تخلخل میان‌دانه‌ای به‌دلیل آرایش دوباره دانه‌ها و تشکیل سیمان سیلیسی است. داده‌های سنگ‌نگاری، منشأ نفوذی درون کراتونی را نشان می‌دهد و مقادیر عناصر فرعی و نسبت‌هایشان (Th/Sc & La/Sc)، مشابهت این سنگ‌ها با رسوبات حاصل از هوازگی سنگ‌های فلسیک را تأیید می‌کند. میانگین شاخص CIA و PIA برای این سنگ‌ها به‌ترتیب ۶۹/۹۶ و ۷۵/۸ (بیش از ۶۰) و گویای هوازگی متوسط تا زیاد برای سنگ منشأ یا در هنگام حمل و نقل رسوبات (پیش از نهشت پایانی) است. نتایج حاصل از رسم اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی این نمونه‌ها بر روی نمودارهای مختلف، رسوبگذاری در یک محیط رسوبی وابسته به حوضه حاشیه قاره‌ای غیرفعال را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد منشأ زمین‌ساختی اصلی این ماسه‌سنگ‌ها، بخش‌های درونی کراتون پایدار عربستان و جایگاه زمین‌ساختی تشکیل آنها حاشیه قاره‌ای غیرفعال اقیانوس تیسس قدیمی باشد.

کلیدواژه‌ها: ماسه‌سنگ، ژئوتین - فرازین، هوازگی، برخاستگاه، جایگاه زمین‌ساختی، ایران

*نویسنده مسئول: سید حسن حجازی

E-mail: hhejazi2010@yahoo.com

۱- مقدمه

سنگ‌های رسوبی آواری می‌توانند اطلاعاتی در مورد محیط و حتی جایگاه ژئودینامیکی گذشته ارائه کنند (Rieser et al., 2005). ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها تابعی از اثرات متقابل پیچیده چندین عامل همچون ماهیت سنگ منشأ، هوازگی ناحیه منشأ و فرایندهای دیاژنتیک است (McLennan et al., 1993). چگونگی تولید رسوب و عوامل مؤثر بر آن، ترکیب سنگ منشأ و آب‌وهوای آن، شرایط حمل‌ونقل و میزان هوازگی مجموعه متغیرهایی هستند که در قالب برخاستگاه سنگ‌های آواری مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (Pettijohn et al., 1987; Weltje & Von Eynatten, 2004).

تعیین منشأ و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آواری بویژه ماسه‌سنگ‌ها، توسط روش‌های مختلف سنگ‌نگاری و ژئوشیمی امکان‌پذیر است. از جمله روش‌های متداول سنگ‌نگاری، مطالعات میکروسکوپی دقیق بر روی دانه‌های کوارتز (Basu et al., 1975)، انواع فلدسپارها (Pittman, 1970)، خرده‌سنگ‌ها (Pettijohn et al., 1987) و مطالعه دانه‌های کوارتز توسط روش کاتدلومینسانس (Matter & Ramseyer, 1985) است. مطالعه انواع کانی‌های سنگین و ترکیب شیمیایی آنها (Morton, 1985; Asiedu et al., 2000) و بررسی داده‌های حاصل از ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی (Bhatia, 1983; McLennan et al., 1993; Kroonenberg, 1994; Armstrong-Altrin et al., 2004) از جمله دیگر روش‌ها است.

رشته‌کوه‌های شمال کرمان، در جنوب خاور ایران مرکزی، منطقه‌ای کلیدی برای چینه‌شناسی دونین - کربنifer زیرین در حاشیه شمالی گندوانا است و اختلافی بزرگ از محیط‌های رسوبگذاری نریتیک را نشان می‌دهد (Wendt et al., 2002). در کوه تیزی (یکی از کوه‌های شمال کرمان)، توالی‌هایی از کامبرین زیرین تا **تریاس میانی دیده می‌شود** (Huckriede et al., 1962; Dastanpour, 1990, 1996; Wendt et al., 1997, 2002). در این مقاله، ماسه‌سنگ‌های مربوط به دونین

میانی - بالایی این ناحیه بر اساس داده‌های سنگ‌نگاری و ژئوشیمی مطالعه شده است تا بتوان به وضعیت دقیق جغرافیای دیرینه و برخاستگاه زمین‌ساختی پی برد.

۲- روش‌های مطالعه

در این پژوهش، ۱۰۸ مقطع نازک میکروسکوپی توسط میکروسکوپ پلاریزان مطالعه شده که ویژگی‌های بافتی و دیاژنتیک بر اساس مطالعات Folk et al. (1987) و Pettijohn et al. (1987) و نامگذاری ماسه‌سنگ‌ها بر مبنای مطالعات Folk et al. (1980) انجام گرفته است. همچنین ۲۳ نمونه ماسه‌سنگ متوسط‌دانه به کمک روش نقطه‌شماری Gazzi-Dickinson (نقل از Ingersoll et al., 1984) بررسی و برای هر نمونه، ۴۰۰ نقطه شمارش شده است. برای انجام مطالعات ژئوشیمی، ۱۴ نمونه از نمونه‌های نقطه‌شماری شده انتخاب و میزان SiO_2 کل سنگ در این نمونه‌ها توسط دستگاه فلورسانس پرتو ایکس (XRF-Magix-pro) و مقادیر دیگر عناصر اصلی و فرعی به‌وسیله دستگاه Inductively coupled plasma ICP (در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور اندازه‌گیری شده است. با استفاده از اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی و رسم آنها بر روی نمودارهای مختلف، نتایج حاصل شده که در ادامه به بیان آنها خواهیم پرداخت.

۳- زمین‌شناسی ناحیه

کوه تیزی در ۲۵ کیلومتری شمال خاور شهر کرمان واقع است (شکل ۱). در این برش، آهک‌های آنکویددار، دولومیت‌های لایه‌لایه و سیلستون‌های کامبرین بالایی (سازند کوهبنان) توسط ماسه‌سنگ، شیل و دولومیت‌های دونین پوشیده شده‌اند. بر روی توالی‌های دونین طی یک ناپیوستگی فرسایشی به‌ترتیب سنگ‌های کربنifer، پرمین و تریاس قرار گرفته است. مرز کامبرین - دونین به‌وسیله

بر مبنای نسبت‌های مولکولی اکسیدهای عناصر متحرک (K_2O , Na_2O , CaO) و MgO) و اکسیدهای عناصر غیر متحرک (Al_2O_3 , TiO_2) ارائه شده است (Chittleborough, 1991).

