

کانی‌شناسی و ژئوشیمی تپه‌های ماسه‌ای جنوب سه‌قلعه شهرستان سرایان، استان خراسان جنوبی

حمزه عبدیان قطب‌آبادی*، کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه بیرجند
غلامرضا میراب شیبستری، دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند
آرژن امینی، استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۹

چکیده

یکی از نموده‌های اصلی مناطق بیابانی، آثار فرسایش بادی است. تپه‌های ماسه‌ای از جمله اشکال شاخص این گونه مناطق محسوب می‌شود. تاکنون مطالعات تفصیلی در مورد ژئوشیمی تپه‌های ماسه‌ای و از جمله برخاوبید در ایران صورت نگرفته است. از این رو، در این پژوهش ۲۷ تپه ماسه‌ای بادی در چهار زون در محدوده‌ای با مختصات ۲۸° ۳۳' تا ۳۴° ۳۳' عرض شمالی و ۲۱° ۵۸' تا ۲۲° ۵۸' طول شرقی، در فاصله ۱۳ کیلومتری جنوب سه‌قلعه شهرستان سرایان در شرق ایران نمونه‌برداری و مطالعه شد. بدین منظور، نخست ترکیب کانی‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای سرایان بررسی، سپس به منظور انجام مطالعات ژئوشیمیایی دوازده نمونه با استفاده از روش XRF تجزیه و تحلیل شد. داده‌های حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی اکسیدهای مختلف و ترسیم نمودارهای مربوط نشان داد که منشأ آذرین حد واسط تا فلسیک با میزان کوارتز متوسط و محیط تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای را برای تپه‌های ماسه‌ای سرایان باید در نظر گرفت. شاخص هوازدگی شیمیایی (CIW) در تپه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه از ۸۲/۸۱٪ تا ۸۴/۹۶٪ در نوسان است که این مقدار بیانگر آب‌وهوای گرم و خشک است. میزان اکسیدهای اصلی Fe_2O_3 ، TiO_2 و MgO نشاندهنده فراوانی یا فقدان کانی‌های سنگین است. با بررسی این اکسیدها شاهد کاهش این عناصر از غرب به شرق منطقه و در نتیجه شاهد کاهش کانی‌های سنگین از غرب به شرق منطقه‌ایم. این موضوع با وجود باد شمال غرب و دارای قدرت فرساینده‌گی و جابه‌جایی زیاد همخوانی دارد.

کلیدواژه‌ها: اندیس هوازدگی، تپه‌های ماسه‌ای، حاشیه فعال قاره‌ای، شرق ایران، منشأ رسوبات.

مقدمه

فرسایش بادی مسئله اساسی تمامی قاره‌هاست و در مقیاس جهانی شاید اهمیت و خطر فرسایش بادی کمتر از فرسایش آبی نباشد (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷: ۴۴). در ایران ارگ‌های مهم در نوزده منطقه پراکنده شده است که بیش از ۲٪ مساحت کشور را شامل می‌شود. از این میان بیش از دوسوم ارگ‌ها در استان سیستان و بلوچستان و خراسان بزرگ واقع شده است (احمدی، ۱۳۸۷: ۳۲۴). با توجه به اینکه علم ژئوشیمی امروزه با توجه به دقت بالای آن و اطمینان به نتایج آن به‌طور گسترده در مطالعات مختلف زمین‌شناسی استفاده می‌شود و از آن می‌توان در تعبیر و تفسیر مسائل گوناگون زمین‌شناسی استفاده کرد و با در نظر گرفتن این موضوع که تاکنون تحقیقی پیرامون ژئوشیمی تپه‌های ماسه‌ای در منطقه سرایان از استان خراسان جنوبی صورت نگرفته است، به نظر می‌رسد تحقیق پیرامون این موضوع به سؤال‌های اساسی در مورد تپه‌های ماسه‌ای این منطقه از ایران از جمله بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی تپه‌های ماسه‌ای و به‌دست آوردن

* نویسنده مسئول: abdianhamze@gmail.com; تلفن: ۰۹۱۷۲۴۹۹۷۷۲

شاخص هوازدگی شیمیایی (CIW) و ارتباط آن با الگوی کانی‌شناسی و بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای و بررسی پتانسیل‌های موجود در تپه‌های ماسه‌ای از لحاظ تمرکز کانی‌های سنگین و عناصر کمیاب پاسخ‌دهد. به‌طور کلی، ژئوشیمی رسوبات آواری به‌منظور تعیین ترکیب منطقه منشأ، بازسازی موقعیت تکتونیکی حوضه رسوبی و ویژگی‌های هوازدگی شیمیایی، جورشدگی هیدرولیکی، دیاژنز و مامورفیسیم در منطقه منشأ استفاده می‌شود و در این زمینه بسیار مفید است (کولرز و پودکوویروف، ۲۰۰۲: ۱۵۸؛ آرمسترانگ-آلترین و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۸۵؛ روی و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۸۴؛ گالالا و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵۹؛ ساحا و همکاران، ۲۰۱۰: ۲). در پژوهش پیش‌رو از تعدادی از موارد بیان‌شده بهره‌گرفته شده است. ژئوشیمی نهشته‌های سیلیسی آواری تابع عواملی نظیر ترکیب سنگ منشأ، فرایندهای هوازدگی، حمل‌ونقل و رسوب‌گذاری است، لذا می‌توان از این داده‌ها در تعبیر و تفسیر ناحیه منشأ و شرایط رسوب‌گذاری استفاده کرد (کندی و همکاران، ۱۹۹۵: ۲۷۹).

پژوهش‌های صورت‌گرفته در مناطق مختلف جهان با موضوع مطالعات ژئوشیمی تپه‌های ماسه‌ای، بیشتر از نوع تپه‌های ماسه‌ای ساحلی است و کمتر به تپه‌های ماسه‌ای بادی توجه شده است. سائیس و پیه (۲۰۰۶) در امتداد ساحل غربی جوتلند^۱ دانمارک به بررسی تغییرات ژئوشیمیایی و بافتی رسوبات تپه‌ها به‌منظور شناسایی منشأ احتمالی رسوب و مسیرهای انتقال آن پرداختند. کاسپر-زویلاگا و همکاران (۲۰۰۷) در تپه‌های بیابانی و ساحلی بیابان آلتار^۲ در صحرای نامیب به تعیین میزان عناصر نادر خاکی (REE)، عناصر کمیاب و عناصر اصلی پرداختند. همچنین، راثو و همکاران (۲۰۱۱) ماسه‌های ریزدانه و درشت‌دانه بیابان‌های اردوس^۳ را در چین به‌منظور آنالیز کانی‌شناسی، خصوصیات و ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و نادر بررسی کردند. بررسی‌های امینی و همکاران (۲۰۱۲) در تپه‌های ماسه‌ای و اراضی نیکا سیستم ساحلی میانکاله به‌منظور تعیین فاکتورهای رسوب‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئومورفولوژیکی انجام گرفت.

با توجه به اینکه در منطقه مطالعاتی سرایان تپه‌های ماسه‌ای اغلب از نوع برخانویید است، بادهای چندجهته با قدرت فرساینده‌گی زیاد اهمیت بسیار دارد. با بررسی و تحلیل اطلاعات اداره هواشناسی و ترسیم گلباد منطقه سرایان می‌توان گفت جهت‌های باد در منطقه در راستای شمال-شمال شرقی، شمال-شمال غربی و جنوب-جنوب شرقی است. در به‌وجود آمدن برخانوییدهای منطقه سرایان بادهای دو جهته شمال-شمال غربی باد اصلی و باد جنوب-جنوب شرقی باد فرعی است و بیشترین نقش و اهمیت را دارد.

مواد و روش‌ها

مطالعات کانی‌شناسی به روش رونی و باسو (۱۹۹۴)

کانی‌شناسی را می‌توان یکی از راه‌های شناخت فرایندهای ایجاد تپه‌ها و منشأ آن‌ها در نظر گرفت. به‌منظور بررسی کانی‌شناسی رسوبات ماسه‌ای مورد مطالعه ابتدا دویست دانه به‌صورت تصادفی در هر نمونه از رسوبات برداشت شد و در زیر میکروسکوپ دوچشمی باینوکولار، میزان کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ‌ها (خرده‌سنگ کل) شمارش و سپس برحسب درصد محاسبه شد. بدین صورت که ابتدا ۲۵ دانه در هر نمونه از رسوبات تپه‌های ماسه‌ای انتخاب، سپس میزان کوارتز (Q)، فلدسپات (F)، خرده‌سنگ آتشفشانی (Lv)، خرده‌سنگ رسوبی (Ls)، خرده‌سنگ دگرگونی (Lm) و آذرین درونی (Lp) شمارش و برحسب درصد محاسبه شد.

