

پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی در برش منطقه حسن‌آباد (جنوب‌غرب تهران)

خلیل رضایی^{۱*}، شهرام فروغی شادآباد^۲ و احمد اسدی^۳

۱، ۲ و ۳- دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران

نویسنده مسئول: khalil.rezaei@khu.ac.ir

دریافت: ۹۴/۱۱/۲۴ پذیرش: ۹۵/۳/۲۴

چکیده

تلفیق مطالعات پتروگرافی و داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های رسوبی می‌تواند ماهیت ناحیه منشاء، موقعیت تکتونیکی حوضه‌های رسوبی و شرایط اقلیم قدیمه را آشکار نماید. با این هدف سازند آواری سرخ بالایی به سن الیگوسن با رخنمونی به ضخامت ۲۲۰ متر در منطقه جنوب حسن‌آباد تهران مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از مطالعه مقاطع نازک، دانه شماری و آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی به بررسی دقیق این توالی پرداخته شد. برش مورد مطالعه از توالی مارن‌های با رنگ روشن و ماسه‌سنگ‌های لیت‌آرنایتی تشکیل شده است. شواهد دانه‌شماری و لکانیک‌لیت‌آرنایت بودن اغلب این ماسه‌سنگ‌ها را تثبیت کرد. بر اساس نتایج حاصل از تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی، سنگ منشا فلسیک تا حدواسط با ترکیب مشابه پوسته قاره‌ای، در چرخه اول رسوب‌گذاری با جایگاه زمین‌ساختی حواشی فعال قاره‌ای، دارای با توپوگرافی مرتفع و اقلیم گرم و خشک برای این ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سازند سرخ بالایی، ژئوشیمی، ماسه‌سنگ، پتروگرافی، حسن‌آباد

مقدمه

ابزاری موثر جهت شناخت فاکتورهای نام‌برده، استفاده نمود [۲۷، ۱۱، ۳۱]. در پژوهش حاضر با استفاده از مطالعات دقیق میکروسکوپی و تفسیر داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی، سعی در شناسایی ویژگی‌های سازند سرخ بالایی در برشی به ضخامت ۲۲۰ متر، در نزدیکی حسن‌آباد در جنوب‌غرب تهران شده است.

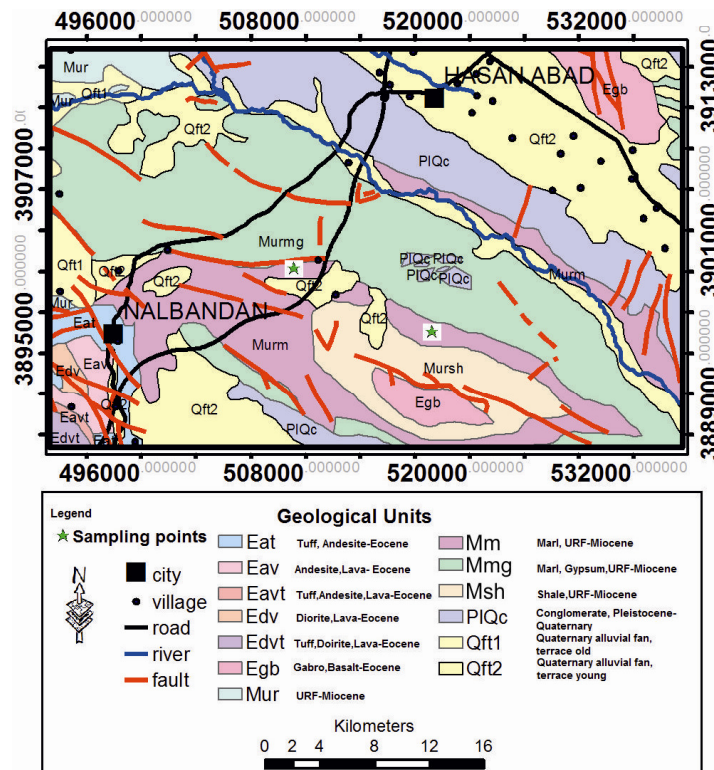
موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در حد فاصل بین حسن‌آباد و نعلبندان، در ۵۰ کیلومتری جنوب‌غرب تهران و حدود ۴۰ کیلومتری پلیس‌راه اتوبان تهران- قم به مختصات $35^{\circ}24'16''$ تا $51^{\circ}14'35''$ طول شرقی و $35^{\circ}24'16''$ تا $31^{\circ}25'31''$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). این منطقه به لحاظ تقسیم‌بندی موقعیت زمین‌شناسی، در منتهی‌الیه شمالی زون ایران مرکزی و در مرز جنوبی البرز مرکزی و حوضه قم واقع است [۱]. سازند سرخ بالایی، متشکل از ماسه‌سنگ‌هایی با بلوغ بافتی و کانی‌شناسی بد، کنگلومرای عدسی شکل با فراوانی قطعات سنگ‌های آذرین آتشفشانی و سنگ‌آهک و

تلفیق مطالعات پتروگرافی و داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های رسوبی می‌تواند ماهیت ناحیه منشاء، موقعیت تکتونیکی حوضه‌های رسوبی، و شرایط اقلیم قدیمه را آشکار نماید [۹، ۱۰]. مطالعه ماسه‌سنگ‌ها یکی از روش‌های معمول برای بررسی شرایط ناحیه منشاء از دیدگاه تکتونیکی و اقلیمی می‌باشد. انجام اینگونه مطالعات در نقاط مختلف می‌تواند نقش مهمی در تکمیل نقشه‌های جغرافیایی دیرینه در زمان خاص داشته باشد. بر اساس مطالعات امینی [۴]، محیط‌های رسوب‌گذاری رخساره‌های سازند قرمز بالایی، مخروط‌افکنه‌های با فراوانی جریان‌های خرده‌دار، سامانه رودخانه‌ای بریده بریده با برتری بار بستر شن و ماسه‌ای با دشت‌های سیلابی گسترده و دریاچه‌های کویری وسیع همراه با باتلاقی‌های محلی تعیین شده است. فرونشینی مستمر بخش مرکزی حوضه (ایران مرکزی) همزمان با بالآمدگی رشته‌کوه‌های حاشیه‌ای فضای لازم برای رسوب‌گذاری این مجموعه نسبتاً ضخیم را فراهم نموده است [۲]. علاوه بر مطالعات پتروگرافی، می‌توان از ترکیب ژئوشیمیایی کلی سنگ‌های رسوبی آواری به عنوان

مطالعات دیگری از این سازند با عناوین لایه‌های سرخ قاعده‌ای نئوژن [۴۲]، سری ژئوس‌دار [۲۵]، و سری‌های سرخ میوسن [۱۶] نام برده شده است. به طور کلی سازند سرخ بالایی به دو زیر واحد پایینی و بالایی تقسیم می‌شود [۱] که بر اساس شواهد موجود (مارن‌های زرد و قرمز روشن با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های نرم)، رخنمون مورد مطالعه بخشی از زیر واحد بالایی (عضو بالایی M3) می‌باشد.

گلسنگ‌های حاوی کانی‌های تبخیری و میان‌لایه‌هایی از ژئوس و مارن است که رخنمون وسیعی در ایران مرکزی و بخش‌هایی از دامنه جنوبی البرز دارند [۲]. توصیف سنگ‌شناسی این مجموعه نخستین بار توسط سودر [۴۱] با عنوان گروه سرخ بالایی انجام گرفت. عنوان سازند سرخ بالایی نیز نخستین بار توسط گانسر [۲۰] به دلیل موقعیت این سازند بر روی سازند قم پیشنهاد شد و در چهارمین کنگره جهانی نفت پذیرفته شد. هم‌چنین در



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری (برگرفته شده از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی ایران). نقاط نمونه برداری با ستاره مشخص شده‌اند.