درجه هوازدگی می‌تواند به وسیله شاخص دگرسانی شیمیایی (CIA; Nesbitt & Young 1982) و شاخص دگرسانی پلاژیوکلاز (PIA; Fedo et al., 1995) مورد ارزیابی قرار گیرد:

$$CIA=100 \times [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)]$$

$$PIA=100 \times (Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)$$

افزون بر اینکه اکسیدها در این دو رابطه به صورت نسبت مولکولی هستند، باید دقت کنیم که CaO^* در این فرمول در اصل مقادیر CaO موجود در بخش سیلیکاتی نمونه باشد. بنابراین، در نمونه‌های با ماتریکس یا سیمان کربناتی، مقادیر CaO باید تصحیح شود و یا از روش دیگری (برای مثال CIW; Cullers, 2000) استفاده شود. اگر مقادیر CIA و PIA در حدود ۵۵-۴۵ باشد، دلیلی بر هوازدگی ضعیف در ناحیه منشأ است (McLennan, 1993; Fedo et al., 1995). در حالی که مقادیر حدود ۱۰۰ برای این دو شاخص، حاکی از هوازدگی بسیار شدید، خارج شدن کامل عناصر قلیایی و قلیایی خاکی از محیط و افزایش محتوای Al_2O_3 است (Fedo et al., 1995; Nath et al., 2000). تغییرات شاخص CIA و PIA برای ذرات سازنده ماسه‌سنگ‌های کوه تیزی (بجز دو نمونه با خمیره (ماتریکس) کربناتی که میزان CaO بالایی داشتند) به ترتیب میان ۴۴/۲۴ تا ۸۳/۴۳ (میانگین ۶۹/۹۶) و ۴۲/۹۸ تا ۹۲/۵۶ (میانگین ۷۵/۸) است. بنابراین با توجه به اینکه مقادیر این دو شاخص برای بیشتر نمونه‌ها بیش از ۶۰ است، می‌توانیم هوازدگی متوسط تا زیاد برای سنگ منشأ یا ذرات تشکیل دهنده در هنگام حمل و نقل را در نظر بگیریم.

۷- برخاستگاه

همان‌گونه که در بخش مقدمه اشاره شد، تعیین برخاستگاه ماسه‌سنگ‌ها توسط روش‌های مختلف قابل بررسی است. برای ارزیابی برخاستگاه ماسه‌سنگ‌های دونین کوه تیزی، میزان کوارتزهای تک‌بلور با خاموشی مستقیم، کوارتزهای تک‌بلور با خاموشی موجی و کوارتزهای چندبلور هر نمونه بر اساس داده‌های به دست آمده از نقطه‌شماری (جدول ۱)، بر روی نمودار Basu et al. (1975) رسم شده است که نتیجه به دست آمده منشأ اولیه نفوذی را برای این ماسه‌سنگ‌ها مشخص می‌کند (شکل ۳- A). افزون بر این، مطالعات دقیق‌تر میکروسکوپی بر روی کوارتزهای چندبلور نشان می‌دهد که این دانه‌ها معمولاً از حدود پنج بلور کوارتز تشکیل شده‌اند و مرز آنها به صورت مستقیم تا کمی انحنا دار است (شکل ۲- D). این نوع از کوارتزهای چندبلور، معمولاً منشأ آذرین نفوذی دارند (Folk, 1980; Blatt et al., 1980; Wanas & Abdel-Maguid, 2006).

بیشتر کانی‌های سنگین در ماسه‌سنگ‌های مقطع کوه تیزی، از جنس زیرکن و تورمالین هستند که طبق مطالعات Morton (1985) و Morton et al. (1992)، این کانی‌ها از سنگ‌های آذرین نفوذی منشأ می‌گیرند. وجود این گروه از کانی‌های سنگین در ماسه‌سنگ‌ها، می‌تواند نشان از هوازدگی به نسبت شدید، بلوغ (Maturity) بالا و حمل دوباره رسوبات باشد (Morton, 1985). از دیگر ویژگی‌های سنگ‌نگاری این ماسه‌سنگ‌ها، حضور بسیار کم (به صورت کاملاً دگرسان شده) و یا نبود فلدسپار و خرده‌سنگ در مقاطع نازک میکروسکوپی است، که این امر می‌تواند دلیلی بر تأثیر یک دوره طولانی از هوازدگی شیمیایی شدید تحت شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب در ناحیه منشأ باشد (Pettijohn et al., 1987). این ویژگی‌های سنگ‌نگاری، تا حدودی منشأ گرفتن این ماسه‌سنگ‌ها را از منطقه‌ای کم‌ارتفاع بر روی یک حاشیه قاره‌ای پایدار تأیید می‌کند (Amireh, 1991). این ویژگی‌ها همچنین می‌تواند بر مشتق شدن این ماسه‌سنگ‌ها از یک حوضه درون‌کراتونی که

گذر سیلتستون‌های هوازده سرخ رنگ به ماسه‌سنگ‌های روشن رنگ ژئوتین (Wendt et al., 2002) به‌طور کاملاً آشکار و مرز دونین-کربنیفر با یک افق فرسایشی سرخ رنگ مشخص می‌شود. پنج رخساره سنگی در طول ستون چینه‌شناسی این مقطع (شکل ۱) قابل مشاهده است: الف) ماسه‌سنگ‌های متوسط تا بسیار ریزدانه (برای مثال واحدهای ۳، ۴، ۷، ۱۵ و ۲۱ در شکل ۱)، ب) سیلتستون (برای مثال واحدهای ۴، ۹ و ۱۲)، ج) شیل (برای مثال واحدهای ۲، ۶، ۱۷ و ۱۹)، د) دولومیت (برای مثال واحدهای ۲، ۵، ۱۵، ۱۷، ۱۸ و ۱۹) و ه) سنگ‌آهک (فقط واحد ۱۴). در این توالی بیشترین ستیرا متعلق به ماسه‌سنگ‌های متوسط تا بسیار ریزدانه است که همین بخش مورد مطالعه برخاستگاه قرار گرفته است. همچنین، رخساره‌های مخلوط آواری/کربناتی نیز به‌طور محدود در این ناحیه دیده می‌شود.

۴- ترکیب کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها

ماسه‌سنگ‌های ژئوتین- فرازین کوه تیزی بیشتر، متوسط تا بسیار ریزدانه هستند و جورشدگی خوبی دارند. بیشتر دانه‌ها نیز به صورت نیمه‌زاویه‌دار تا گرد شده هستند. ویژگی کانی‌شناسی بارز این ماسه‌سنگ‌ها حضور بیش از ۹۵ درصد دانه از جنس کوارتز (به غیر از یکی دو نمونه) و نبود و یا حضور کم فلدسپار و قطعات سنگی است. همین امر موجب شده است که بر اساس طبقه‌بندی Folk (1980)، نام کوارتز آرنایت برای این نمونه‌ها (بجز دو سه نمونه که با اختلاف ناچیزی در میزان کوارتز، ساب آرکوز هستند) در نظر گرفته شود. متوسط دانه‌ها از نظر ترکیبی در ماسه‌سنگ‌های ژئوتین به صورت ۹۶ درصد کوارتز، ۲/۵ درصد فلدسپار و ۰/۵ درصد خرده‌سنگ (و کمتر از ۱ درصد کانی سنگین) و در ماسه‌سنگ‌های فرازین به صورت ۹۷/۲ درصد کوارتز، ۱/۶ درصد فلدسپار و ۰/۵ درصد خرده‌سنگ است. مقادیر کم کانی‌های سنگین نیز بیشتر از جنس تورمالین و زیرکن است.