تعیین مقدار اکسیدهای اصلی و فرعی به روش فلورسانس پرتو ایکس (XRF)

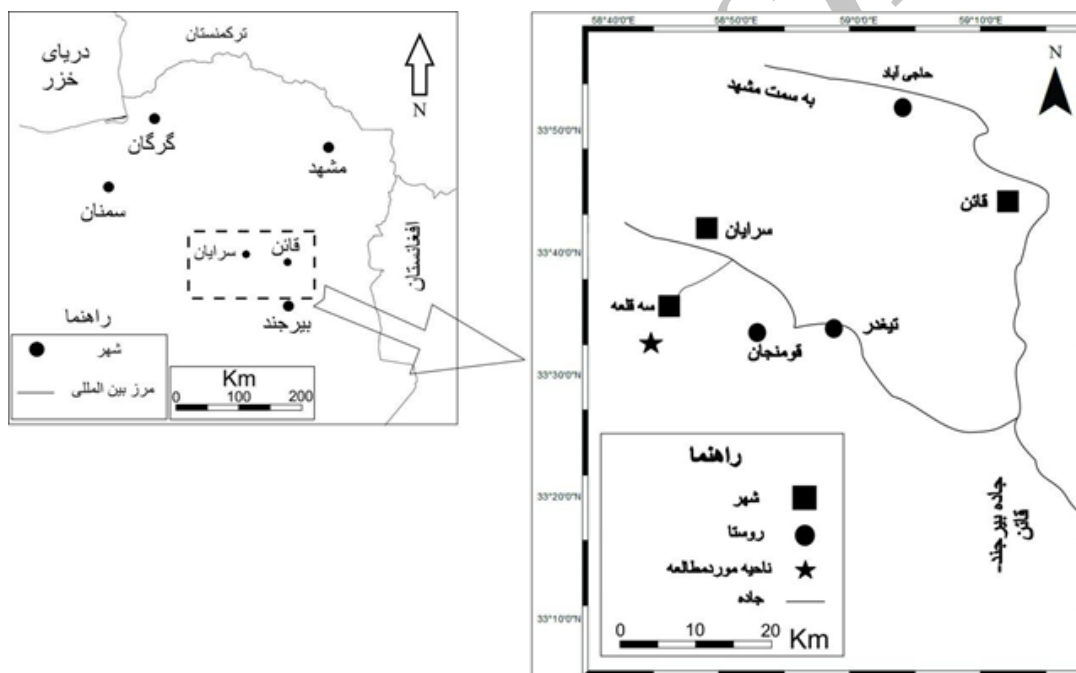
در این پژوهش با توجه به اهداف مورد نظر از مطالعات ژئوشیمیایی استفاده شد. اولین اقدام در مطالعات ژئوشیمیایی انتخاب روش تجزیه‌ای مناسب است. با توجه به اینکه در مطالعات ژئوشیمیایی روش‌های مختلفی وجود دارد که هر کدام به‌منظور مطالعات خاصی شکل‌گرفته است و به‌کار می‌رود، در پژوهش پیش‌رو، با توجه به بودجه و اعتبار قابل‌برنامه‌ریزی، از روش XRF استفاده شد. استفاده از ژئوشیمی و تجزیه عناصر اصلی توسط دستگاه XRF افزون بر

1. Jutland
2. Altar
3. Ordos

روش‌های سنگ‌نگاری و تجزیه مودال در طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی، همچنین تفکیک بین رسوبات بالغ و نابالغ نیز مؤثر است (داس و همکاران، ۲۰۰۶: ۶۵۴). به‌منظور تعیین اکسیدهای اصلی و فرعی در نمونه‌های برداشت‌شده، دوازده نمونه هر یک به وزن ۶۰ گرم از دامنه‌های رو به باد و دامنه‌های بادپناه تپه‌های ماسه‌ای از شمال به جنوب منطقه انتخاب و به روش XRF با دستگاه فیلیپس در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود تهران تجزیه شد.

موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

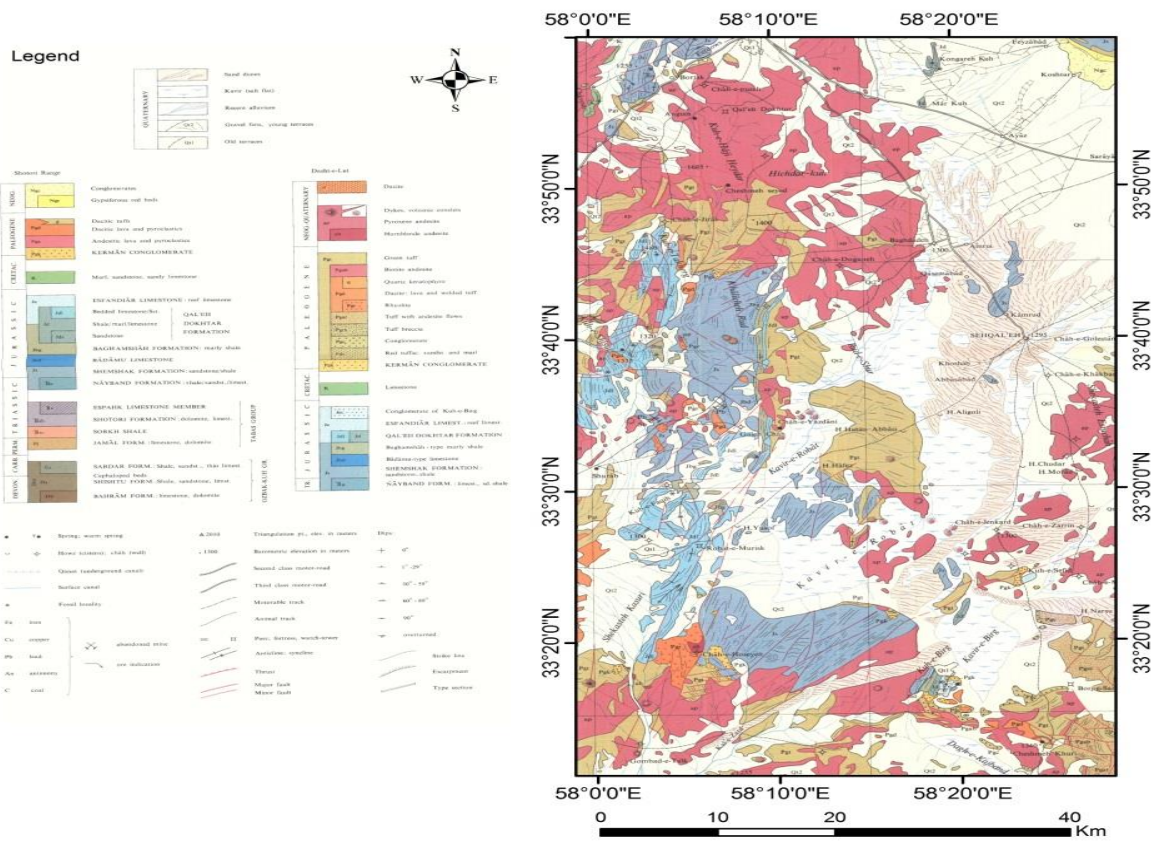
شهرستان سرایان از غرب به شهرستان فردوس، از شمال به بخش کاخک شهرستان گناباد، از شرق به روستای دهشک، از شرق و جنوب‌شرق به شهرستان خوسف و از جنوب‌غرب به بخش دیهوک شهرستان طبس محدود می‌شود. منطقه مطالعاتی مورد نظر در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی ۲۸° ۳۳' تا ۳۴° ۳۳' عرض شمالی و ۲۱° ۵۸' تا ۲۲° ۵۸' طول شرقی، به طول متوسط ۱۱ کیلومتر و عرض متوسط ۳ کیلومتر در فاصله ۱۳ کیلومتری جنوب شهر سه‌قلعه و در جنوب‌غرب شهرستان سرایان (استان خراسان جنوبی) در شرق ایران واقع شده است (شکل ۱). به دلیل بیابانی بودن عرصه و وجود محدودیت‌های زیاد در استقرار پوشش گیاهی که نقش مهمی در کنترل فرسایش به‌ویژه فرسایش بادی دارد، تپه‌های ماسه‌ای بادی فراوانی در این منطقه توسعه یافته است.



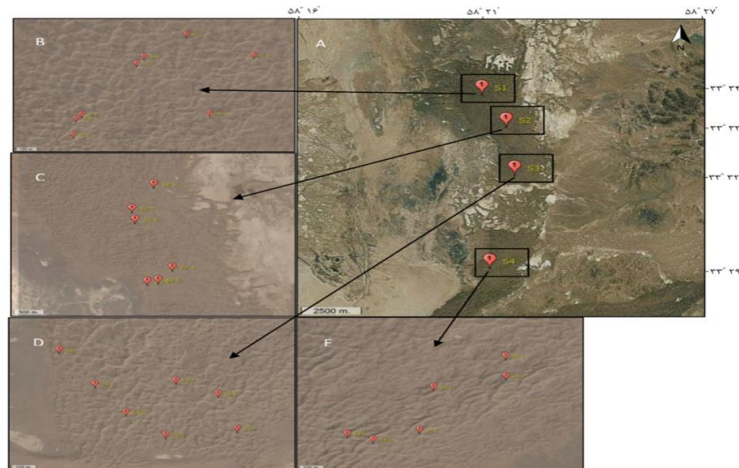
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

زمین‌شناسی عمومی منطقه

محدوده مورد مطالعه بخشی از شمال بلوک لوت و از نظر سنگ‌شناسی متنوع است و از واحدهای سنگی مختلفی تشکیل شده است. گسترش واحدهای سنگی در منطقه سه‌قلعه به شرح زیر است: واحدهای سنگی دوران پالئوزوئیک شامل سازند جمال، واحدهای سنگی دوران مزوزوئیک شامل سازند ناپیند، سازند شمشک، سازند بغمشاه، سازند قلعه‌دختر، واحدهای آهکی کرتاسه و واحدهای سنگی سنوزوئیک شامل سازندهای کنگلومرای کرمان، واحد کوارتز آندزیت، تراکی آندزیت، کوارتز لاتیت، واحد آتشفشانی، واحد مارنی‌تورژن، واحد توفی، واحد آتشفشانی آندزیتی، واحدهای مخروط‌افکنه و تراس‌های آبرفتی قدیمی، مخروط‌افکنه و تراس‌های آبرفتی جدید، مخروط‌افکنه‌ها، واحد کنگلومرای، تپه‌های ماسه‌ای، پهنه‌های رسی، پهنه‌های نمکی، آبرفت‌های رودخانه‌ای عهد حاضر. نقشه زمین‌شناسی منطقه و محل و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۲ و ۳ آمده است.