روش مطالعه

پس از یک بازدید کلی از منطقه مورد مطالعه و انتخاب یک برش کامل، نمونه‌برداری از سطوح تازه‌ی رخنمون مورد مطالعه، عمود بر امتداد لایه‌ها و از جنوب شرق به شمال غرب (در امتداد $330^{\circ}N$) انجام گردید (شکل ۲، A). در این توالی از هر لایه تعداد سه نمونه با سطح تازه برداشت شد. به منظور انجام مطالعات میکروسکوپی، در مجموع ۳۰ مقطع نازک تهیه گردید. هم‌چنین از روش گزی-دیکینسون [۲۳] برای آنالیز نقطه‌شماری استفاده شد. بر اساس شواهد پتروگرافی، داده‌های حاصل از

دانه‌شماری و استفاده از نمودار فولک [۱۸]، نمونه‌ها نام‌گذاری شدند. جهت انجام تفاسیر ژئوشیمیایی نیز ۱۵ نمونه انتخابی در قالب ۵ گروه سه‌تایی به آزمایشگاه‌های شرکت کانساران بینالود تحویل گردید و آزمایش XRF با دستگاه فیلیپس ۱۴۸۰ بر روی نمونه‌ها انجام شد. پس از تهیه پودر و گذر از مش ۲۰۰، آماده‌سازی نمونه‌ها به روش پرسی و ذوبی (برای تعیین LOI) بوده است. دقت اندازه‌گیری برای اکسیدهای اصلی (CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3)، MnO ، P_2O_5 و TiO_2 ۰/۰۱٪ و برای عناصر فرعی MgO و Na_2O ، K_2O ، Fe_2O_3 ۰/۰۱٪ و برای اکسیدهای CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 ، MnO ، P_2O_5 و TiO_2 ۰/۰۱٪ می‌باشد.

پتروگرافی و سنگ‌چینه‌شناسی

مطالعات پتروگرافی و رخساره‌های سیلیسی آواری حائز اهمیت هستند، چرا که این رخساره‌ها توسط آن دسته از فرایندهای رسوبی کنترل می‌شوند که در مناطق خاصی از محیط رسوب‌گذاری عمل می‌کنند [۲۹]. مهم‌ترین ویژگی سنگ‌های رسوبی که در شناسایی و طبقه‌بندی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه قطعات و جنس ذرات تشکیل‌دهنده آن‌ها است که تحت عنوان ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های رسوبی مورد بررسی قرار می‌گیرد [۴۴].

ضخامت رخنمون مورد مطالعه حدود ۲۲۰ متر می‌باشد که از توالی منظم مارن و ۱۰ لایه ماسه‌سنگی تشکیل شده است (شکل ۲، A). در محل نمونه‌برداری امتداد عمومی لایه‌های ماسه‌سنگی بین N75E تا N65E و شیب عمومی آن‌ها بین 36NW تا 39NW در تغییر است. سنگ‌های توالی مورد مطالعه از ماسه‌سنگ (لیت‌آرنایت)، تشکیل شده‌اند. ساخت‌های رسوبی متعددی در این ماسه‌سنگ‌ها دیده می‌شود که تقریباً همگی موید محیط رسوبی رودخانه‌ای می‌باشند [۲]. اشکال مدور و توپی شکل گلی (شکل ۲، E) مشاهده شده در ماسه‌سنگ‌ها با شکل سه‌بعدی صفحه‌ای، می‌تواند نمایانگر قطعات کنده شده از کف بستر گلی رودخانه و رسوب‌گذاری مجدد آن‌ها به همراه رسوبات ماسه‌ای در جریان بعدی باشد. میان لایه‌های رسوبات سنگی، مارن‌هایی با رنگ روشن هستند که درصد آهک بالایی دارند. ضخامت میان لایه‌های مارنی نسبت به لایه‌های سنگی بیش‌تر بوده و حجم بالایی از ستون چینه‌شناسی را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین رگه‌های پر شده توسط کانی ژئپس در ماسه‌سنگ‌ها مشاهده می‌شوند که ثانویه بوده و منشایی خارج حوضه دارند (شکل ۲، C).

رخساره مارنی

مارن‌ها (سنگ یا خاک) از نهشته‌های رسوبی هستند که به طور کلی از کانی‌های رسی و کربنات کلسیم با نسبت‌های مختلف (معمولاً بین ۳۵-۶۵٪) تشکیل شده‌اند [۲۳]. در رخنمون مورد مطالعه از سازند سرخ بالایی، رسوبات مارنی به رنگ قرمز و کرم تا خاکستری روشن قابل مشاهده هستند و دچار فرسایش شدیدی شده‌اند. این رسوبات تا حد قابل ملاحظه‌ای دارای میان

لایه‌های نازک ژئپسی بوده و در برخی نقاط به و مادستون‌های نازک لایه تبدیل شده‌اند. بررسی‌ها بر روی این مارن‌ها حاکی از ته‌نشینی آن‌ها در دشت سیلابی رودخانه‌های مائندری می‌باشد [۴].