۵- فرایندهای دیاژنتیکی

از جمله مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیکی که ماسه‌سنگ‌های دونین کوه تیزی را تحت تأثیر قرار داده است، می‌توان به تراکم فیزیکی و شیمیایی، کاهش بسیار زیاد تخلخل میان‌دانه‌ای به دلیل آرایش دوباره دانه‌ها و تشکیل سیمان، اشاره کرد. تراکم فیزیکی یکی از عوامل اصلی کاهش فضاهای خالی سنگ به شمار می‌آید و میزان تراکم فیزیکی و شیمیایی به شدت وابسته به ژرفای دفن شدگی هستند (Tucker, 2001). با توجه به فضای خالی بسیار کم و یا حتی نبود فضاهای خالی در میان دانه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که میزان تراکم فیزیکی در این ماسه‌سنگ‌ها بسیار زیاد بوده است. شاخص‌های تراکم شیمیایی در این ماسه‌سنگ‌ها نیز با مرزهای خطی، محدب-مقعر و مضرسی میان دانه‌ها (شکل ۲- A و B) و همچنین انحلال ناشی از فشار (Pressure-Solution) برخی از دانه‌های کوارتز و گاهی تشکیل استیلولیت مشخص می‌شود.

مهم‌ترین و فراوان‌ترین سیمانی که در فضاهای خالی این ماسه‌سنگ‌ها دیده می‌شود، سیمان سیلیسی است که با توجه به تراکم بسیار زیاد، بیشتر طی سازوکار رشد ثانویه کوارتز (Overgrowth) تشکیل شده و به صورت هم‌محور است (شکل ۲- C). در برخی از ماسه‌سنگ‌های فرازین (نمونه‌های K_{99} تا K_{88}) افزون بر فرایند بالا، احتمالاً دیاژنز کانی‌های رسی (به دلیل وجود لایه‌های شیلی) نیز در تأمین سیلیس این سیمان‌ها نقش داشته است.

۶- هوازدگی در ناحیه منشأ

میزان هوازدگی در ناحیه منشأ یکی از متغیرهایی است که می‌تواند ترکیب شیمیایی سنگ را تحت تأثیر قرار دهد (McLennan et al., 1993). محاسبه میزان هوازدگی رسوبات بر اساس شاخص‌های متفاوتی انجام می‌گیرد که این شاخص‌ها

پژوهش و همچنین داده‌های حاصل از تحلیل جریان‌های قدیمی (شکل ۸)، حاکی از منشأ گرفتن اجزای ماسه‌سنگ‌های ژئوتین-فرازین شمال خاور کرمان از بخش‌های درونی کراتون پایدار عربستان بوده است. همچنین این رسوبات بر روی حاشیه قاره‌ای غیرفعال اقیانوس تیس قدیمی نهشته شده‌اند.

۹- نتیجه‌گیری

ترکیب سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ‌های کوه تیزی بر اساس مطالعات میکروسکوپی (نقطه‌شماری) بیشتر کوارتزآرنایتی و مهم‌ترین فرایند دیاژنتیکی مؤثر بر این ماسه‌سنگ‌ها شامل تراکم فیزیکی و شیمیایی شدید و تشکیل سیمان سیلیسی است. با توجه به اینکه میانگین تغییرات شاخص CIA و PIA برای این سنگ‌ها به ترتیب، ۶۹/۹۶ و ۷۵/۸ است، هوازگی متوسط تا زیاد را برای سنگ منشأ و یا در هنگام حمل و نقل رسوبات (پیش از نهشت پایانی) در نظر می‌گیریم.

مطالعات میکروسکوپی بر روی دانه‌های کوارتز، فلدسپار و کانی‌های سنگین و نتایج به‌دست آمده از داده‌های ژئوشیمیایی، یک منشأ زمین‌ساختی درون‌کراتونی را برای این ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد. همچنین، به نظر می‌رسد که منشأ اولیه آنها آذرین فلسیک باشد و به احتمال زیاد طی چرخه دوباره رسوبی ته‌نشین شده باشند. مطالعات بر روی اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی این سنگ‌ها، رسوبگذاری در یک محیط رسوبی وابسته به حوضه حاشیه قاره‌ای غیرفعال را تأیید می‌کند.

با توجه به شواهد جغرافیای دیرینه مربوط به دونین و داده‌های حاصل از تحلیل جریان‌های قدیمی، منشأ اصلی زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های دونین میانی-بالایی شمال خاور کرمان، بخش‌های درونی کراتون پایدار عربستان و محیط زمین‌ساختی تشکیل آنها نیز حاشیه قاره‌ای غیرفعال اقیانوس تیس قدیمی است.

ته‌نشست رسوبات آن بر روی حاشیه قاره‌ای غیرفعال انجام گرفته است، دلالت کند (Burnett & Quirk, 2001; Emilia & Arribas, 2004).

با استفاده از مقادیر اکسیدهای اصلی و همچنین به‌کار بردن روش Roser & Korsch (1988) که در شکل ۳-B نشان داده شده است، همه نمونه‌ها در محدوده منشأ اصلی رسوبی (کوارتزی) قرار می‌گیرند. این محدوده منطبق با محدوده منشأ قاره‌ای چرخه دوباره همراه با حاشیه غیرفعال قاره‌ای و حوضه‌های رسوبی درون‌کراتونی است (Cingolani et al., 2003; Das et al., 2006). مقادیر برخی از عناصر فرعی مانند La, Sc و Th نیز می‌تواند در تعیین منشأ ماسه‌سنگ‌ها به ما کمک کند. با توجه به نسبت‌های La/Sc و Th/Sc که در جدول ۴ نشان داده شده است، منشأ آذرین فلسیک برای این ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد می‌شود.

۸- جایگاه زمین‌ساختی

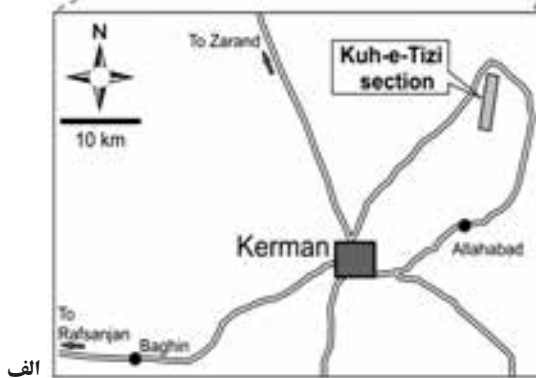
ماسه‌سنگ‌های متعلق به جایگاه‌های زمین‌ساختی متفاوت، ویژگی‌های سنگ‌نگاری (اجزای آواری) و ژئوشیمیایی خاصی برای خود دارند (Crook, 1974; Bhatia, 1983; Dickinson & Suczek, 1979; Valloni & Maynard, 1981; Dickinson et al., 1983; Roser & Korsch, 1986; Kroonenberg, 1994; Zimmermann & Bahlburg, 2003; Osae et al., 2006; Wan & Abdel-Maguid, 2006). در این بخش با استفاده از این ویژگی‌ها، جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های ژئوتین-فرازین مربوط به ناحیه مورد مطالعه را تعیین می‌کنیم.