شکل ۲. نقشه پراکندگی واحدهای سنگی و موقعیت منطقه مورد مطالعه در سهقلعه (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بشرویه)



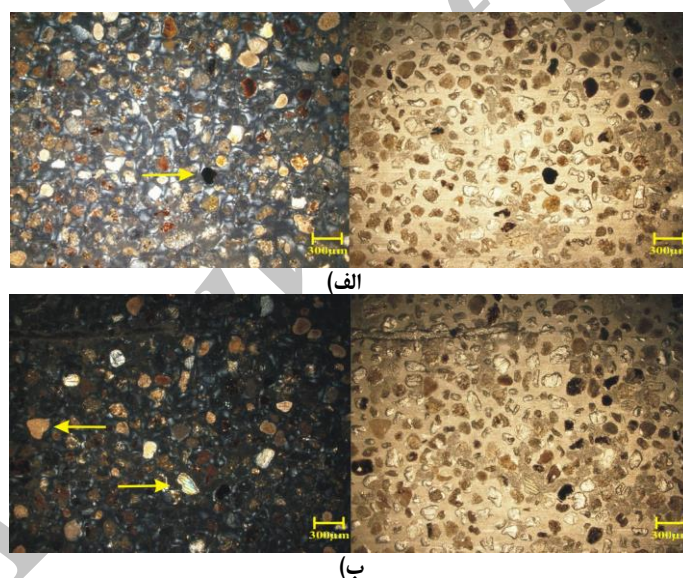
شکل ۳. تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های انتخابی (برگرفته از Google Earth)

یافته‌های پژوهش

بررسی کانی‌شناسی در تپه‌های ماسه‌ای سرایان نشان می‌دهد که خرده‌سنگ‌ها دارای بیشترین فراوانی با مقدار ۵۰٪ تا ۶۲٪ (میانگین ۶۰/۱۱٪)، سیس کوارتز با مقدار ۳۳٪ تا ۴۶٪ (با میانگین ۳۶/۶۲٪) و در نهایت فلدسپات با مقدار ۱٪ تا ۵٪ (با میانگین ۳/۱۴٪) قرارداد. بررسی اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد مقدار SiO_2 از ۵۸/۲۱٪ تا ۶۸/۵۶٪ با میانگین

۶۴/۲۰٪ بیشترین فراوانی را در مقایسه با سایر اکسیدهای اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه دارد. دومین عنصر از لحاظ فراوانی Al_2O_3 از ۱۰/۹۷٪ تا ۱۱/۸۹٪ با میانگین تمرکز ۱۱/۲۹٪ است. از دیگر عناصر اصلی می‌توان به Fe_2O_3 از ۲/۹۳٪ تا ۳/۷۹٪ با میانگین ۳/۴۱٪ اشاره کرد. CaO از محدوده ۶/۰۲٪ تا ۱۱/۳۹٪ با میانگین ۸/۲۵٪ و Na_2O از ۲/۰۱٪ تا ۲/۳۵٪ و با میانگین ۲/۱۶٪ و K_2O از ۱/۲۳٪ تا ۱/۸۹٪ با میانگین ۱/۵۱٪ در تغییر است. MgO با میانگین ۰/۶۷٪، TiO_2 با میانگین ۰/۴۰٪، MnO با میانگین ۰/۰۷٪، P_2O_5 با میانگین ۰/۰۷٪، S با میانگین ۰/۰۲٪ و $L.O.I$ با میانگین ۷/۷۴٪ دیده می‌شود (جدول ۱). شاخص دگرسانی هوازگی (CIW) نیز برابر با میانگین ۸۳/۹۶ است. طبق داده‌های ژئوشیمی و با بهره‌گیری از نمودار (آماجور، ۱۹۸۷: ۶۴۱)، نمونه‌ها در محدوده گرانیت بازالتی تا گرانیت قرار می‌گیرد. در نمودار (روسر و کورش، ۱۹۸۸: ۱۳۴) اکثر نمونه‌ها در محدوده قرار دارد که نشان‌دهنده منشأ سنگ آذرین حد واسط تا فلسیک است. با ترسیم داده‌های حاصل از نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار (کروک، ۱۹۷۴: ۳۰۷) نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای سرایان در ناحیه با کوارتز متوسط قرار می‌گیرد. طبق نمودار (باتیا، ۱۹۸۳: ۶۱۹) نمونه‌های مورد مطالعه در محیط حاشیه‌ای فعال قاره‌ای از لحاظ تکتونیکی تشکیل شده است.

در تپه‌های مورد مطالعه میزان اکسیدهایی همچون Fe_2O_3 ، TiO_2 و MgO از غرب به شرق منطقه در ایستگاه‌های مختلف دارای روند کاهشی است. در نمونه‌های مورد مطالعه Al_2O_3 با Na_2O و SiO_2 روند مثبت و با سایر اکسیدهایی همچون MgO ، K_2O ، Fe_2O_3 و TiO_2 همبستگی منفی نشان می‌دهد. همچنین، میزان باریم و زیرکونیوم بالا و میزان استرانسیوم پایین است.



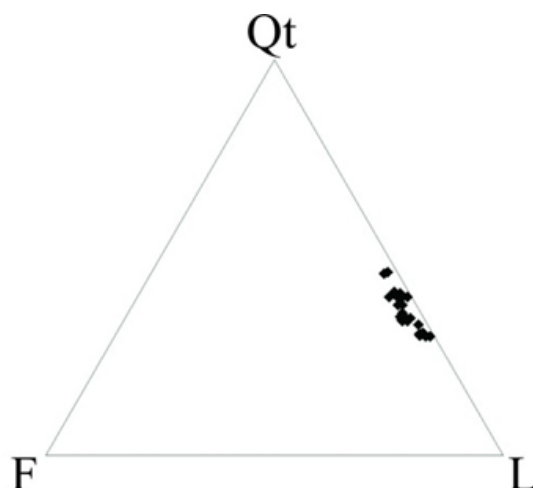
شکل ۴. الف) نمایش کانی‌های تیره، ب) پلاژیوکلاز و خرده‌سنگ رسوبی در تپه‌های ماسه‌ای در سرایان (نور PPL, XPL)

بحث

آنالیز مدال و کانی‌شناسی

مطالعات ترکیب کانی‌شناسی رسوبات برای پی‌بردن به مشخصات سنگ منشأ رسوبات، نحوه حمل و شرایط آب‌وهوایی منطقه اهمیت خاصی دارد (شکیبا آزاد و همکاران، ۱۳۸۶: ۳). در بررسی کانی‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای سرایان از الگوی رونی و باسو (۱۹۹۴) استفاده شده است. ذرات ماسه‌ای بادی از نظر ژنتیکی با منشأ خود ارتباط دارد و به کمک مطالعات کانی‌شناسی می‌توان در مورد منشأ این رسوبات اظهار نظر کرد. خرده‌سنگ‌های رسوبی بیشتر شامل خرده‌سنگ‌های کربناته است و از آنجا که خرده‌سنگ‌های رسوبی به استثنای چرت‌ها در رسوبات و سنگ‌های خشکی‌زاد کمیاب است و به دلیل اینکه معمولاً به آسانی شکسته و به دانه‌های تشکیل‌دهنده سنگ تبدیل می‌شود، فراوانی این خرده‌سنگ‌های رسوبی کربناته را می‌توان ناشی از نزدیکی سنگ منشأ به منطقه مورد مطالعه دانست.

خرده‌سنگ‌های آذرین بیرونی شامل خرده‌سنگ‌های آندزیت و بازالت و مقدار خرده‌سنگ‌های دگرگونی بسیار ناچیز است که دلیل آن را می‌توان در ارتباط با فراوانی ناچیز این قطعات در منشأ دانست. در نمونه‌های مورد مطالعه کوارتز مونوکریستالین در مقایسه با کوارتز پلی کریستالین فراوانی بیشتری داشت که این موضوع ممکن است ناشی از شکستن دانه‌های کوارتز پلی کریستالین به مونوکریستالین باشد (کاسپر-زویلاگا و همکاران، ۲۰۰۵: ۶۵۷). همراه بودن کوارتز و خرده‌سنگ‌ها نشان‌دهنده جورشدگی و گردشگی خوب نمونه‌های مورد مطالعه است. نمودار سه‌گانه Q_t -F-L نشان می‌دهد که از نظر ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر نزدیک به قطب L قرار گرفته است (شکل ۵).