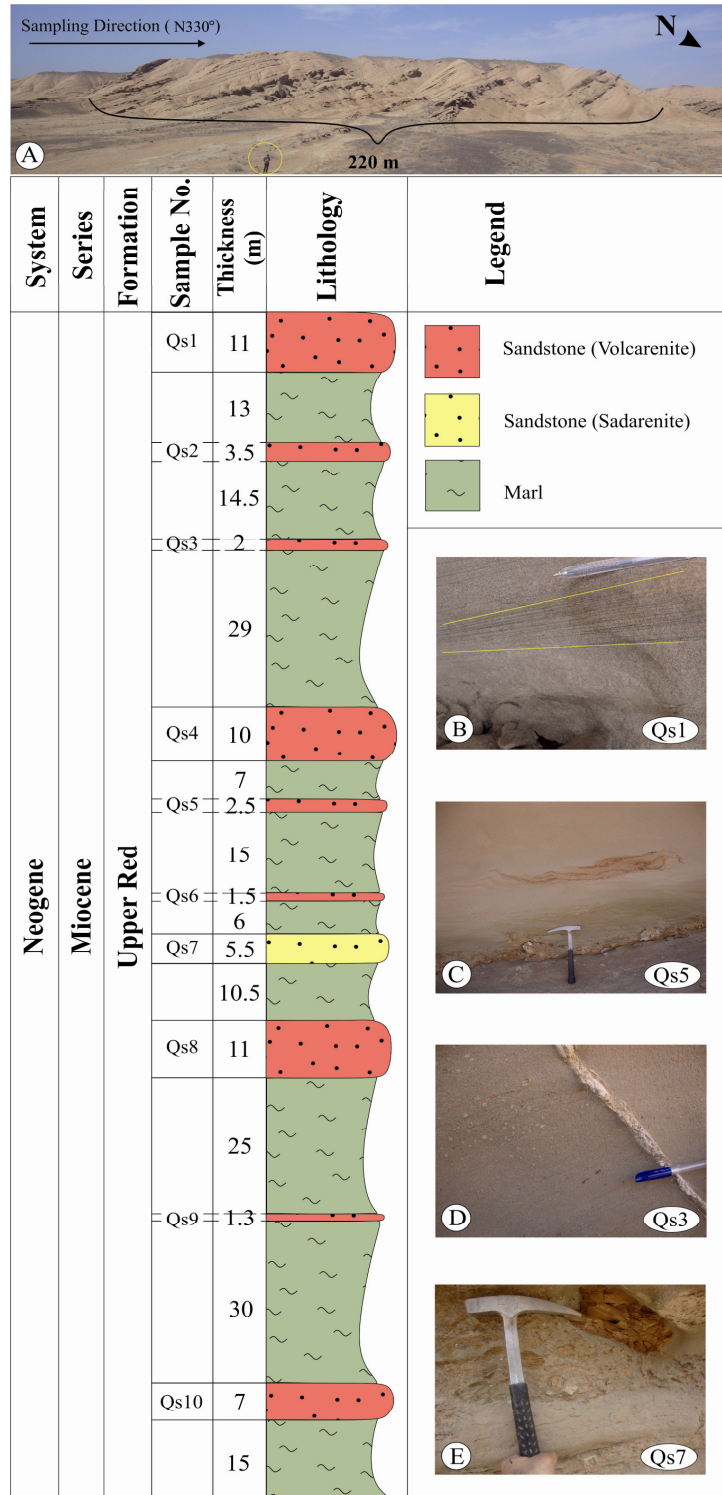
رخساره ماسه‌سنگی

یکنواختی قابل توجهی در ماسه‌سنگ‌های رخنمون مورد بررسی وجود دارد. این ماسه‌سنگ‌ها از اجزای مختلفی تشکیل شده‌اند. کوارتز مونوکریستالین (پلوتونیک و رسوبی) با فراوانی ۹ تا ۱۶ درصد، کوارتز پلی‌کریستالین (دگرگونی تبلور مجدد، دگرگونی شیبستوز و دگرگونی کشیده شده) با فراوانی ۱ تا ۴ درصد، فلدسپات (ارتوکلاز و پلاژیوکلاز) با فراوانی ۲ تا ۱۱ درصد، خرده‌سنگ‌های رسوبی (چرتی، ماسه‌ای و سیلتستونی) به میزان ۱۴ تا ۴۶ درصد، خرده‌سنگ‌های ولکانیک با فراوانی ۲۳ تا ۴۰ درصد و خرده‌سنگ‌های دگرگونی (شیستی و اسلیتی) با فراوانی ۲ تا ۱۲ درصد در این ماسه‌سنگ‌ها موجودند. کانی‌های سنگین اپک با فراوانی ۰ تا ۲۰ درصد و میکاها به مقدار ۱ تا ۷ درصد در نمونه‌های مورد مطالعه دیده می‌شوند. کانی‌های پیروکسن و تورمالین هوازده به میزان کمتر از ۱ درصد در برخی نمونه‌ها قابل مشاهده هستند. سیمان این ماسه‌سنگ‌ها به ترتیب اهمیت از اکسید آهن، کلسیت و سیلیس تشکیل شده است (شکل ۲، C و ۴، F).

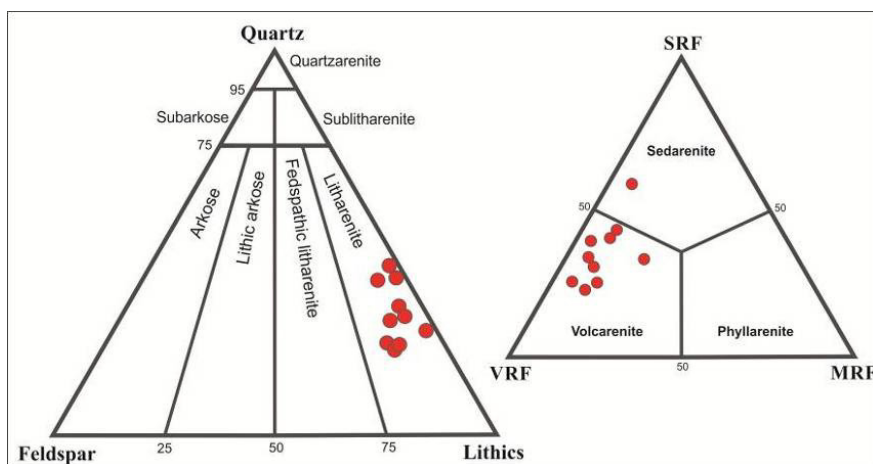
تفسیر: بر مبنای طبقه‌بندی فولک [۱۸] این سنگ‌ها در گروه لیتارنایت‌ها (ولکانیک‌لیت‌آرنایت‌ها) قرار می‌گیرند (شکل ۳). نتایج حاصل از دانه‌شماری و استفاده از نمودار پیشنهادی فولک [۱۸] گویای این امر می‌باشد (شکل ۳). این رخساره را ماسه‌سنگ‌های با گردش‌گی و جورشدگی خوب تا متوسط تشکیل می‌دهند که عموماً رنگ قرمز داشته و دارای فابریک فشرده هستند. وجود ماسه‌سنگ‌های با جورشدگی خوب نشان از تشکیل این رخساره در یک محیط با انرژی بالاست [۴۴]. این ماسه‌سنگ‌ها دارای لامیناسیون موازی تا کمی زاویه‌دار (شکل ۲، B) بوده و از تناوب ماسه‌سنگ‌های ریز دانه تا دانه درشت تشکیل شده‌اند. لامینه‌های موازی در اندازه ماسه‌ریز تا درشت‌دانه، نشان‌دهنده تشکیل این ساخت‌ها در اثر حمل و نقل بار بستر در سرعت‌های مختلف است [۴۴]. به طوری که ماسه‌سنگ‌های درشت‌دانه در

میکریتی گرد شده و سیمان کلسیتی ریز بلور می‌تواند مربوط به سازند قم باشد.

سرعت‌های پایین آب و ماسه‌سنگ‌های ریز دانه در سرعت بالای جریان آب بر جای گذاشته می‌شوند [۲۸، ۱۷، ۳۵]. منشا خرده‌های زیستی، اکستراکلت‌های



شکل ۲. A) ستون چینه‌شناسی و رخنمون مورد مطالعه در جنوب حسن‌آباد (بخشی از عضو بالایی M3) (دید به جنوب‌غرب)، B) نمایش لامیناسیون مورب گوه‌ای توسط تجمع رسوبات اکسید آهن، C) ماسه‌سنگ آهن‌دار، D) رگه پر شده با تبخیری ژپیس، E) نودول‌های گلی در رسوبات ماسه‌ای



شکل ۳. داده‌های حاصل از نقطه‌شماری مقاطع نازک در دسته‌های سه‌تایی در نمودارهای سه بعدی فولک [۱۸] که ترکیبات لیت‌آرنایت (به‌طور غالب ولکانیک‌لیت‌آرنایت و یک نمونه سد‌آرنایت) را برای ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی نمایش می‌دهند.

عناصر فرعی (در مقایسه با گوشته و پوسته اقیانوسی) مشابهت بیشتری به پوسته قاره‌ای تحتانی و فوقانی دارند و ترکیب حد واسط بین این دو را نشان می‌دهند (جدول ۴)، [۴۷]. میزان نسبت بالای CaO (۱۱/۷۲٪) این ماسه‌سنگ‌ها می‌تواند به دلیل وجود خرده‌های رسوبی میکریکیت آهکی و سیمان آهکی باشد. هم‌چنین کم بودن مقدار SO_3 (با متوسط ۰/۰۱) به دست آمده از آنالیز شیمیایی نمونه‌ها (جدول ۳) موید این است که ژئوپس و سایر ترکیبات سولفاته در متن ماسه‌سنگ‌ها حضور نداشته و دارای منشا خارج از حوضه هستند.

طبقه‌بندی ژئوشیمیایی و ترکیب سنگ‌شناسی

طبقه‌بندی ژئوشیمیایی رسوبات ماسه‌سنگی روشی است که برای تایید و تکمیل نتایج مطالعات پتروگرافی انجام می‌شود. در طبقه‌بندی‌های ژئوشیمیایی ارائه شده برای ماسه‌سنگ‌ها توسط محقق مختلف اکسیدهایمانند SiO_2 و نسبت‌هایی مانند SiO_2/Al_2O_3 از پرکاربردترین ویژگی‌های مورد استفاده هستند [۱۲، ۱۳، ۲۲ و ۳۴]. طبق مطالعات هرون [۲۲] استفاده از مقایسه روند افزایشی لگاریتم نسبت اکسیدهای Fe_2O_3/K_2O و SiO_2/Al_2O_3 می‌تواند در تعیین ترکیب سنگ‌شناسی نمونه‌ها با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی مفید باشد. استفاده از نمودار پیشنهادی وی [۲۲]، ترکیبات لیت‌آرنایت و ماسه آهن‌دار را برای نمونه‌های مورد مطالعه پیشنهاد می‌کند (شکل ۵، a). به نظر می‌رسد حضور سیمان هماتیتهی غالب در برخی نمونه‌ها، موجب

ژئوشیمی

ترکیب شیمیایی رسوبات آواری می‌تواند متأثر از عواملی مانند ویژگی‌های سنگ منشا، هوازدگی شیمیایی، فرایندهای جورشدگی حین حمل، نحوه رسوب‌گذاری و شرایط دیاژنز پسانهستی باشد [۳۲]. با این وجود، باور بر این است که بعضی عناصر غیر متحرک مانند Y, Sc, Th, Zr, Hf, Cr, Co و عناصر کمیاب (REE) شاخص‌های مفیدی برای فرایندهای زمین‌شناسی، منشا و جایگاه تکتونیکی هستند [۱۰، ۲۶ و ۴۳]. بنابراین ژئوشیمی رسوبات آواری می‌تواند به نحو موثری در درک جایگاه تکتونیکی و منشا آن‌ها به کار رود [۹ و ۳۷]. بر این اساس، بسیاری از مطالعات ژئوشیمیایی اخیر بر روی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها و برای بررسی منشا و تکامل تکتونیکی حوضه‌های رسوبی متمرکز شده‌اند [۶].