تعیین جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها توسط ترکیب کانی‌شناسی اجزای آواری آنها برای نخستین بار توسط Crook (1974) پیشنهاد شد و پس از آن توسط Dickinson et al. (1983) و Dickinson & Suczek (1979) ادامه پیدا کرد. با توجه به نمودار Dickinson et al. (1983) که در شکل ۴-A نمایش داده شده است، برخاستگاه زمین‌ساختی نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان بخش‌های درونی و پایدار یک کراتون در نظر گرفت. با این وجود، لازم به یادآوری است که تعیین برخاستگاه زمین‌ساختی از روی ترکیب کانی‌شناسی اجزای آواری باید با احتیاط انجام گیرد چرا که تغییرات ترکیب اصلی این اجزا که می‌تواند توسط فرایندهای دیاژنتیکی ایجاد شود، ممکن است موقعیت نمونه‌ها را در نمودار Q-F-L به شکل دیگری در آورد (McBride, 1985).

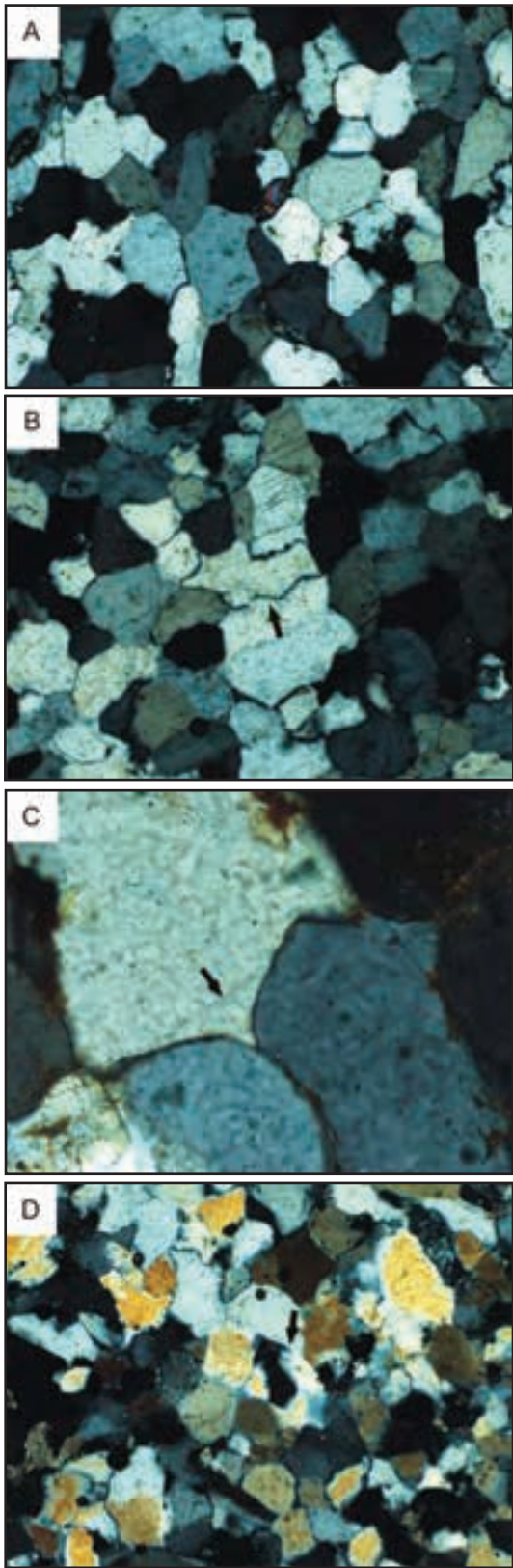
با توجه به درصد اکسیدهای اصلی در ماسه‌سنگ‌ها و استفاده از نمودارهای Roser & Korsch (1986) و Bhatia (1983) و Kroonenberg (1994) نیز می‌توان جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها را مشخص کرد؛ در شکل‌های ۴-B، ۵ و ۶-A درصد اکسیدهایی همچون SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O نشان داده شده است. در این نمودارها، چهار محدوده زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیرفعال (D)، حاشیه قاره‌ای فعال (C)، جزایر کماتی اقیانوسی (A) و جزایر کماتی قاره‌ای (B) مشخص شده است. رسم نمونه‌ها بر روی نمودارهای مختلف نشان می‌دهد که این ماسه‌سنگ‌ها در یک حاشیه قاره‌ای غیرفعال نهشته شده‌اند.

در سنگ‌های رسوبی آواری، عناصر فرعی (همچون Ti, Nb, Cs, Ni, V, Co, Y, La, Th, Sc, Zr) تحت شرایط هوازگی، دیاژنز و حتی فرایندهای دگرگونی درجه متوسط، ثابت و بدون حرکت هستند و معمولاً مقادیر اولیه آنها حفظ می‌شود (Bhatia & Crook, 1986; McLennan et al., 1993). بنابراین، عناصر فرعی شاخص‌های خوبی برای تعیین منشأ اصلی و جایگاه زمین‌ساختی در سنگ‌های رسوبی آواری به‌شمار می‌آیند (Bhatia & Crook, 1986; McLennan, 2001). رسم مقادیر عناصر فرعی نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه بر روی نمودارهای Bhatia & Crook (1986) نیز حاکی از تشکیل این سنگ‌ها در یک محیط زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیرفعال است (شکل‌های ۶-B و ۷).