شکل ۵. مقایسه سه‌گانه ترکیب کانی‌شناسی و ترسیم نمونه‌های مربوط به تپه‌های ماسه‌ای سرایان بر روی آن. Q_t کوارتز، F فلدسپات، L خرده‌سنگ (کاسپر-زویلاگا و همکاران، ۲۰۰۷)

آنالیز اکسیدهای اصلی

از آنالیز اکسیدهای اصلی می‌توان به منظور تعیین سنگ منشأ، تفسیر شرایط آب‌وهوایی، تعیین محیط و جایگاه تکتونیکی، همچنین نوع فرایندهای هوازدگی استفاده کرد (امجدی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۹). فراوانی اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی در رسوبات مورد مطالعه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

عناصر اصلی و شاخص آلتراسیون

دگرسانی شیمیایی تأثیر زیادی بر ژئوشیمی عناصر اصلی و کانی‌شناسی رسوبات سیلیسی آواری می‌گذارد (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲: ۷۱۵؛ مک‌لنن، ۱۹۹۳: ۲۹۷). گاه استفاده از اندیس CIA در نمونه‌های دارای تغییرات زیاد در میزان CaO نتایج جالب توجهی ارائه نمی‌دهد (کولرز، ۲۰۰۰: ۱۹۵)، به طوری که در نمونه‌های مورد مطالعه میزان بالای CaO باعث پایین آمدن میانگین CIA برآورد شده است و باید از بین دیگر داده‌ها حذف شود و در تعبیر و تفسیر هوازدگی استفاده نشود. بدین منظور کولرز (۲۰۰۰: ۱۹۵) اندیس دیگری را برای نمونه‌های با میزان CaO بالا و متغیر ارائه کرد که در نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای سرایان به دلیل بالابودن میزان CaO از این اندیس استفاده شده است. این اندیس به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$CIW = [Al_2O_3 / Al_2O_3 + Na_2O] 100$$

میزان CIW در تپه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه از ۸۲/۸۱ تا ۸۴/۹۶ با میانگین ۸۳/۹۶ است که این اعداد میزان هوازدگی و دگرسانی کم تا متوسط را برای نمونه‌های مورد نظر پیشنهاد می‌کند. بر این اساس تپه‌های ماسه‌ای سرایان در شرایط آب‌وهوای خشک قرار داشته است. بسیاری از نمودارهای ژئوشیمیایی که در مطالعه سنگ‌های رسوبی به کار می‌رود با استفاده از داده‌های رسوبات عهد حاضر تهیه شده است (بایولز و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۴۳).

جدول ۱. داده‌های حاصل از آنالیز XRF میزان اکسیدهای اصلی (بر حسب درصد) در نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای بادی سرایان

| Sample | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | MgO | TiO ₂ | MnO | P ₂ O ₅ | SO ₃ | L.O.I | CIW | CIA |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------------------|------------------|------|------------------|-------|-------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|
| 1-2 | 68.56 | 11.33 | 2.93 | 6.02 | 2.22 | 1.89 | 0.66 | 0.332 | 0.048 | 0.067 | 0.024 | 5.73 | 83.62 | 52.80 |
| 1-4 | 64.19 | 11.18 | 3.53 | 7.77 | 2.1 | 1.68 | 0.63 | 0.415 | 0.066 | 0.064 | 0.017 | 8.11 | 84.19 | 49.19 |
| 1-7 | 62.28 | 10.97 | 3.19 | 9.36 | 2.09 | 1.39 | 0.67 | 0.429 | 0.076 | 0.066 | 0.016 | 8.57 | 84.00 | 46.07 |
| 2-3 | 65.63 | 11.32 | 3.12 | 7.68 | 2.35 | 1.69 | 0.72 | 0.396 | 0.059 | 0.069 | 0.015 | 6.69 | 82.81 | 49.13 |
| 2-4 | 65.11 | 11.89 | 3.2 | 7.17 | 2.23 | 1.39 | 0.68 | 0.377 | 0.057 | 0.067 | 0.019 | 7.46 | 84.21 | 52.43 |
| 2-5 | 63.81 | 11.42 | 3.55 | 8.51 | 2.11 | 1.42 | 0.67 | 0.413 | 0.067 | 0.066 | 0.012 | 7.68 | 84.41 | 48.68 |
| 3-1 | 58.21 | 11.02 | 4.57 | 11.39 | 2.11 | 1.23 | 0.68 | 0.527 | 0.098 | 0.069 | 0.035 | 9.78 | 83.93 | 42.80 |
| 3-5 | 63.34 | 11.52 | 3.45 | 8.11 | 2.2 | 1.38 | 0.63 | 0.426 | 0.071 | 0.066 | 0.012 | 7.92 | 83.97 | 48.38 |
| 3-7 | 63.08 | 11.35 | 3.28 | 8.63 | 2.01 | 1.42 | 0.6 | 0.366 | 0.067 | 0.062 | 0.013 | 8.95 | 84.96 | 48.48 |
| 4-1 | 65.74 | 11.02 | 3.01 | 7.48 | 2.21 | 1.55 | 0.72 | 0.346 | 0.057 | 0.071 | 0.013 | 7.57 | 83.30 | 49.51 |
| 4-3 | 66.03 | 10.99 | 3.2 | 7.73 | 2.2 | 1.68 | 0.64 | 0.356 | 0.063 | 0.063 | 0.016 | 6.83 | 83.32 | 48.63 |
| 4-6 | 64.39 | 11.42 | 3.27 | 8.49 | 2.03 | 1.42 | 0.72 | 0.372 | 0.065 | 0.068 | 0.011 | 7.53 | 84.91 | 48.89 |
| Mean | 64.20 | 11.29 | 3.41 | 8.25 | 2.61 | 1.51 | 0.67 | 0.40 | 0.07 | 0.07 | 0.02 | 7.74 | 83.96 | 48.74 |

ادامه جدول ۱. داده‌های حاصل از آنالیز XRF میزان عناصر فرعی (بر حسب پی‌پی‌ام) در نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای بادی سرایان

| Sample | Cl | Ba | Cu | Sr | Pb | Zn | Ni | Cr | V | Zr | Rb | La | Y | Ce | W | Co |
|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|------|------|------|
| 1-2 | 64 | 529 | 39 | 436 | 25 | 66 | 51 | 32 | 55 | 188 | 75 | 26 | 27 | 50 | 6 | 4 |
| 1-4 | 74 | 497 | 52 | 409 | 33 | 68 | 52 | 39 | 68 | 175 | 61 | 2 | 26 | 5 | 2 | 4 |
| 1-7 | 68 | 557 | 34 | 402 | 15 | 62 | 54 | 50 | 68 | 163 | 54 | 19 | 27 | 39 | 5 | 5 |
| 2-3 | 69 | 505 | 35 | 442 | 15 | 56 | 54 | 34 | 64 | 183 | 62 | 2 | 23 | 4 | 2 | 8 |
| 2-4 | 68 | 375 | 34 | 435 | 20 | 55 | 57 | 43 | 59 | 179 | 60 | 11 | 23 | 25 | 1 | 2 |
| 2-5 | 60 | 330 | 34 | 437 | 22 | 57 | 50 | 53 | 67 | 176 | 53 | 5 | 27 | 11 | 5 | 6 |
| 3-1 | 88 | 361 | 27 | 395 | 23 | 63 | 49 | 63 | 80 | 156 | 44 | 32 | 18 | 56 | 2 | 11 |
| 3-5 | 68 | 479 | 31 | 415 | 11 | 57 | 53 | 33 | 70 | 170 | 55 | 7 | 25 | 10 | 1 | 8 |
| 3-7 | 63 | 385 | 32 | 416 | 27 | 55 | 54 | 27 | 62 | 169 | 52 | 8 | 20 | 15 | 2 | 5 |
| 4-1 | 72 | 388 | 30 | 462 | 17 | 55 | 52 | 40 | 56 | 175 | 60 | 19 | 23 | 41 | 1 | 5 |
| 4-3 | 64 | 424 | 26 | 437 | 22 | 54 | 51 | 33 | 66 | 172 | 64 | 3 | 22 | 6 | 2 | 5 |
| 4-6 | 64 | 409 | 32 | 437 | 15 | 52 | 52 | 40 | 66 | 170 | 53 | 5 | 23 | 8 | 8 | 7 |
| Mean | 62.75 | 436.41 | 33.83 | 462.91 | 20.41 | 58.33 | 52.41 | 40.58 | 65.08 | 173 | 57.75 | 11.58 | 23.66 | 22.5 | 3.08 | 5.83 |