عناصر اصلی و فرعی

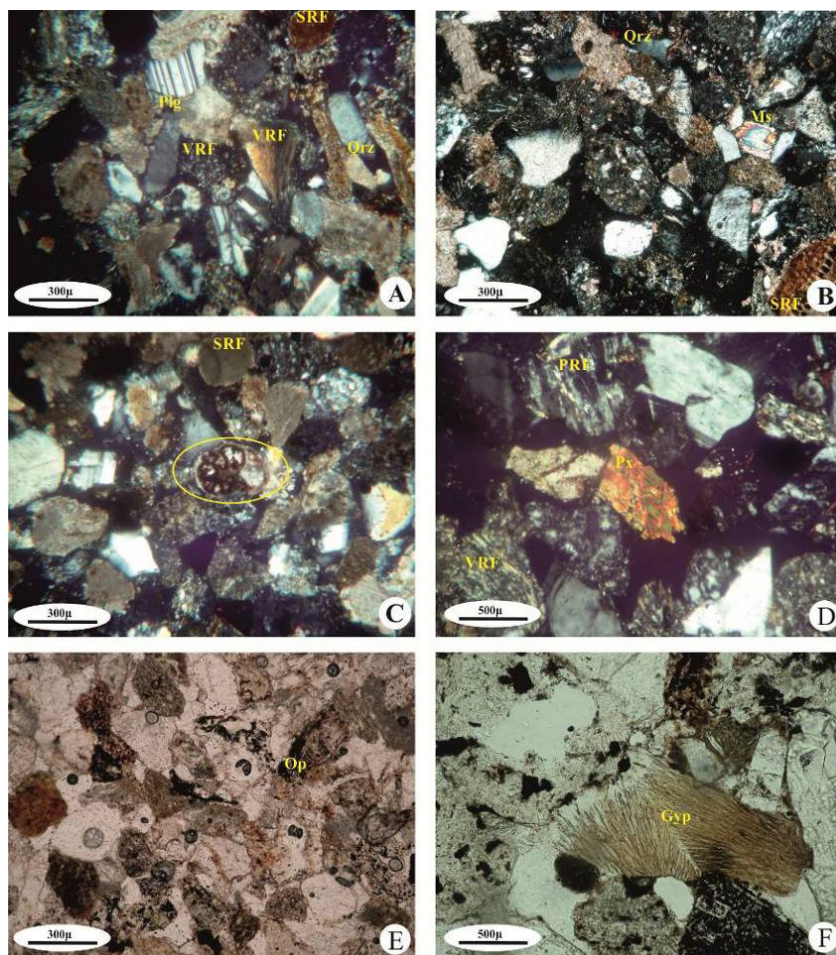
عناصر اصلی، فرعی و ناچیز متمرکز در ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی در رخنمون مورد بررسی در پنج دسته سه‌تایی و به ترتیب توالی در ستون چینه‌شناسی مرتب شده‌اند (جدول ۳). در کل می‌توان گفت ترکیبات ژئوشیمی نمونه‌های رسوبی برگرفته شده از سازند سرخ بالایی در رخنمون مورد مطالعه، تنوع بسیار گسترده‌ای را نشان می‌دهند (جدول ۳). در رسوبات مورد مطالعه، SiO_2 با درصد وزنی متوسط ۵۳/۶، بسیار مشابه مقدار متوسط پیشنهاد شده برای پوسته قاره‌ای تحتانی (LCC) می‌باشد [۴۳، ۳۹]. سایر اکسیدهای عناصر اصلی و حتی

می‌دهد (شکل ۵، b). با توجه به این که بر اساس مطالعات میکروسکوپی و به کارگیری داده‌های حاصل از نقطه‌شماری (جدول ۲) در نمودار فولک [۱۸]، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از نوع لیت‌آرنایت هستند، می‌توان گفت نتایج دو روش پتروگرافی و طبقه‌بندی ژئوشیمیایی همدیگر را تایید کرده و همپوشانی دارند.

قرارگیری آن‌ها در محدوده ماسه آهن‌دار در این نمودار شده است. استفاده از مقایسه روند افزایشی لگاریتم نسبت اکسیدهای Na_2O/K_2O و SiO_2/Al_2O_3 روشی است که پتی‌جان [۳۴] برای تعیین ترکیب سنگ‌شناسی نمونه‌ها مفید می‌داند. نمودار پیشنهادی وی، ترکیب لیت‌آرنایتی را برای نمونه‌های سازند سرخ بالایی نشان

جدول ۱. شرح مخفف کلمات مورد استفاده در جدول ۲

Qt	کوارتز کل	Ch	چرت
Qse	کوارتز یا خاموشی مستقیم	F	انواع قلدسیات‌ها
Qoe	کوارتز یا خاموشی موجی	Rf	خرده‌های سنگی
Qmq	کوارتز تک‌یلوری	SRF	خرده سنگ رسوبی
Qpq	کوارتز چند‌یلوری	MRF	خرده سنگ دگرگونی
Qpq2-3	کوارتز یا ۲ تا ۳ یلور	VRF	خرده سنگ آذرین
Qpq>3	کوارتز یا بیش از ۳ یلور	Op	کانی‌های ایک



شکل ۴. رخساره‌های لیت‌آرنایتی و اجزای تشکیل دهنده آنها: (A) سدآرنایت (Qs7)، (B، C و D) ولکانیک آرنایت (Qs2,6,10)، (E و F) نمایش سیمان هماتیتی و کانی‌های ایک در لیت‌آرنایت‌ها (Qs4,6). Plg: فلدسیات پلاژیوکلاز، SRF: خرده سنگ رسوبی، VRF: خرده سنگ آذرین بیرونی، PRF: خرده سنگ آذرین درونی، Qr: کانی کوارتز، Ms: کانی مسکوویت، PX: کانی پیروکسن، Op: کانی‌های ایک اکسید آهن، Gyp: کانی ژیبس

جدول ۲. داده‌های حاصل از دانه‌شماری ۳۰ نمونه مقطع نازک از نمونه‌های ماسه‌سنگی سازند سرخ بالایی در قالب ۱۰ دسته سه‌تایی به

روش گزی و دیکینسون [۲۳]