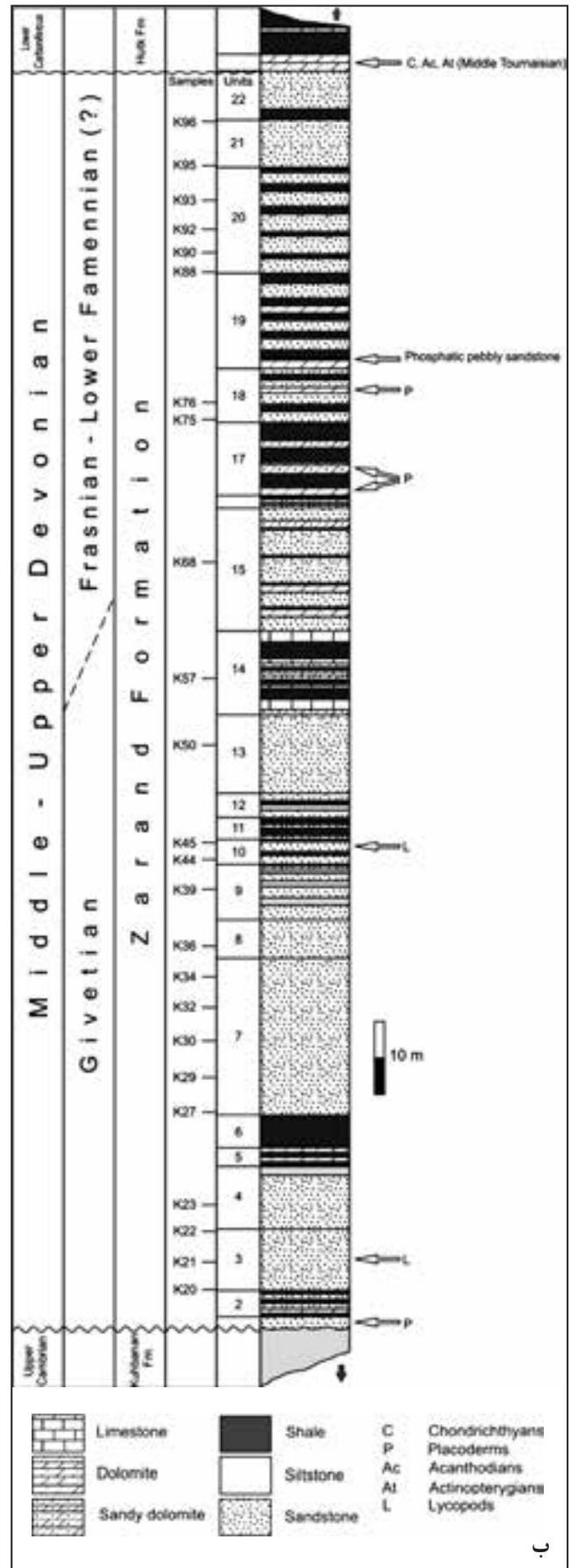
همانگی شواهد جغرافیای دیرینه مربوط به دونین با نتایج به‌دست آمده در این



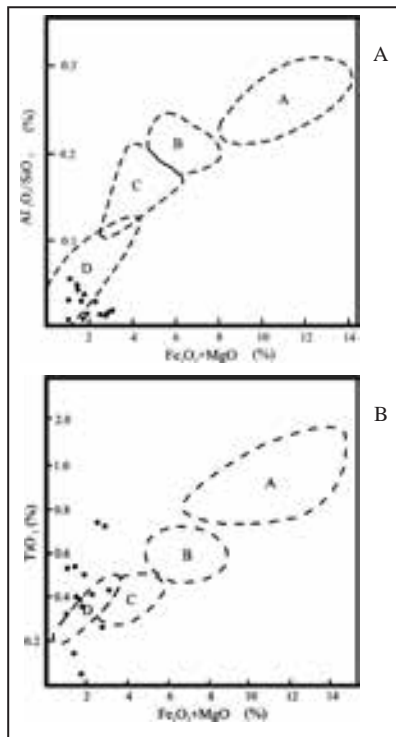
شکل ۱-الف) موقعیت جغرافیایی کوه تیزی



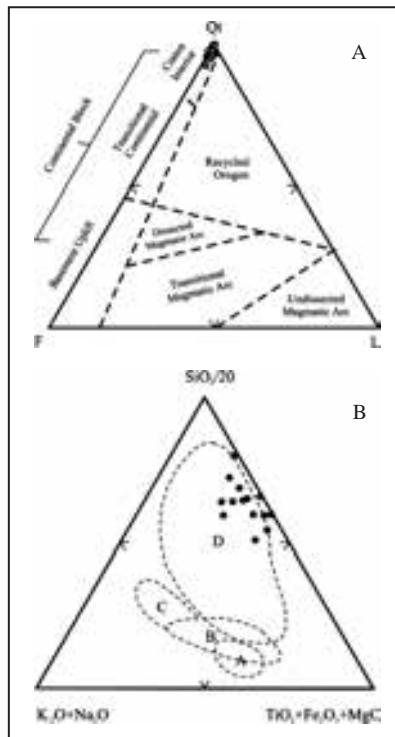
شکل ۲- A) تراکم فیزیکی و شیمیایی شدید بر روی دانه‌های کوارتز-کانی زیرکن (نمونه K₄₅، نور پلاریزه / 100X)؛ B) انحلال ناشی از فشار و مرز مخرسی میان دانه‌های کوارتز (نمونه K₇₅، نور پلاریزه / 100X)؛ C) سیمان سیلیسی حاصل از رشد ثانویه کوارتز (نمونه K₉₂، نور پلاریزه / 400X) و D) کوارتز چند بلورین که مرز بلورها مستقیم تا کمی منحنی شکل است (نمونه K₃₆، نور پلاریزه / 100X).



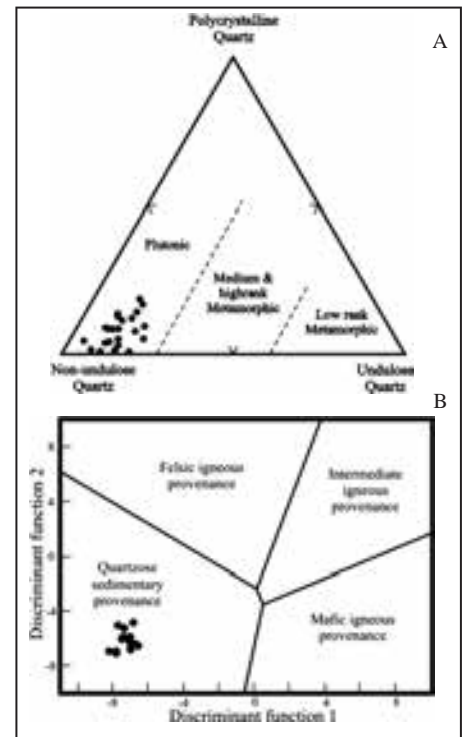
شکل ۱- ب) ستون چینه‌شناسی برداشت شده از سنگ‌های دونین در کوه تیزی.



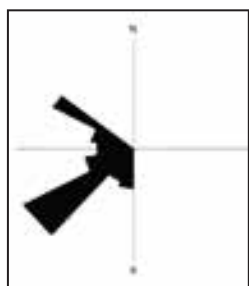
شکل ۵- رسم اکسیدهای اصلی بر روی نمودارهای Bhatia (1983); مقادیر متغیر TiO_2 ناشی از تأثیر فرایندهای دیاژنتیکی است.