ادامه جدول ۱. داده‌های حاصل از آنالیز XRF میزان عناصر فرعی (برحسب پی پی ام) در نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای بادی سرایان

| Sample | As | U | Th | Mo | Ga | Nb |
|--------|-------|-----|------|------|-------|------|
| 1-2 | 81 | 2 | 2 | 2 | 15 | 1 |
| 1-4 | 52 | 1 | 1 | 2 | 13 | 1 |
| 1-7 | 58 | 1 | 2 | 4 | 15 | 4 |
| 2-3 | 7 | 1 | 4 | 4 | 14 | 2 |
| 2-4 | 8 | 4 | 3 | 2 | 14 | 1 |
| 2-5 | 52 | 1 | 2 | 5 | 13 | 1 |
| 3-1 | 32 | 1 | 2 | 2 | 13 | 2 |
| 3-5 | 68 | 3 | 2 | 3 | 15 | 1 |
| 3-7 | 63 | 1 | 1 | 4 | 14 | 3 |
| 4-1 | 58 | 1 | 4 | 1 | 14 | 1 |
| 4-3 | 7 | 1 | 4 | 2 | 14 | 2 |
| 4-6 | 9 | 1 | 2 | 2 | 13 | 1 |
| Mean | 41.25 | 1.5 | 2.41 | 2.75 | 13.91 | 1.66 |

تعیین منشأ تپه‌های ماسه‌ای سرایان

اگر در منطقه مورد مطالعه چند منبع وجود داشته باشد، از طریق مقایسه ژئوشیمیایی و ایزوتوپی رسوبات بیابان با منابع احتمالی آن‌ها می‌توان منابع اصلی و فرعی را از هم متمایز کرد، زیرا مناطق منبع در موقعیت‌های زمین‌شناسی مختلف دارای ترکیبات ژئوشیمیایی و ایزوتوپی متفاوتی است (رائو و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۲۴)؛ بنابراین، از داده‌های ژئوشیمی رسوبات می‌توان در تعبیر و تفسیر خصوصیات منشأ استفاده کرد (آرمسترانگ-آلترین و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۸۵). بدین منظور از نسبت اکسیدهای Fe، Ti، K، Na و Mg به Al_2O_3 در نمودار (روسر و کورش، ۱۹۸۸: ۱۳۴) می‌توان برای تمایز رسوباتی که منشأ آن‌ها عمدتاً از سنگ‌های مافیکی یا از سنگ‌های آذرین حد واسط یا فلسیک تشکیل شده یا از کوارتزهای رسوبی نتیجه شده است به صورت داده‌های تابع تفکیک‌کننده ۱ و ۲ استفاده کرد.

تابع تفکیک‌کننده ۱:

$$30.638 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 12.541 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{total})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 7.329 \text{ MgO} / \text{Al}_2\text{O}_3 + 12.031 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 35.402 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 6.382$$

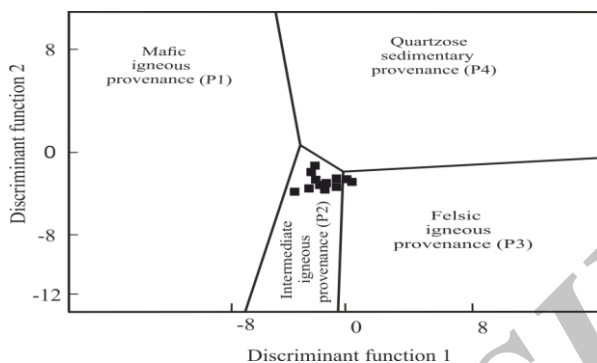
تابع تفکیک‌کننده ۲:

$$56.500 \text{ TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - 10.879 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{total})/\text{Al}_2\text{O}_3 + 30.875 \text{ MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 5.404 \text{ Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 + 11.112 \text{ K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 - 3.89$$

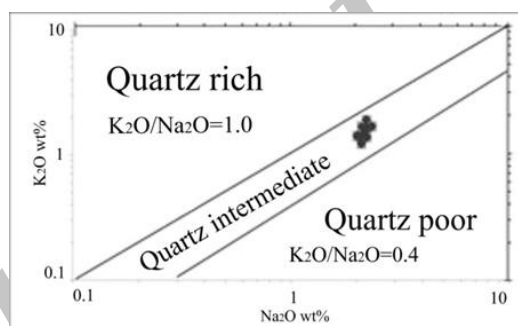
داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌ها در معادلات فوق محاسبه، سپس در شکل ۶ ترسیم شد که در آن اکثر نمونه‌ها نشان‌دهنده منشأ سنگ آذرین حد واسط تا فلسیک است. همچنین، بر اساس نمودار $K_2O - Na_2O$ می‌توان در مورد میزان کوارتز رسوبات مورد مطالعه اظهار نظر کرد. این رسوبات را به سه دسته غنی از کوارتز، با کوارتز متوسط و فقیر از کوارتز طبقه‌بندی می‌کنند (کروک، ۱۹۷۴: ۳۰۷). با ترسیم داده‌های حاصل از نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار مورد نظر نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای سرایان در ناحیه با کوارتز متوسط قرار می‌گیرد (شکل ۷).

نسبت Al_2O_3/TiO_2 در رسوبات سیلیسی آواری نیز بر ترکیب سنگ منشأ تأکید دارد، به نحوی که این نسبت از ۳ تا ۸ در سنگ‌های آذرین مافیکی، از ۸ تا ۲۱ در سنگ‌های آذرین حد واسط و از ۲۱ تا ۷۰ در سنگ‌های آذرین فلسیک متغیر است (هایاشی و همکاران، ۱۹۹۷: ۴۱۲۱). نسبت Al_2O_3/TiO_2 در نمونه مورد مطالعه در محدوده ۲۰/۹۱ تا ۳۴/۱۲ و به صورت میانگین ۲۴/۴۸ قرار می‌گیرد و مؤید سنگ آذرین فلسیک است.

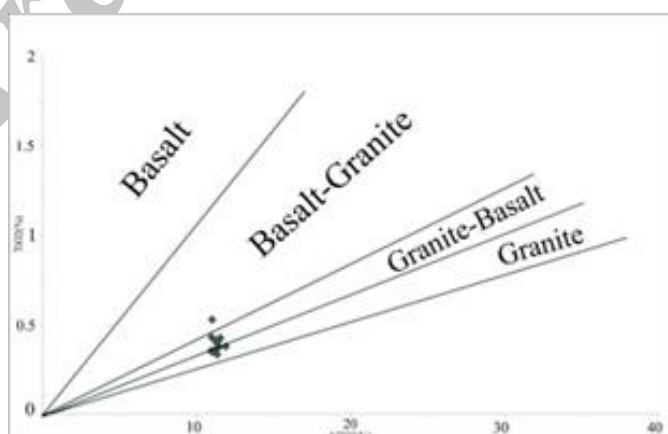
همچنین، بر اساس نمودار Al_2O_3 در برابر TiO_2 می‌توان منشأ رسوبات را به چهار دسته سنگ‌های بازالتی، بازالت گرانیت، گرانیت بازالت و گرانیت طبقه‌بندی کرد (آماجور، ۱۹۸۷: ۶۴۱). با ترسیم داده‌های تپه‌های ماسه‌ای سرایان در نمودار مربوط اکثر نمونه‌ها در ناحیه گرانیت بازالتی و گرانیتی قرار می‌گیرد. این موضوع بیانگر این است که به احتمال زیاد سنگ منشأ سنگ آذرین حد واسط است (شکل ۸).



شکل ۶. نمایش داده‌های تپه‌های ماسه‌ای سرایان بر روی نمودار تفکیک‌کننده تابعی بر اساس نسبت اکسیدهای اصلی (روسر و کورش، ۱۹۸۸)



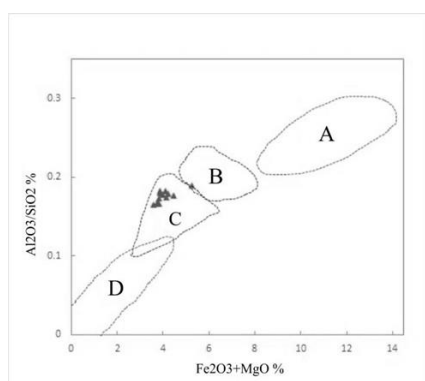
شکل ۷. تعیین ترکیب منشأ بر اساس نمودار K_2O-Na_2O در رسوبات تپه‌های ماسه‌ای سرایان (کروک، ۱۹۷۴)



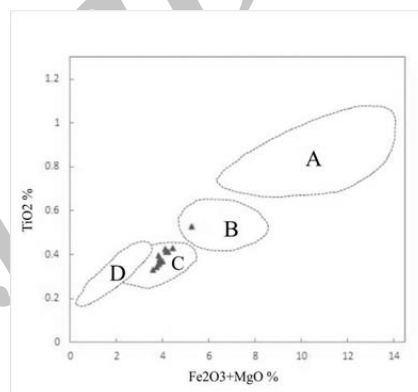
شکل ۸. نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 برای تعیین منشأ رسوبات تپه‌های ماسه‌ای سرایان (آماجور، ۱۹۸۷)

جایگاه زمین‌ساختی

امروزه، به بررسی‌های ژئوشیمیایی به‌منظور بررسی خاستگاه و موقعیت زمین‌ساختی حوضه رسوب‌گذاری توجه زیادی شده است (آرمسترانگ-آلترین و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۸۵؛ باتیا و کروک، ۱۹۸۶: ۱۸۱). با کمک عناصر اصلی که به‌صورت نمودارهای تفکیک تکتونیکی نمایش داده می‌شود می‌توان به جایگاه زمین‌ساختی مجموعه‌های رسوبی آواری پی‌برد. رسوبات عهد حاضر در محیط‌هایی چون جزایر قوسی اقیانوسی و قاره‌ای و حاشیه‌های قاره‌ای غیرفعال و فعال نهشته شده و دارای ترکیبات متفاوتی به‌ویژه از نظر Fe_2O_3 ، $\text{MgO} + \text{SiO}_2$ ، Al_2O_3 و TiO_2 است (باتیا، ۱۹۸۳: ۶۱۹). باتیا بر همین اساس از عناصر اصلی بیان شده برای تفکیک محیط‌های تکتونیکی استفاده کرد که در نمودارهای مربوط محدوده‌های تعیین شده عبارت است از جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره‌ای (B)، حاشیه‌های فعال قاره‌ای (C) و حاشیه‌های غیرفعال (D). دو نمونه از این نمودارها در شکل ۹ و ۱۰ آمده است. با ترسیم داده‌ها روی نمودارهای مربوط شاهد این موضوع‌ایم که در هر دو نمودار یازده نمونه در محدوده حاشیه‌های قاره‌ای فعال و تنها یک نمونه در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای قرار می‌گیرد و می‌توان بیان کرد که تپه‌های ماسه‌ای منطقه سرایان در محیط تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده است.