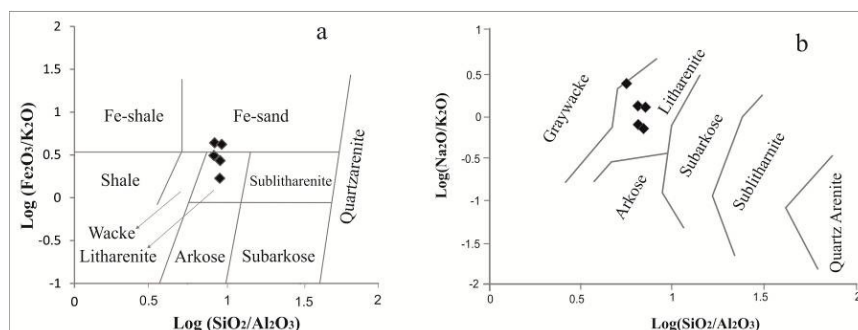
Sample.No	Qt	Qmp	Qpq	Qse	Qoe	Qpq2-3	Qpq>3	F	Rf	SRF	MRF	VRF	Ch	Op
Qs1	20	9	1	7.6	2.4	0.8	0.2	11	55	22	5	28	14	0
Qs2	20	9	1	7.6	2.4	0.7	0.3	11	56	14	7	35	13	0
Qs3	20	9	1	7.6	2.4	0.5	0.5	12	54	18	12	24	15	0
Qs4	25	11.25	1.25	10.625	1.875	0.85	0.4	1	64	37	4	23	9	5
Qs5	40	18	2	17	3	0.4	0.6	7	52	13	3	36	1	5
Qs6	30	12	3	12.75	2.25	1.1	1.9	5	60	14	6	40	5	10
Qs7	30	13.5	1.5	12.75	2.25	1.1	0.4	5	56	22	2	32	9	7
Qs8	40	18	2	17	3	0.3	1.7	3	49	15	4	30	8	10
Qs9	35	15.75	1.75	14.875	2.625	0.55	1.2	2	46	15	3	28	17	8
Qs10	25	8.75	3.75	8.125	4.375	2.3	1.45	8	52	22	5	25	15	20

جدول ۳. داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی ۱۵ نمونه ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی در قالب ۵ دسته سه‌تایی (جهت تسهیل و تسریع در مقایسه، سه نمونه از هر لایه در قالب یک دسته ارائه شده‌اند). عناصر اصلی بر حسب درصد و عناصر فرعی بر حسب بخش در میلیون (ppm) ارائه شده‌اند.

Sample	QS1	QS2	QS3	QS4	QS5
SiO2	52.49	54.12	55.31	52.87	53.21
Al2O3	12.67	14.71	13.26	11.98	11.86
Fe2O3	4.88	4.11	4.8	3.51	4.98
CaO	12.39	10.2	10.34	13.79	11.9
Na2O	2.43	2.03	2.96	2.66	2.98
K2O	1.57	1.6	1.1	1.3	1.19
MgO	1.24	1.52	1.03	1.14	1.37
TiO2	0.502	0.402	0.437	0.551	0.478
MnO	0.096	0.11	0.1	0.118	0.1
P2O5	0.066	0.064	0.055	0.064	0.064
SO3	0.006	0.017	0.031	0.008	0.022
L.O.I	11.3	11.081	10.28	11.75	11.48
Cl	83	107	83	164	163
Ba	390	391	462	374	389
Sr	289	318	272	446	325
Cu	61	56	52	50	58
Zn	91	85	89	78	93
Pb	18	32	328	20	33
Ni	55	45	54	50	58
Cr	31	30	32	16	29
V	89	82	89	80	88
Ce	57	42	34	54	57
La	23	19	14	21	23
W	2	1	1	1	1
Zr	143	151	116	167	139
Y	24	22	25	25	24
Rb	56	50	52	52	49
Co	8	8	5	11	7
As	97	26	26	5	13
U	2	2	5	1	1
Th	4	3	9	2	4
Mo	2	2	2	1	4
Ga	17	16	17	13	13
Nb	7	4	4	3	3

جدول ۴. مقایسه مقادیر عناصر اصلی و فرعی ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی با مقادیر مشابه در پوسته قاره‌ای فوقانی، پوسته قاره‌ای تحتانی، پوسته اقیانوسی و گوشته [۴۷]. نمونه‌های مورد مطالعه دارای ترکیب شیمیایی حد واسط بین پوسته قاره‌ای فوقانی و پوسته قاره‌ای تحتانی می‌باشند.

	M	M	OC	OC	ucc	ucc	LCC	LCC	
(%)	Condie (1997)	Taylor and McLennan (1985)	Condie (1997)	Taylor and McLennan (1985)	Taylor and McLennan (1985)	Ronv and Yaroshevky (1969)	Taylor and McLennan (1985)	Rudinck and Fountain (1995)	Samples
SiO ₂	43.6	49.9	50.5	49.5	66	65.2	54.4	52.3	53.6
TiO ₂	0.134	0.16	1.6	1.5	0.5	0.6	1	0.8	0.474
Al ₂ O ₃	1.18	3.64	15.3	16	15.2	15.6	16.1	16.6	12.89
Fe ₂ O ₃						2.1			4.456
FeO	8.22	8			4.5	2.8			
T.FeO			10.4	10.5			10.6	8.4	
MnO					0.1	0.1			0.1046
MgO	45.2	35.1	7.6	7.7	2.2	2.3	6.3	7.1	1.26
CaO	1.13	2.89	11.3	11.3	4.2	4.7	8.5	9.4	11.724
Na ₂ O	0.02	0.34	2.7	2.8	3.9	3.1	2.8	2.6	2.612
K ₂ O	0.008	0.02	0.2	0.15	3.4	3.3	0.34	0.6	1.356
P ₂ O ₅						0.2			0.0626
(ppm)	Condie (1997)	Taylor and McLennan (1985)			Taylor and McLennan (1985)	Wedepohl (1995)	Taylor and McLennan (1985)	Rudinck and Fountain (1995)	
Rb	0.12	0.55			112	110	53	11	51.8
Sr	13.8	17.8			350	316	230	348	330
Y	2.7	3.4			22	20.7	19	16	24
Zr	9.4	8.3			190	237	70	68	143.2
Nb	0.33	0.56			25	26	6	5	4.2
Cs		18			3.7	5.8	0.1	0.3	
Ba		5100			550	668	150	259	401.2
La	330	551			30	32.3	11	8	20
Pb		120			20	17	4	4.2	86.2
Th	18	64			10.7	10.3	1.06	1.2	4.4
U	3	18			2.8	2.5	0.28	0.2	2.2



شکل ۵. (a)، نمودار دو بعدی پیشنهادی هرون [۲۲]، نمونه‌های مورد مطالعه به ترتیب اکثریت در محدوده‌های لیت‌آرنایت تا ماسه آهن‌دار این نمودار قرار می‌گیرند. (b)، نمودار دوبعدی پتی‌جان [۲۴]، در این نمودار نمونه‌های سازند سرخ بالایی در محدوده لیت‌آرنایت قرار می‌گیرند.

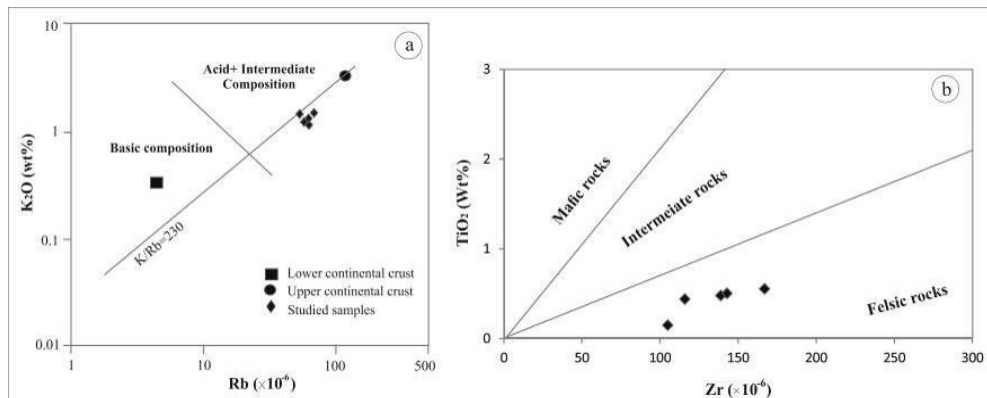
بیانگر اشتقاق رسوبات نمونه‌های مورد مطالعه از منابع گرانیتی پوسته می‌باشند. با استفاده از نمودار تفکیکی روسر و کورش [۳۸] می‌توان سنگ مادر را بر پایه اکسیدهای اصلی، در نمونه‌های ماسه‌سنگی و گل‌سنگی تعیین نمود [۳]. هم‌چنین روسر و کورش [۳۸] با هدف جلوگیری از تاثیر Si و Ca بیوژنیک، نمودار تفکیکی دیگری را بر اساس نسبت اکسیدهای MgO، Na₂O، TiO₂، Fe₂O₃ و K₂O با توابع ترکیبی زیر معرفی نموده‌اند [۳].