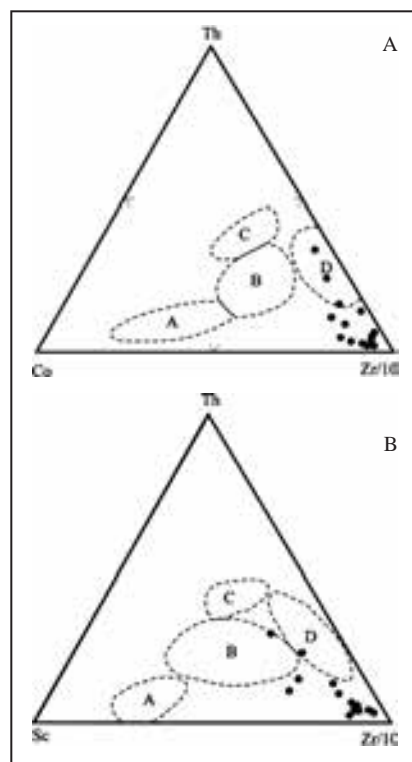
شکل ۴- (A) قرارگیری نمونه‌های ماسه‌سنگ کوه تیزی در بخش کراتونی نمودار Dickinson et al. (1983) و (B) نمونه‌ها در نمودار Kroonenberg (1994). جایگاه زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای غیرفعال را نشان می‌دهند.



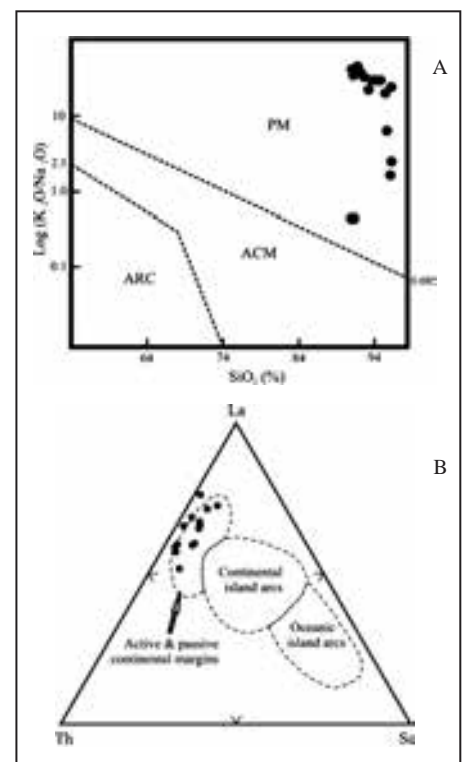
شکل ۳- (A) قرارگیری نمونه‌های ماسه‌سنگی ناحیه مورد مطالعه در بخش نفوذی نمودار Basu et al. (1975) و (B) این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌ها می‌توانند منشأ اصلی رسوبی (کوارتزی) داشته باشند (Roser & Korsch, 1988).



شکل ۸- داده‌های حاصل از تحلیل جریان‌های دیرین.



شکل ۷- رسم ترکیب عناصر فرعی ماسه‌سنگ‌های کوه تیزی بر روی نمودارهای ارائه شده توسط Bhatia & Crook (1986); علت گرایش نمونه‌ها به سوی رأس Zr وجود زیرکون زیاد در ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها است.



شکل ۶- (A) رسم اکسیدهای اصلی بر روی نمودار Roser & Korsch (1986); حاشیه قاره‌ای غیرفعال، (B) رسم مقادیر عناصر فرعی بر روی نمودار Bhatia & Crook (1986). حاشیه قاره‌ای فعال و (ARM): جزایر کماتی، و (B) رسم مقادیر عناصر فرعی بر روی نمودار Bhatia & Crook (1986).

جدول ۱- داده‌های حاصل از نقطه شماری که به صورت درصد گزارش شده است.

| Sample No. | Mono Qtz | | Poly Qtz | Total Qtz | Feldspar | Rock fragments | Heavy minerals | |
|------------|------------------|--------------|----------|-----------|----------|----------------|----------------|--------------------------------|
| | Non-undulose Qtz | Undulose Qtz | | | | | Opaque | Non-opaque (Zircon-Tourmaline) |
| K20 | 77.52 | 18.40 | 1.00 | 96.92 | 1.40 | 0.00 | 1.24 | 0.44 |
| K22 | 77.00 | 13.40 | 4.40 | 94.80 | 2.15 | 1.05 | 1.10 | 0.90 |
| K23 | 78.20 | 14.40 | 2.60 | 95.20 | 4.20 | 0.00 | 0.35 | 0.25 |
| K27 | 85.52 | 10.80 | 3.60 | 96.32 | 0.02 | 0.00 | 0.04 | 0.02 |
| K29 | 69.18 | 19.00 | 9.00 | 97.18 | 2.60 | 0.00 | 0.14 | 0.12 |
| K30 | 79.56 | 8.00 | 8.40 | 95.96 | 3.80 | 0.00 | 0.16 | 0.08 |
| K32 | 64.80 | 14.60 | 15.80 | 95.20 | 2.90 | 1.10 | 0.15 | 0.05 |
| K34 | 74.38 | 9.60 | 12.00 | 95.98 | 3.60 | 0.14 | 0.16 | 0.12 |
| K36 | 71.78 | 17.00 | 7.25 | 96.03 | 2.50 | 1.25 | 0.15 | 0.07 |
| K39 | 70.92 | 14.00 | 11.45 | 96.37 | 2.00 | 0.24 | 0.50 | 0.34 |
| K44 | 77.65 | 10.20 | 7.95 | 95.80 | 2.90 | 0.60 | 0.55 | 0.25 |
| K45 | 76.56 | 12.00 | 8.40 | 96.96 | 1.20 | 0.36 | 0.62 | 0.66 |
| K50 | 83.36 | 7.20 | 1.30 | 91.86 | 6.30 | 1.50 | 0.26 | 0.28 |
| K57 | 90.80 | 4.25 | 4.30 | 99.35 | 0.40 | 0.00 | 0.06 | 0.04 |
| K68 | 67.75 | 14.20 | 13.40 | 95.35 | 3.20 | 0.50 | 0.43 | 0.52 |
| K75 | 69.60 | 20.14 | 5.00 | 94.74 | 2.20 | 0.70 | 1.32 | 1.04 |
| K76 | 83.00 | 14.60 | 1.35 | 98.95 | 0.25 | 0.42 | 0.18 | 0.20 |
| K88 | 81.15 | 9.20 | 8.00 | 98.35 | 1.10 | 0.00 | 0.28 | 0.27 |
| K90 | 67.05 | 13.40 | 18.20 | 98.65 | 0.70 | 0.30 | 0.20 | 0.15 |
| K92 | 83.18 | 11.75 | 4.00 | 98.93 | 0.50 | 0.25 | 0.20 | 0.12 |
| K93 | 73.95 | 11.65 | 10.75 | 96.35 | 1.40 | 1.85 | 0.24 | 0.16 |
| K95 | 88.10 | 10.45 | 0.80 | 99.35 | 0.55 | 0.00 | 0.04 | 0.06 |
| K96 | 76.10 | 9.40 | 13.60 | 99.10 | 0.75 | 0.00 | 0.05 | 0.10 |

جدول ۲- مقادیر اکسیدهای اصلی موجود در نمونه‌های ماسه‌سنگی ناحیه مورد مطالعه.