شکل ۱۰. نمودار تفکیک‌کننده بر اساس نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ در مقابل $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (برگرفته از باتیا، ۱۹۸۳)

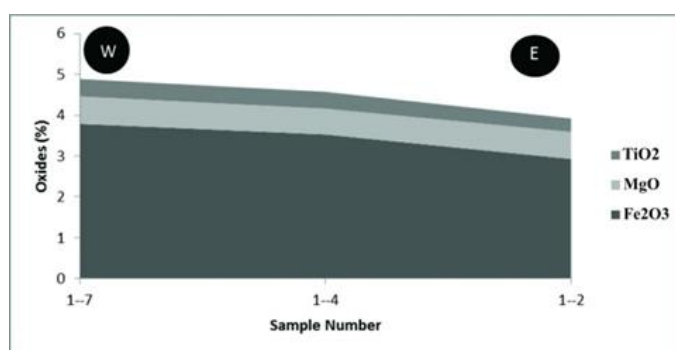


شکل ۹. نمودار تفکیک‌کننده درصد TiO_2 در مقابل $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (برگرفته از باتیا، ۱۹۸۳)

کانی‌های سنگین

کانی‌های سنگین درصد کمی از رسوبات را تشکیل می‌دهد که عمدتاً از سیلیکات‌های اکسیدها تشکیل شده و بیشتر آن‌ها در برابر هوازدگی شیمیایی و سایش مکانیکی بسیار مقاوم است. با بررسی و مطالعه تغییرات برخی عناصر اصلی در نمونه‌های رسوبات مطالعه‌شده می‌توان اطلاعات ارزش‌مندی در مورد شکل‌گیری و انتقال کانی‌های سنگین به‌خصوص کانی‌های سنگین تیره به دست آورد.

از کانی‌های سنگین می‌توان برای تعیین منشأ رسوبات نیز استفاده کرد. در دوازده نمونه تپه‌های ماسه‌ای بادی مورد مطالعه مربوط به چهار بخش، ابتدا در راستای شمال به جنوب منطقه به بررسی میزان Fe_2O_3 ، TiO_2 و MgO پرداختیم و نمودار مربوط ترسیم شد. تغییرات قابل توجهی بیانگر موضوع خاصی باشد و روند خاصی را نشان دهد مشخص نشد. سپس، در چهار منطقه مورد مطالعه از غرب به شرق میزان Fe_2O_3 ، TiO_2 و MgO در ایستگاه‌های مختلف ارزیابی و نمودارهای مربوط ترسیم شد (شکل ۱۱) که شاهد کاهش Fe_2O_3 ، TiO_2 و MgO از غرب به شرق بودیم. با توجه به این موضوع که باد قادر به حمل کانی‌های سنگین در مسافت‌های طولانی از منشأ نیست، مقدار این سه نوع اکسید در نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای بادی مورد مطالعه نشان‌دهنده فراوانی یا عدم فراوانی کانی‌های سنگین است و در جهت بادهایی که بیشترین قدرت و توان حمل را دارد و از غرب به شرق در حال وزیدن است کاهش یافته است. این موضوع با وجود باد غالب شمال‌غرب در منطقه که باد اصلی در به‌وجود آمدن تپه‌های ماسه‌ای موجود در منطقه و از نوع برخانونبید است تطابق کامل دارد.



شکل ۱۱. روند تغییرات TiO_2 ، Fe_2O_3 و MgO در زون S1 از غرب به شرق در منطقه مورد مطالعه

روند تغییرات اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی

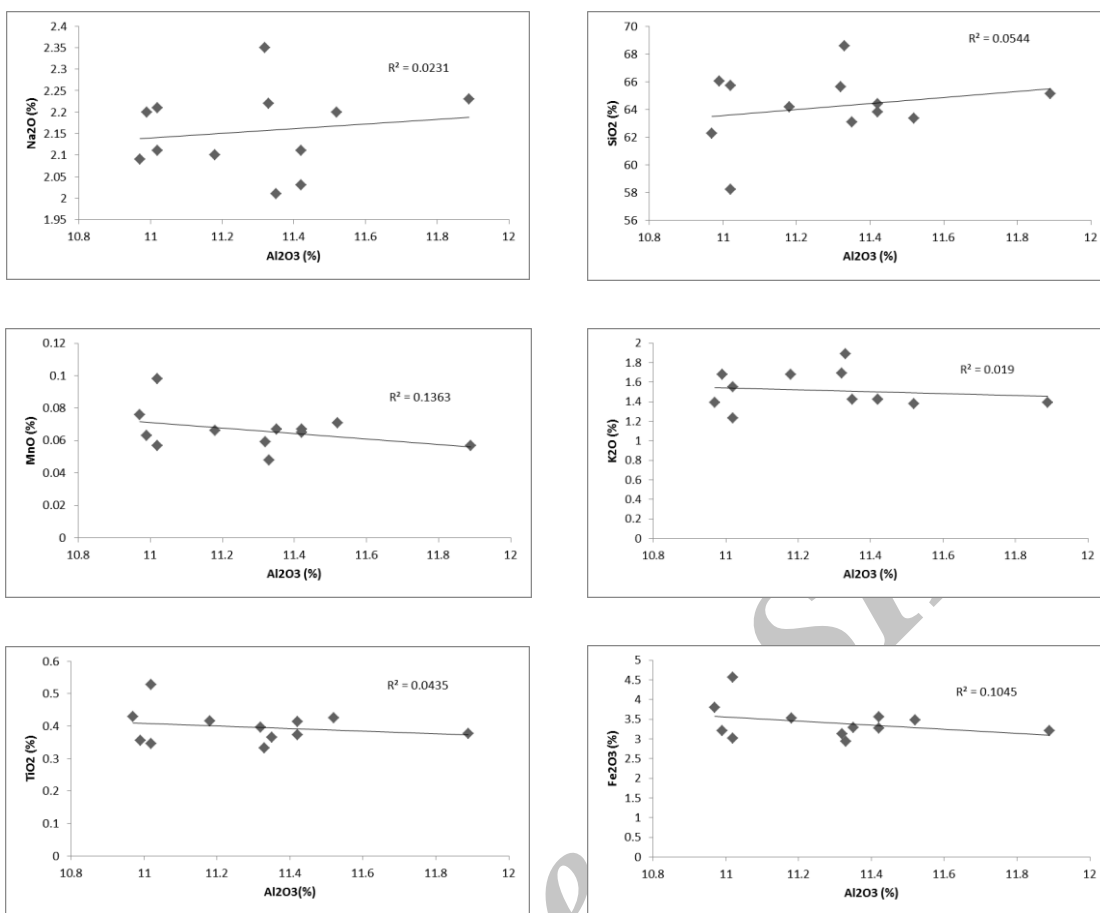
Al_2O_3 را می‌توان عاملی به‌منظور مقایسه بین سنگ‌های مختلف به کار برد، زیرا طی هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی نسبتاً بدون تغییر است. اگرچه در تپه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه آلومینیم از لحاظ فراوانی در رتبه دوم و پس از سیلیسیم قرار می‌گیرد، وجود آلومینیم عامل مهمی در رابطه با اندازه‌گیری سایر عناصر اصلی در رسوبات آواری است. آلومینیم معمولاً عنصری پایدار در طبیعت است و اغلب در آب‌وهوای مرطوب افزایش و در آب‌وهوای خشک کاهش می‌یابد. در نمونه‌های مورد مطالعه Al_2O_3 با Na_2O و SiO_2 روند مثبت و با سایر اکسیدها همچون TiO_2 ، MgO ، K_2O ، Fe_2O_3 و MnO همبستگی منفی نشان می‌دهد.