سنگ منشا

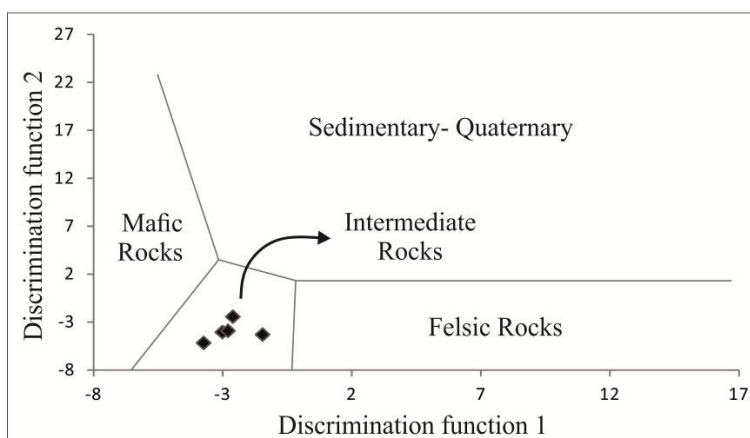
همان‌گونه که در نمودارهای دو بعدی پیشنهادی شاو [۴۰] و هایاشی و همکاران [۲۱] نمایش داده شده است (شکل ۶، a و b)، سنگ منشا نمونه‌های سازند سرخ بالایی به احتمال قوی ترکیبی فلسیک و مشابه با ترکیب پوسته قاره‌ای فوقانی (UCC) دارند. هم‌چنین بالا بودن مقدار نسبت SiO₂/Al₂O₃ (متوسط، ۴/۱۷) در مقایسه با مقادیر مشابه قسمت فوقانی پوسته قاره‌ای (UCC) [۴۳]

بر اساس این نمودار پیشنهادی، ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی در محدوده‌ای با سنگ منشا آذرین حد واسط قرار می‌گیرند (شکل ۷).

$$\begin{aligned} \text{Discrimination function 1} &= 30.638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ (t)}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 + \\ &+ 12.031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382 \\ \text{Discrimination function 2} &= 56.500 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ (t)}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - \\ &- 5.404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89 \end{aligned}$$



شکل ۶. نمودارهای دو بعدی (a)، پیشنهادی شائو [۴۰] و (b)، پیشنهادی هایشی و همکاران [۲۱] برای تشخیص ترکیب سنگ منشا رسوبات آواری. بر اساس این نمودارها به ترتیب سنگ‌های با منشا اسیدی تا حد واسط (بیشتر متمایل به اسیدی) و فلسیک برای رسوبات مورد مطالعه سازند سرخ بالایی پیشنهاد می‌شود که به نمونه‌های پوسته قاره‌ای فوقانی (UCC)، [۴۳]، نزدیکی بیش‌تری دارند.



شکل ۷. نمودار تفکیکی روسر و کروش [۳۸]، ترکیب حد واسط را برای سنگ منشا رسوبات سازند سرخ بالایی پیشنهاد می‌دهد.

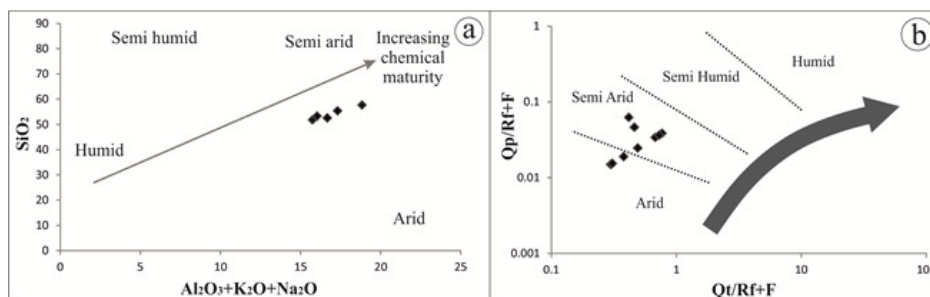
اقلیم و هوازدگی سنگ منشا

داده‌های حاصل از تجزیه مودال ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی بر روی نمودار پیشنهادی ساتنر و دوتا [۴۲] نشان دهنده حاکمیت شرایط آب و هوایی نیمه خشک تا خشک حین هوازدگی سنگ منشا و نهشت این ماسه‌سنگ‌ها است (شکل ۸). گراندام [۱۹] ضریب هوازدگی (Wi) را برای سنگ‌های سیلیسی آواری به صورت زیر تعریف می‌کند:

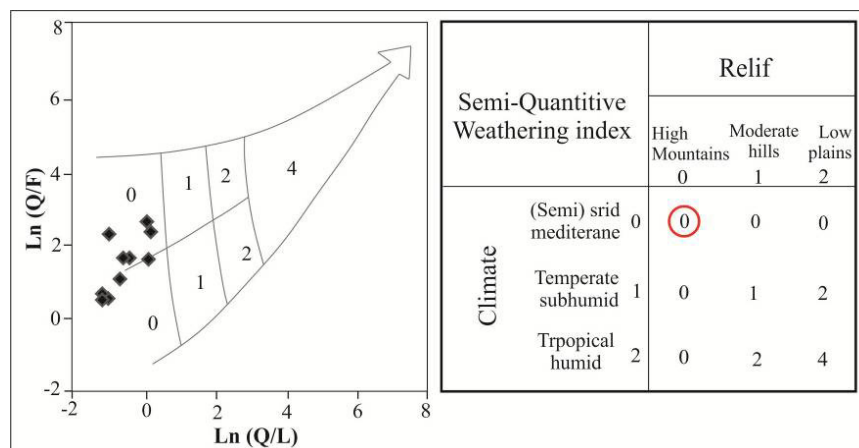
$$Wi = cr$$

در این رابطه c سرعت و نرخ هوازدگی (آب و هوا) و r مدت زمان اقامت رسوبات در این شرایط هوازدگی

(برجستگی) است. در سیستم‌های رسوبی قدیمه میزان c و r بر پایه نمودار ولتیج [۴۶] محاسبه می‌شود که از طریق آن می‌توان رابطه روشن بین ترکیب ماسه‌سنگ‌ها، ضریب هوازدگی و نوع سنگ منشا برقرار کرد. با به کارگیری داده‌های حاصل از دانه‌شماری در این نمودار پیشنهادی (شکل ۹)، محدوده نمایش داده شده برای نمونه‌های سازند سرخ بالایی نشان‌دهنده ناحیه با توپوگرافی مرتفع و کوهستانی و آب و هوای خشک تا نیمه‌خشک (با توجه به حجم ژئپس موجود) است.



شکل ۸. نمودارهای دو بعدی پیشنهادی ساتنر و دوتا [۴۲]: (a) بر اساس اکسیدهای عناصر اصلی و (b) بر اساس داده‌های حاصل از دانه‌شماری. هر دو نمودار بیانگر حاکمیت آب و هوای نیمه خشک و تا حدودی خشک حین تشکیل رسوبات سازند سرخ بالایی هستند.



شکل ۹. نمودار لگاریتمی پیشنهادی ولتیج [۴۶] بر اساس داده‌های حاصل از شماره دانه‌های کوارتز، فلدسپات‌ها و خرده‌های سنگی. محدوده مشخص شده برای نمونه‌های سازند سرخ بالایی بیانگر خاستگاه با توپوگرافی مرتفع و کوهستانی و آب و هوای نیمه‌خشک تا مدیترانه‌ای است.

در محیط فعال تکتونیکی در چرخه اول رسوب‌گذاری است که از بلوغ نسبتاً پایینی برخوردارند.