| Sample No. | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | TiO ₂ (%) | MnO (%) | Na ₂ O (%) | K ₂ O (%) | P ₂ O ₅ (%) | L.O.I (%) |
|-----------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------|---------|----------------------|---------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------|
| K ₂₃ | 93.20 | 3.45 | 1.72 | 0.18 | 0.08 | 0.36 | 0.02 | 0.015 | 0.33 | 0.02 | 0.74 |
| K ₂₇ | 94.43 | 1.68 | 3.09 | 0.78 | 0.08 | 0.43 | 0.02 | 0.013 | 0.37 | 0.14 | 0.33 |
| K ₂₉ | 90.98 | 5.05 | 1.01 | 0.16 | 0.10 | 0.53 | 0.003 | 0.022 | 0.90 | 0.02 | 0.91 |
| K ₃₀ | 94.14 | 2.79 | 1.00 | 0.48 | 0.06 | 0.32 | 0.05 | 0.014 | 0.41 | 0.02 | 0.71 |
| K ₃₄ | 91.22 | 2.61 | 1.60 | 0.97 | 0.07 | 0.39 | 0.007 | 0.013 | 0.44 | 0.02 | 0.76 |
| K ₃₉ | 93.66 | 2.66 | 2.25 | 0.16 | 0.06 | 0.41 | 0.04 | 0.015 | 0.44 | 0.02 | 0.71 |
| K ₄₄ | 91.74 | 4.38 | 1.36 | 0.22 | 0.10 | 0.54 | 0.01 | 0.025 | 1.12 | 0.04 | 0.86 |
| K ₄₅ | 95.41 | 1.12 | 2.76 | 0.64 | 0.04 | 0.26 | 0.03 | 0.011 | 0.21 | 0.01 | 0.83 |
| K ₅₇ | 96.19 | 0.79 | 1.64 | 1.55 | 0.12 | 0.05 | 0.02 | 0.015 | 0.36 | 0.20 | 0.93 |
| K ₇₅ | 96.22 | 1.22 | 2.41 | 0.24 | 0.14 | 0.67 | 0.01 | 0.012 | 0.03 | 0.02 | 0.41 |
| K ₇₆ | 92.64 | 3.88 | 1.32 | 0.16 | 0.18 | 0.40 | 0.003 | 0.021 | 0.68 | 0.03 | 0.87 |
| K ₈₈ | 96.06 | 1.32 | 1.88 | 0.11 | 0.04 | 0.52 | 0.005 | 0.018 | 0.03 | 0.03 | 0.39 |
| K ₉₀ | 92.14 | 1.44 | 2.72 | 2.93 | 0.20 | 0.66 | 0.04 | 0.023 | 0.85 | 0.37 | 1.82 |
| K ₉₆ | 95.60 | 0.72 | 1.00 | 0.04 | 0.04 | 0.09 | 0.004 | 0.011 | 0.07 | 0.02 | 2.28 |

جدول ۳- مقادیر عناصر فرعی موجود در نمونه‌های ماسه‌سنگی ناحیه مورد مطالعه.

| Sample No. | Sc (ppm) | V (ppm) | Cr (ppm) | Co (ppm) | Rb (ppm) | Y (ppm) | Zr (ppm) | Nb (ppm) | Ba (ppm) | La (ppm) | Nd (ppm) | Th (ppm) |
|-----------------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| K ₂₃ | 1.76 | 17.82 | 237.74 | 1.0 | 43.17 | 5.87 | 248.07 | 4.82 | 103.95 | 13.85 | 9.14 | 7.56 |
| K ₂₇ | 1.63 | 18.51 | 491.76 | 3.8 | 2.34 | 8.45 | 320.69 | 6.39 | 118.50 | 10.53 | 10.46 | 8.19 |
| K ₂₉ | 1.97 | 43.57 | 204.87 | 1.0 | 0.50 | 8.19 | 386.05 | 9.61 | 192.38 | 19.20 | 12.74 | 8.30 |
| K ₃₀ | 1.18 | 18.46 | 185.96 | 1.0 | 35.48 | 4.17 | 168.32 | 4.34 | 91.30 | 14.35 | 13.74 | 4.47 |
| K ₃₄ | 1.13 | 19.58 | 147.60 | 10.2 | 0.50 | 10.57 | 261.07 | 6.79 | 104.65 | 15.45 | 12.77 | 10.36 |
| K ₃₉ | 1.88 | 20.69 | 98.72 | 2.0 | 0.50 | 5.70 | 246.05 | 6.85 | 124.09 | 21.60 | 16.28 | 8.58 |
| K ₄₄ | 2.65 | 30.45 | 128.63 | 1.0 | 6.80 | 8.00 | 208.90 | 7.31 | 155.92 | 19.44 | 20.24 | 10.26 |
| K ₄₅ | 1.40 | 15.05 | 355.19 | 4.5 | 0.50 | 2.52 | 62.42 | 2.61 | 56.43 | 10.34 | 2.99 | 5.70 |
| K ₅₇ | 0.33 | 5.35 | 192.63 | 1.0 | 0.50 | 10.53 | 33.59 | 0.10 | 48.11 | 5.51 | 15.11 | 3.42 |
| K ₇₅ | 1.15 | 18.92 | 417.43 | 1.0 | 0.50 | 8.25 | 368.06 | 4.54 | 30.81 | 21.27 | 16.21 | 13.79 |
| K ₇₆ | 2.51 | 25.92 | 250.12 | 1.0 | 0.50 | 6.98 | 198.72 | 6.65 | 176.78 | 21.70 | 20.64 | 5.72 |
| K ₈₈ | 1.34 | 18.25 | 169.37 | 1.0 | 36.05 | 5.93 | 247.64 | 6.90 | 34.27 | 30.83 | 28.90 | 12.72 |
| K ₉₀ | 1.53 | 18.40 | 280.60 | 3.2 | 48.46 | 22.48 | 231.26 | 4.81 | 62.40 | 50.09 | 50.30 | 24.38 |
| K ₉₆ | 0.24 | 8.07 | 214.43 | 20.3 | 0.50 | 1.16 | 50.41 | 2.39 | 27.68 | 9.32 | 7.83 | 2.74 |

جدول ۴- مقایسه نسبت‌های La/Sc و Th/Sc ماسه‌سنگ‌های کوه تیزی با رسوبات با منشأ فلسیک و مافیک.

| نسبت عناصر فرعی | محدوده ماسه سنگ‌های ژئوتین - فرازین ناحیه مورد مطالعه* | محدوده رسوبات با منشأ فلسیک** | محدوده رسوبات با منشأ مافیک** |
|-----------------|--|-------------------------------|-------------------------------|
| La/Sc | 6.46-38.83 | 2.5-16.3 | 0.43-0.86 |
| Th/Sc | 2.28- 15.93 | 0.84-20.5 | 0.05-0.22 |

*نتایج حاصل از این مطالعه (لازم به یادآوری است نسبت La/Sc فقط برای دو نمونه K₉₀، K₉₆ بیش از ۲۰ است)