دلیل اینکه اکثر اکسیدها با Al_2O_3 روند مثبت نشان نمی‌دهد را می‌توان به دلیل عدم حضور کانی‌های رسی و فلدسپات در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت داد. همبستگی مثبت بین Al_2O_3 و Na_2O بیانگر این است که سدیم در ساختار آلومینوسیلکات‌ها حضور دارد و همبستگی مثبت بین Al_2O_3 و SiO_2 را می‌توان به وجود این عنصر علاوه‌بر کوارتز در سایر کانی‌ها نسبت داد (شکل ۱۲).

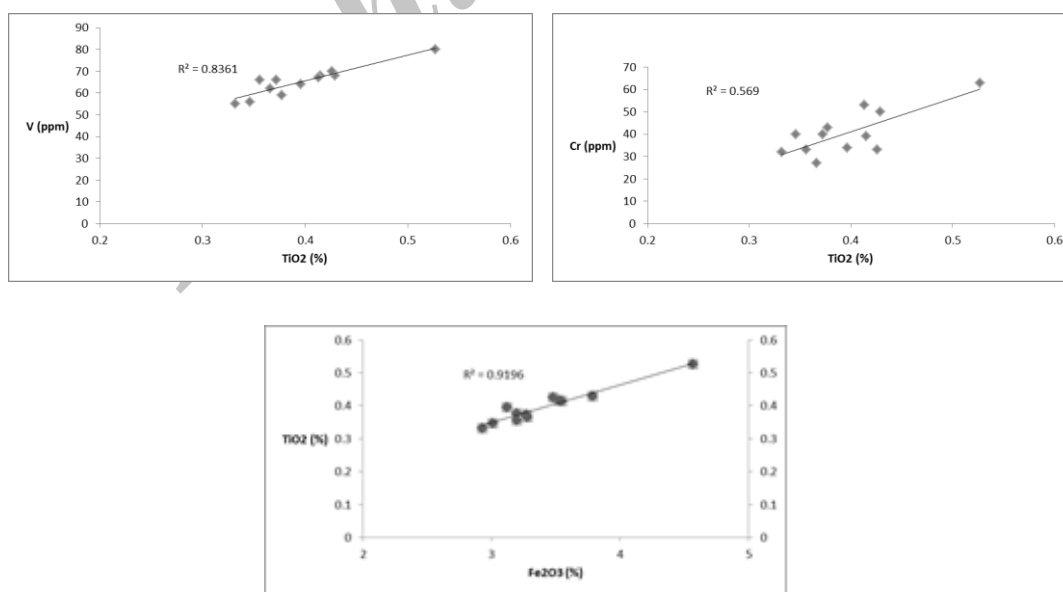
از دیگر عناصر اصلی می‌توان به Ti اشاره کرد. این عنصر به دلیل عدم تحرک و جابه‌جایی طی فرایندهای رسوبی در مقایسه با سایر عناصر شاخص خوبی برای تفسیر سنگ منشأ است. مقدار میانگین TiO_2 در تپه‌های ماسه‌ای مورد مطالعه ۰/۴۰٪ و نشان‌دهنده ذرات حد واسط در سنگ منشأ است. همچنین، همبستگی Cr و V با اکسید TiO_2 و اکسید Fe_2O_3 مقابل TiO_2 نشان‌دهنده وجود کانی‌های سنگین است، زیرا Cr و V با آهن و تیتانیوم در کانی‌های سنگین همراه می‌شود. همچنین، همبستگی مثبت بین Cr و Fe_2O_3 نیز دلیل دیگری بر وجود کانی‌های سنگین است (شکل ۱۳).

در تپه‌های ماسه‌ای سرایان میزان باریم بسیار بالاست. بنا بر عقیده کاسپر-زویلاگا و همکاران (۲۰۰۷)، معمولاً میزان باریم بالا در تپه‌های ماسه‌ای دلیلی بر وجود فلدسپات پتاسیم است. مطالعات کانی‌شناسی و نمودارهای ترسیم‌شده مقدار فلدسپات پتاسیم زیادی را در نمونه‌ها مشخص می‌کند. همچنین، مقدار باریم از شمال به جنوب روند تقریباً کاهشی نشان می‌دهد. میزان بالا و قابل توجه زیرکانیم معمولاً به دلیل بالابودن زیرکانیم در سنگ‌های منشأ گرانیتی، سنگ‌های رسوبی سیکل دوم و سوم و رسوبات با تجمع کانی‌های سنگین است (کارانزای-ادواردز و همکاران، ۲۰۰۱: ۳۰۴؛ دی‌لتو و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۴۱).

میزان بالای زیرکانیم در تپه‌های ماسه‌ای سرایان را می‌توان مربوط به سنگ منشأ گرانیتی تا گرانیت بازالیت این تپه‌های ماسه‌ای دانست. نمودارهای مربوط به تعیین منشأ رسوبات نیز این موضوع را تأیید می‌کند. زیرکانیم هم از شمال به جنوب منطقه روندی شبیه به باریم از خود نشان می‌دهد که دلیل آن را می‌توان به همبستگی مثبت زیرکانیم و باریم و جهت باد غالب در منطقه نسبت داد. میزان پایین‌تر استرانسیم در نمونه‌های مورد مطالعه را می‌توان به مقدار کم کانی‌های کربناته مانند کلسیت و دولومیت نسبت داد، زیرا استرانسیم از عناصری است که معمولاً در ساختمان کانی‌های پتاسیم‌دار شرکت می‌کند (یانگ و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۵).

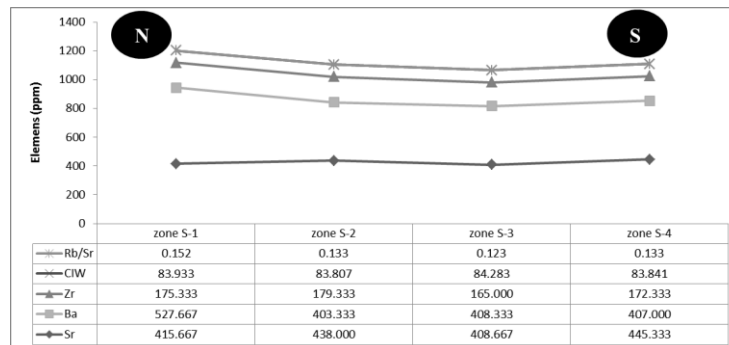


شکل ۱۲. روند تغییرات Al₂O₃ در مقابل K₂O, MnO, Na₂O, SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃ در نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۱۳. روند تغییرات TiO₂ در مقابل Cr, V, Fe₂O₃ در نمونه‌های مورد مطالعه

بر اساس نظریهٔ یانگ و همکاران (۲۰۰۴: ۲۶) نسبت Rb/Sr در ارتباط با تغییرات شاخص دگرسانی شیمیایی است. آن‌ها عقیده دارند که بالابودن نسبت در ارتباط با هوازگی شیمیایی شدید در منطقه است. این در حالی است که شاخص دگرسانی شیمیایی در هر چهار منطقه تقریباً ثابت است و فقط در منطقه S₃ با کاهش مقدار Rb/Sr میزان دگرسانی شیمیایی مقداری افزایش می‌یابد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. میانگین سه عنصر کمیاب و شاخص آلتراسیون شیمیایی (CIW) در زون‌های چهارگانه تپه‌های مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

بررسی کانی‌شناسی در تپه‌های ماسه‌ای سرایان نشان می‌دهد خرده‌سنگ‌ها دارای بیشترین فراوانی با مقدار ۵۰٪ تا ۶۲٪ (میانگین ۶۰/۱۱٪)، سپس کوارتز با مقدار ۳۳٪ تا ۴۶٪ (با میانگین ۳۶/۶۲٪) و در نهایت فلدسپات با مقدار ۱٪ تا ۵٪ (با میانگین ۳/۱۴٪) است. بررسی اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد مقدار SiO₂ از ۵۸/۲۱٪ تا ۶۸/۵۶٪ با میانگین ۶۴/۲۰٪ بیشترین فراوانی را در مقایسه با سایر اکسیدهای اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه داراست. با بهره‌گیری از نمودارهای تعیین منشأ با استفاده از اکسیدهای مختلف باید منشأ آذرین حد واسط تا فلسیک با میزان کوارتز متوسط را برای تپه‌های ماسه‌ای سرایان در نظر گرفت. همچنین، با استفاده از نمودارهای تعیین جایگاه زمین‌ساختی به این نتیجه می‌رسیم که منطقه مورد مطالعه جزء مناطق حاشیه فعال قاره‌ای محسوب می‌شود. استفاده از اندیس‌ها و نمودارهای مربوط به تعیین هوازگی منشأ نشان می‌دهد که پلاژیوکلازهای منطقه دارای هوازگی بسیار کم است. به‌علاوه، از طریق نمودارهای تعیین هوازگی می‌توان دریافت که میزان دگرسانی شیمیایی در منطقه مورد مطالعه اندک است و می‌توان هوازگی در منطقه مطالعاتی سرایان را بیشتر از نوع هوازگی فیزیکی دانست. شاخص دگرسانی شیمیایی CIW در تپه‌های ماسه‌ای سرایان از ۸۲/۸۱٪ تا ۸۴/۹۶٪ با میانگین ۸۳/۹۶٪ در نوسان است. میزان اکسیدهای اصلی TiO₂، Fe₂O₃ و MgO نشانهٔ فراوانی یا عدم فراوانی کانی‌های سنگین است. با بررسی این اکسیدها شاهد کاهش این عناصر از غرب به شرق منطقه و در نتیجه شاهد کاهش کانی‌های سنگین از غرب به شرق منطقه‌ایم. این موضوع با وجود باد شمال غرب و دارای قدرت فرساینده‌گی و جابه‌جایی زیاد، مطابقت دارد. بررسی روند تغییرات Cr, V, Zr در چهار زون نمونه‌برداری شده از شمال به جنوب در منطقه مورد مطالعه نشانگر افزایش این عناصر فرعی است که از طریق این اکسیدها نیز می‌توان در مورد تمرکز کانی‌های سنگین در زون S₃ نظر داد. دلیل این امر را می‌توان به تغییرات کانی‌شناسی در این زون نسبت به سایر زون‌های مورد مطالعه مرتبط دانست. همچنین، بررسی مهم‌ترین عناصر کمیاب تپه‌های ماسه‌ای نشان می‌دهد که میزان عنصر باریم از ۳۳۰ ppm تا ۵۵۷ ppm (میانگین ۴۳۶/۵۸ ppm) در نوسان است که در بین عناصر فرعی در نمونه‌های مورد مطالعه دارای بیشترین مقدار است. استرانسیم از ۴۱۵ ppm تا ۴۶۲ ppm (میانگین ۴۲۹/۹۲ ppm) و زیرکانیم از ۱۵۶ ppm تا ۱۸۸ ppm (میانگین ۱۷۳ ppm) در نوسان است. بالابودن باریم و زیرکانیم و پایین‌بودن استرانسیم در محدوده مورد مطالعه را می‌توان در ارتباط با فراوانی کانی‌های تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها از جمله کربنات، فلدسپات پتاسیم و عدم فراوان پلاژیوکلاز دانست.