جایگاه زمین‌ساختی

مفید بودن بررسی ژئوشیمیایی عناصر اصلی و جزئی سنگ‌های رسوبی، با استفاده از نمودارهای تفکیکی، برای استنتاج جایگاه زمین‌ساختی توسط محققین مختلفی شرح داده شده است [۹، ۳۷]. در این نمودارهای دو بعدی و سه بعدی از مقایسه مقادیر اکسیدها و عناصر اصلی و جزئی رایج و نیز نسبت‌های بین آن‌ها و توابع تفکیک کننده استفاده می‌شود. ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی، بازتاب تلفیقی از طبیعت سنگ منشأ، شدت و دوام هوازدگی، چرخه رسوبی، دیاژنز و حفظ‌شدگی است [۵ و ۲۶]. علاوه بر این، جایگاه‌های زمین‌ساختی مشخص و مشابه، الزاماً سنگ‌هایی با مشخصات ژئوشیمیایی یکسان ایجاد نمی‌کنند [۸]. هم‌چنین ممکن است رسوبات از یک حوضه با جایگاه زمین‌ساختی متفاوت به

بلوغ و چرخه رسوبی

کمیت و کیفیت چرخه رسوبی بر بلوغ بافتی و بلوغ کانی‌شناسی رسوبات اثر می‌گذارد و می‌تواند در قالب شیمی رسوبات ثبت گردد. شاخص^۱ ICV برای تعیین بلوغ و چرخه‌ی رسوبی شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌ها به کار می‌رود [۱۳] و از رابطه زیر به دست می‌آید.

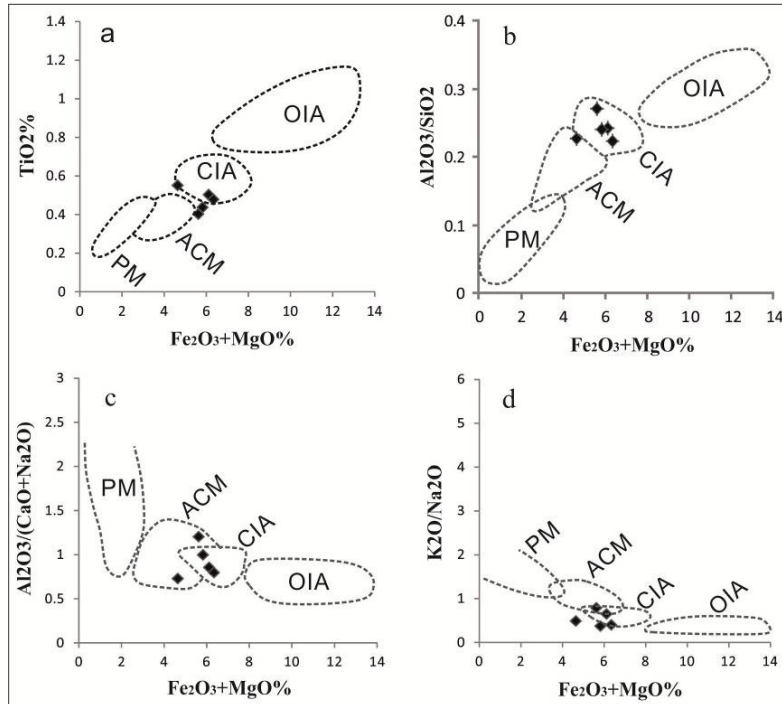
ICV=

$$\frac{Fe_2O_3+K_2O+Na_2O+CaO+MgO+MnO+TiO_2}{Al_2O_3}$$
 اگر مقدار این شاخص بیش‌تر از یک باشد نمایان‌گر رسوباتی با عدم بلوغ ترکیب کانی‌شناسی است که در چرخه اول رسوب‌گذاری در محیط‌های فعال تکتونیکی اتفاق می‌افتد. از طرف دیگر شاخص کمتر از یک بیان‌گر رسوباتی با بلوغ ترکیبی بالا می‌باشد که در محیط‌های ساکن تکتونیکی یا کراتونی با باز چرخش رسوبی فعال قرار دارند. مقدار متوسط این شاخص برای نمونه‌های مورد مطالعه ۱/۲۲۲ می‌باشد که بیان‌گر تشکیل رسوبات

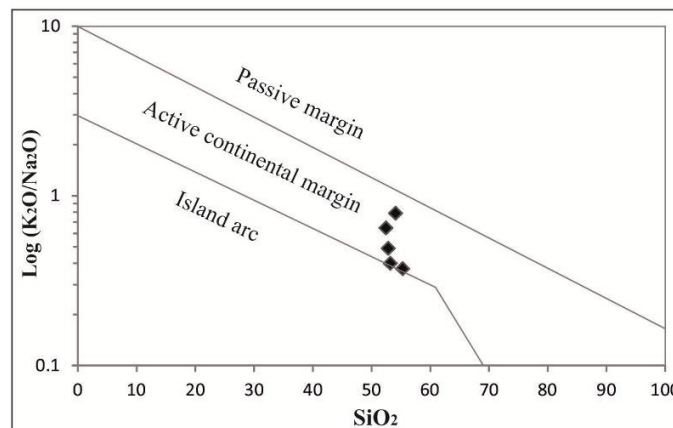
¹ Index of Compositional Variability

با استفاده از نمودارهای تفکیکی باتیا [۹] برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی، جزایر کمانی قاره‌ای تا حواشی فعال قاره‌ای برای این رسوبات پیشنهاد می‌شود (شکل ۱۰). نمودار پیشنهادی روسر نیز این امر را تایید کرده و حواشی فعال قاره‌ای را محتمل‌تر نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

حوضه‌ای با جایگاه زمین‌ساختی دیگری منتقل شده باشند. لذا دانشمندی نیز به مشکلات استفاده از ژئوشیمی در تفسیر جایگاه زمین‌ساختی اشاره دارند [۳۰ و ۳۲]. با وجود چنین مشکلاتی، ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی همچنان به عنوان ابزاری قوی برای استنتاج جایگاه زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی قدیمه استفاده می‌شود [۶].



شکل ۱۰. نمودارهای پیشنهادی باتیا [۹] بر اساس درصد اکسیدهای عناصر اصلی؛ OIA: جزایر کمانی اقیانوسی، CIA: جزایر کمانی قاره‌ای، ACM: حاشیه فعال قاره‌ای، PM: حاشیه غیرفعال. بر اساس این نمودارهای پیشنهادی، نمونه‌های سازند سرخ بالایی در محدوده جزایر کمانی قاره‌ای تا حواشی فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند.



شکل ۱۱. نمودار تفکیک کننده دو بعدی پیشنهادی روسر و کروش [۲۷]. این نمودار جایگاه زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره‌ای را برای نمونه‌های سازند سرخ بالایی پیشنهاد می‌کند.