**Armstrong- Altrin et al. (2004)

References

- Amireh, B. S., 1991- Mineral composition of the Cambrian–Cretaceous Nubian Series of Jordan: provenance, tectonic setting and climatological implication, *Sedimentary Geology*, 71: 99–119.
- Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y., Verma, S. & 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.
- Asiedu, D. K., Suzui, S. & Shibata, T., 2000- Provenance of sandstones from the Lower Cretaceous Sasayama Group, inner zone of southwest Japan, *Sedimentary Geology*, 131: 9–24.
- Basu, A., Young, S., Suttner, L., James, W. & Mack, G., 1975- Re-evaluation of the use of undulatory extinction and crystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45: 873–882.
- Bhatia, M. R., 1983- Plate tectonics and geochemical composition of sandstones, *Journal of Geology*, 91:611–627.
- Bhatia, M. R. & Crook, K. W., 1986- Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92:181–193.
- Blatt, H., Middleton, G. & Murray, R., 1980- *Origin of Sedimentary Rocks*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 782p.
- Burnett, D. J. & Quirk, D. G., 2001- Turbidite provenance in the Lower Paleozoic Manx Group, Isle of man; implications for the tectonic setting of Eastern Avalonia, *Journal of Geological Society of London*, 158: 913–924.
- Chittleborough, D.J., 1991- Indices of weathering for soils and palaeosols formed on silicate rocks, *Australian Journal of Earth Sciences*, 38:115–120.
- Cingolani, C. A., Manassero, M. & Abre, P., 2003- Composition, provenance, and tectonic setting of Ordovician siliciclastic rocks in the San Rafael block: Southern extension of the Precordillera crustal fragment, Argentina, *Journal of South American Earth Sciences*, 16(1):91-106.
- Crook, K. W., 1974- Lithogenesis and tectonics: the significance of compositional variation in flysch arenites (greywackes), In: Dott, R. H., Shaver, R. H. (Eds.), *Modern and Ancient, Geosynclinal Sedimentation*, Society for Sedimentary Geology Special Publication 19:304-310.
- Cullers, R. L., 2000- The geochemistry of shale, siltstone and sandstone of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implication for provenance and metamorphic studies, *Lithos*, 51:181–203.
- Das, B. K., AL-Mikhlaifi, A. S. & 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.
- Dastanpour, M., 1990- The Devonian stratigraphy of Kerman, southeast central Iran, Unpublished PhD Thesis, University of Bristol, 234 p.
- Dastanpour, M., 1996- Late Devonian reef in north Kerman province, *Journal of Science*, University of Tehran, 22:1-11.
- Dickinson, W. R. & Suczek, C., 1979- Plate tectonics and sandstone composition, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63:2164–2182.

- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A. & Ryberg, P. T., 1983- Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting, *Geological Society of American Bulletin*, 94:222–235.
- Emilia, L. & Arribas, J., 2004 - Sand composition in an Iberian passive-margin fluvial course: the Tajo River. *Sedimentary Geology* 171, 261–281.
- 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.
- Folk, R. L., 1980- *Petrology of Sedimentary Rocks*, Austin, Texas, Hemphill Press, 182 p.
- Huckriede, R., K-Rsten, M. & Venzlaff, H., 1962- Zur Geologie des Gebietes zwischen Kerman und Sagand (Iran), Beihefte zum Geologischen Jahrbuch, Hannover, 51:197 p.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T., Ford, R., Grimm, J., Pickle, J. & Sares, S., 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.
- 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.
- Matter, A. & Ramseier, K., 1985- Cathodoluminescence microscopy as a tool for provenance studies of sandstones, In: Zuffa, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenite*. Reidel, Dordrecht, the Netherlands.
- McBride, E. F., 1985- Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone, In: Zuffa, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenite*. Reidel, Dordrecht, the Netherlands, 95-113.
- McLennan, S. M., 1993- Weathering and global denudation, *Journal of Geology*, 101:295-303.
- McLennan, S. M., 2001- Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust, *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2(4), 1021, doi:10.1029/2000GC000109.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. & Hanson, G. N., 1993- Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, J.M., Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*, Geological Society of America, Special Paper, 284:21-40
- Morton, A. C., 1985- Heavy minerals in provenance studies, In: Zuffa, G. G. (Ed.), *Provenance of Arenite*, Reidel, Dordrecht, 249-277.
- Morton, A. C., Davies, J. R. & Waters, R. A., 1992- Heavy minerals as a guide to turbidite provenance in the Lower Paleozoic Southern Welsh Basin: a pilot study, *Geological Magazine*, 129:573–580.
- Nath, B. N., Kunzendorf, H. & 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, *Journal of Sedimentary Research*, 70:1081–1094.
- Nesbitt, H. W. & Young, Y. M., 1982- Early Paleozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutes, *Nature*, 299:715–717.
- Osae, S., Asiedu, D. K., Banoeng-Yakubo, B., Koeberl, C. & Dampare, S. B., 2006- Provenance and tectonic setting of Late Proterozoic Buem sandstones of southeastern Ghana: Evidence from geochemistry and detrital modes, *Journal of African Earth Science*, 44:85-96.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R., 1987- *Sand and Sandstone*, Springer-Verlag, New York, 553 p.
- Pittman, E. D., 1970- Plagioclase as an indicator of provenance in sedimentary rocks, *Journal of Sedimentary Petrology*, 40:591–598.
- Rieser, A. B., Neubauer, F., Liu, Y. & Ge, X., 2005- Sandstone provenance of north-western sectors of the intracontinental Cenozoic Qaidam basin, western China: Tectonic vs. climate control, *Sedimentary Geology*, 177:1-18.
- Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1986- Determination of tectonic setting of sandstone– mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio, *Journal of Geology*, 94:635–650.
- Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1988- Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data, *Chemical Geology*, 67:119–139.
- Tucker, M. E., 2001- *Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*, Blackwell, Scientific Publication, London, 260 p.
- Valloni, R. & Maynard, B., 1981- Detrital modes of recent deep-sea sands and their relation to tectonic setting: a first approximation, *Sedimentology*, 28:75–83.
- Wanas, H. A. & 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.
- Weltje, G. J. & Von Eynatten, H., 2004- Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook, *Sedimentary Geology*, 171:1-11.
- Wendt, J., Hayer, J. & Karimi Bavandpur, A., 1997- Stratigraphy and depositional environment of Devonian sediments in northeast and east-central Iran, *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaontologie, Abhandlungen*, 206:277-322.
- Wendt, J., Kaufmann, B., Belka, Z. W., Farsan, N. & Karimi Bavandpur, A., 2002- Devonian/ Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran. Part I. Southeastern Iran, *Acta Geologica Polonica*, 52, No. 2:129-168.
- Zimmermann, U. & Bahlburg, H., 2003- Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the southern Puna Basin, NW Argentina, *Sedimentology*, 50:1079–1104.