منابع

- احمدی، ح. (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی کاربردی - بیابان، فرسایش بادی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۶۷ص.
- امجدی، ص.؛ محمودی‌قرائی، م.ح.؛ موسوی حرمی، ر.؛ محبوبی، ا.؛ کتک لاهیجانی و علیزاده، ح. (۱۳۹۲). ژئوشیمی عناصر اصلی رسوبات آواری دریای عمان در ناحیه چابهار با تأکید بر منشأ شرایط آب‌وهوایی قدیمه و جایگاه زمین‌ساختی، تشریح رخساره‌های رسوبی، ۶: ۱۹-۳۰.
- شکیبا آزاد، ع.؛ جهانی، د. و لک، ر. (۱۳۸۶). رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی فلات قاره دریای عمان در منطقه گتان غرب جاسک، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، ۹ ص.
- نگارش، ح. و لطیفی، ل. (۱۳۸۷). تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه‌های ماسه‌ای شرق دشت سیستان در خشک‌سالی‌های اخیر، مجله جغرافیا و توسعه، ۱۲: ۴۳-۶۰.
- Ahmadi, H. (2008). *Applied Geomorphology, Desert-Wind Erosion*, 2 Edition, Unuiversity of Tehran Press, Vol. 2, 706pp.
- Amajor, L. (1987). Major and trace element geochemistry of Albian and Turonian shales from the Southern Benue trough, Nigeria, *Journal of African Earth Sciences*, 6(5): 633-641.
- Armstrong-Altrin, J.; Lee, Y.I.; Verma, S.P. and 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(2): 285-297.
- Amini, A.; Moussavi-Harami, R.; Lahijani, H. and Mahboubi, A. (2012). Sedimentological, and geomorphological factors in formation of coastal dunes and nebkha fields in Miankaleh coastal barrier system (Southeast of Caspian Sea, North Iran), *Association of Korean Geoscience Societies*, 16: 139-152.
- Amjadi, S.; Mahmudy Gharraie, M.H.; Moussavi-Harami, R.; Mahboubi, A. and Alizadeh, H. (2013). Geochemistry of siliciclastics major elements in Oman continental shelf, Chabahr: implications for provenance, paleoclimatic conditions and tectonic setting, *Sedimentary Facies*, 6(1): 19-30.
- Bauluz, B.; Mayayo, M.J.; Fernandez-Nieto, C. and Lopez, J.M.G. (2000). Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting, *Chemical Geology*, 168(1): 135-150.
- Bhatia, M.R. (1983). Plate tectonics and geochemical composition of sandstones, *Journal of Geology*, 91: 611-627.
- Bhatia, M.R. and Crook, K.A. (1986). Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins, *Contributions to mineralogy and petrology*, 92(2): 181-193.
- Carranza-Edwards, A.; Centeno-Garcia, E.; Rosales-Hoz, L. and Lozano-Santa Cruz, R. (2001). Provenance of beach gray sands from western México, *Journal of South American Earth Sciences*, 14(3): 291-305.
- Condie, K.C.; Dengate, J. and Cullers, R.L. (1995). Behavior of rare earth elements in a paleoweathering profile on granodiorite in the Front Range, Colorado, USA, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(2): 279-294.
- Crook, K.A. (1974). Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variation in flysch arenites (graywackes). In: Dott, R.H. Jr., Shaver, R.H. (Eds), Modern and ancient geosynclinals sedimentation, *Society for Sedimentary Geology Special Publication*, 19: 304-310.
- Cullers, R.L. and Podkovyrov, V.N. (2002). The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic U group, southeastern Russia, *Precambrian Research*, 117(3): 157-183.
- Cullers, R.L. (2000). The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian Permian age, Colorado, U.S.A. implications for provenance and metamorphic studies, *Lithos*, 51: 181-203.
- Das, B.K.; Al-Mikhlaifi, A. and Kaur, P. (2006). Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting, *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6): 649-668.
- Di Leo, P.; Dinelli, E.; Mongelli, G. and Schiattarella, M. (2002). Geology and geochemistry of Jurassic pelagic sediments, Scisti silicee Formation, southern Apennines, Italy, *Sedimentary Geology*, 150(3): 229-246.
- Gallala, W.; Gaied, M.E. and Montacer, M. (2009). Detrital mode, mineralogy and geochemistry of the Sidi Aich Formation (Early Cretaceous) in central and southwestern Tunisia, implications for provenance, tectonic setting and paleoenvironment, *Journal African Earth Science*, 53: 159-170.
- Hayashi, K.I.; Fujisawa, H.; Holland, H.D. and Ohmoto, H. (1997). Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61(19): 4115-4137.
- Kasper-Zubillaga, J.J.; Zolezzi-Ruiz, H.; Carranza- Edwards, A.; Grion-Garcia, P.; Oritz-Zarnora, G. and Palma, M. (2007). Sedimentological, modal analysis and geochemical studies of desert and coastal dune, Altar Desert, NW Mexico, *Earth surface process and Landforms*, 32: 489-508.
- Kasper-Zubillaga, J.J.; Dickinson, W.W.; Carranza-Edwards, A. and Hornelas-Orozco, Y. (2005). Petrography of quartz grains in beach and dune sands of North Island, New Zealand, *Geol Geophys*, 48: 649-660.
- McLennan, S.M. (1993). Weathering and global denudation, *Journal of Geology*, 101(2): 295-303.
- Negararesh, H. and Latifi, L. (2008). Geomorphological analysis of sand dune progress trend in recent drouths of Sistan plain, *Geography and Development*, 12: 43-60.
- Nesbitt, H. and Young, G. (1982). Early Proterozoic climates and plate motions inferred from mayor element chemistry of lutites, *Nature*, 299(5885): 715-717.
- Rao, W.; Chen, J.; Tan, H.; Jiang, S. and Su, J. (2011). Sr-Nd isotopic and REE geochemical constraints on the provenance of fine-grained sands in the Ordos deserts, north-central China, *Geomorphology*, 132(3): 123-138.
- Rooney, C.B. and Basu, A. (1994). Provenance analysis of muddy sandstones, *Journal of Sedimentary Research*, 64(1): 2-7.
- Roser, B.P. and Korsch, R.J. (1988). Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminate function analysis of major-element data, *Chemical Geology*, 67: 119-139.
- Roy, P.D.; Caballero, M.; Lozano, R. and Smykatz-Kloss, W. (2008). Geochemistry of late Quaternary sediments from Tecocomulco lake, central Mexico: Implication to chemical weathering and provenance, *Chem Erde*

- Geochem*, 68: 388-393.
- Saha, S.; Banerjee, S.; Burley, S.D.; Ghosh, A. and Saraswati, P.K. (2010). The influence of flood basaltic source terrains on the efficiency of tectonic setting discrimination diagrams: an example from the Gulf of Khambhat, western India, *Sedimentary Geology*, 228: 1-13.
- Shakiba Azad, A.; Jahani, D. and Lak, R. (2007). Sedimentology and sedimentary geochemistry of Oman continental shelf in Gatan area, West of Jask, *The 26th symposium on geosciences*, 9pp.
- Says, S.E. and Pye, K. (2006). Variations in chemical composition and particle size of dune sediments along the west coast of Jutland, Denmark, *Sedimentary Geology*, 183: 217-242.
- Yang, S.; Jung, H.S. and Li, C. (2004). Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: geochemical evidence from river sediments, *Sedimentary Geology*, 164(1): 19-34.

Archive of SID