- sedimentary components. *J Sediment Geol*, 1987;57: 813-23.
- [6] Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Verma, S.P., Ramasamy, S (2004) Geochemistry of sandstones from the Upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*. 74, 285-297.
- [7] Armstrong-Altrin, J.S., Surendra P.V (2005) Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from Known tectonic settings. *Sedimentary geology* 177: 115-129.
- [8] Bahlburg, H (1998) The geochemistry and provenance of Ordovician Turbidites in the Argentine Puna. In: Panhhurst RJ, Rapela CW, editors. *The proto-andean margin of Gondwana*. Geol Soc London, Spec Paper, Vol. 142: 127-42.
- [9] Bhatia, M.R (1983) Plate tectonic and geochemical composition of sandstones. *J Geol*; 91: 611-27.
- [10] Bhatia, M.R., Crook, K.A.W (1986) Trace element characteristics of graywackes and tectonic discrimination of sedimentary basins: *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 92: 181-193.
- [11] Bhatt, M.I., Ghosh, S.K (2001) Geochemistry of 2.51Ga old Rampur Group pelites, western Himalayas: Implications from their provenance and weathering. *Precambrian Research*, 108: 1-16.
- [12] Blatt, H., Middleton, G., Murray, R (1980) *Origin of Sedimentary Rocks [M]*, 2nd edition, Prentice-Hall, New Jersey: 782 p.
- [13] Crook, K.A.W (1974) Lithogenesis and geotectonics: The significance of compositional variation in flysch arenites (greywackes) [J]. *Society of Economic, Paleontological and Mineralogical Special Publications*. 19: 304-310.
- [14] Cullers, R.L., Podkovyrov, V.M (2000) Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in southeastern Yakutia, Russia: Implications for mineralogical and provenance, and recycling. *Precambrian Research*, 104: 77-93.
- [15] Diskin, S., Evans, J., Fowler, M.B., Guion, P.D (2011) Recognizing Different Sediment Provenance within a Passive margin setting: towards characterising a sediment Source to the west of the British late Carboniferous sedimentary basins, *Chemical Geology* 283: 143-160.
- [16] Dozy, J. J (1955) A sketch of post-Cretaceous volcanism in central Iran. *Leid. Geol. Med.*, 20: 48-57.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های پتروگرافی، دانه‌شماری و ژئوشیمی، ترکیب یکنواخت لیت‌آرنایت برای ماسه‌سنگ‌های توالی مورد مطالعه سازند سرخ بالایی تشخیص داده شد. توالی مورد مطالعه با ضخامت ۲۲۰ متر شامل ۱۰ لایه ماسه‌سنگی است که یک لایه آن سدرآرنایت بوده و ۹ لایه دیگر ولکانیک‌لیت‌آرنایت می‌باشند. لایه سدرآرنایتی از نوع کالک‌لیت‌آرنایت می‌باشد و لایه چهارم برش از عمق به سطح است. منشا رسوبات آهکی این لایه با توجه به شواهد خرده‌های فسیلی (شکل ۴، C، B)، سازند قم می‌باشد که احتمالاً حاصل چرخه‌های مجدد رسوبات رودخانه‌ای است. میان‌لایه‌های مارنی این ماسه‌سنگ‌ها درصد ژیبس بالایی داشته و گاهی رنگ روشنی دارند. بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی و نمودارهای پیشنهادی مورد استفاده، سنگ منشا غالب این ماسه‌سنگ‌ها، سنگ آذرینی با ترکیب حد واسط می‌باشد که ترکیب شیمیایی آن مشابه حدواسط پوسته قاره‌ای فوقانی و پوسته قاره‌ای تحتانی است. احتمالاً هوازگی نسبتاً ضعیف این سنگ منشا در اقلیم دیرینه با آب و هوای خشک تا نیمه خشک و توپوگرافی مرتفع بوده است. محیط تکتونیکی پیشنهادی برای جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی، حواشی فعال قاره‌ای است که باعث شده رسوبات در چرخه اول رسوب‌گذاری و با بلوغ پایین نهشته شوند.

منابع

- [۱] آقناباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۸۶.
- [۲] عباسی، ن امینی، ع (۱۳۸۷) اثرشناسی ردپای پستانداران میوسن در سازند سرخ بالایی، برش ایوانکی، خاور تهران، مجله علوم زمین، شماره ۳۷، ص ۵۴-۶۷.
- [۳] قبادی، م.ح.، رفیعی، ب.، حیدری، م.، موسوی، س.، اسفندیاری، س (۱۳۹۳) ژئوشیمی و خاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در استان خوزستان، مجله رسوب‌شناسی کاربردی، جلد ۳، ص ۴۸-۶۱.
- [4] Amini, A (1997) Provenance and Depositional Environment of the Upper Red Formation, Central Zone Iran. Ph.D. thesis, Manchester University, 320 p.
- [5] Argast, S., Donnelly, T.W (1987) The chemical discrimination of clastic

- [29] Miall, A.D (2006) *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*: Springer-Verlag: 582 p.
- [30] Milodowski, A.E., Zazalasiewicz, J.A (1991) Redistribution of rare earth elements during diagenesis of turbidite/hemipelagic mudrock sequences of Liandoverly age from central Wales. In: Morton AC, Todd SP, Haughton PDW, editors.
- [31] Mishra, M., Sen, S (2012) Provenance, tectonic setting and source-area weathering of Mesoproterozoic Kaimur Group, Vindhyan Supergroup, Central India. *Geologica Acta*, Vol.10: p 283-293.
- [32] Nesbitt, H.W., Young, G.M (1982) Early Proterozoic climates of sandstone mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio [J]. *Nature*. 299: 715-717.
- [33] Pettijohn, F.J (1975) *Sedimentary rocks*", 3rd edn. Harper and Row, New York.
- [34] Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R (1972) Sand and Sandstone. Plate motions inferred from major element chemistry of lutites [J]. *Precambrian Research*. 147: 124-147.
- [35] Ramos, A., Galloway, W.E (1990) Facies and sand-body geometry of the Queen City (Eocene) tide-dominated delta-margin embayment, NW Gulf of Mexico basin. *Sedimentology*. 37: 1079-1098.
- [36] Ronovm A.B., Yaroshevsky, A.A (1969) Chemical composition of the Earth's crust. In: Hart PJ (ed) *The earth's crust and upper mantle*, geophysical monograph, vol 13. American Geophysical Union, Washington, DC: 37-57.
- [37] Roser, B.P., Korsch, R.J (1986) Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ration [J]. *Journal of Geology*. 94: 635-650.
- [38] Roser, B.P., Korsch, R.J (1988) Provenance signature of sandstone-mudstone suite determined using discriminate function analysis of major element data. *Chemical Geology* 67: 119-139.
- [39] Rudnick, R.L., Fountain, D.M (1995) Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Rev Geophys* 33: 267-309.
- [40] Shaw, D.M (1968) A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 32: 573-602.
- [41] Soder, P (1951) *The Oligo-Miocene marine formation in the Qum region*. NIOC, Geol. Report, No: 123 p.
- [42] Stahl, A.F., von (1911) *Persian*, Hndbch. Reg. Geol. 5(6): 1-46.
- [17] Eriksson, L.H., Eriksson, P.G., Condie, K.C., Tirsgaard, H., Muellwe, W.U., Altermann, W., Miall, A., Daspler, L.B (1998) Precambrian clastic sedimentation systems, *Sedimentary Geology* 120: 5-53.
- [18] Folk, R.L (1980) *Petrography of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company: 182 p.
- [19] Grantham, J.H., Velbel, M.A (1988) The influence of climate and topography on rock fragment abundance in modern fluvial sands of the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*. 58: 219-227.
- [20] Gansser, A (1955) New aspects of the geology in central Iran. Fourth World Petroleum Congress, section I/A/5. Reprint 2: 280-300.
- [21] Hayashi, K., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohmoto, H (1997) Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 61: 4115-4137.
- [22] Herron, M.M (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*. 58: 820-829.
- [23] 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.
- [24] Lahtinen, R (2000) Archaean-Proterozoic transition: geochemistry, provenance and tectonic setting of metasedimentary rocks in central Fennoscandian Shield. Finland. *Precambrian Research* 104(3-4): 147-174.
- [25] Loftus, W (1855) On geology of portions of the Turco-Persian frontier and of the districts adjoining. *Q. J. Soc. Lond.* 11(1): 247-245.
- [26] McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. In: Johnsson MJ, Basu A, editors. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. *Geol Soc Am Spec Pap*, vol. 284: 21-40.
- [27] McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T., Maynard, J.B (1990) Geochemical and Nd-Sr Isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochim cosmochim Acta*; 54: 2015-50.
- [28] Miall, A.D (1994) Reservoir heterogeneities in fluvial sandstones: lessons from outcrop studies. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 72: 682-697.

- [43] Taylor, S.R., McLennan, S.M (1985) The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publication, Carlton: 312 p.
- [44] Tucker, M.E (2001) Sedimentary Petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks, Blackwell Scientific Publication: 260 p.
- [45] Wedepohl, K.H (1995) The composition of the continental crust. *Geochim Cosmochim Acta* 59: 1217-1232.
- [46] Weltje, G.J (1994) Provenance and dispersal of sand-sized sediments: Reconstruction of dispersal patterns and sources of sand-sized sediments by means of inverse modelling techniques. *Faculteit Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht*. 121: 1- 28.
- [47] Yanagi, T (2011) Generation of continental crust from the mantle. Springer:123 p.