

رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات سیلیسی آواری (ترشیری - کواترنری) سواحل خاوری چابهار، جنوب خاور سیستان و بلوچستان

محمد آفرین^۱، محمد بومری^۲، اسداله محبوبی^۳، محمدنبی کرکیج^۴ و محمدعلی حمزه^۵

^۱ کارشناسی ارشد، مرکز اقیانوس‌شناسی دریای عمان و اقیانوس هند (چابهار)، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۳ استاد، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۴ استادیار، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۵ دانشجوی دکترا، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ مرکز اقیانوس‌شناسی دریای عمان و اقیانوس هند (چابهار)، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷

چکیده

در این مطالعه، نهشته‌های گلشنی و ماسه‌سنگی سواحل خاوری چابهار مورد بررسی رسوب‌شناسی و ژئوشیمی قرار گرفته است. بر این اساس ۵۰ نمونه گلشنی و ماسه‌سنگ از ۵ برش تیس، رمین، لیبار، گورانکش و خورگریندر برداشت و مورد تجزیه دانه‌بندی و تجزیه شیمیایی به روش‌های XRF و ICP-AES قرار گرفت. جورشدگی و کج‌شدگی مثبت نمونه‌ها (فراوانی ذرات دانه‌ریز) بیانگر رسوب‌گذاری آنها در محیطی آرام و کم انرژی است. تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی عناصر اصلی ۱۰ نمونه از گلشنی‌ها و ماسه‌سنگ‌های سواحل خاوری چابهار به سن میوسن پسین - پلیستوسن واقع شده در پهنه مکران و رسم داده‌ها روی نمودارهای تقسیم‌بندی سنگ‌های آواری ترکیب ماسه‌سنگ‌ها را وکی و گلشنی‌ها را شیل نشان می‌دهد. افزون بر این، تعیین اثر هوازگی در ناحیه منشأ با استفاده از اندیس‌های دگرسانی شیمیایی (CIA) و هوازگی شیمیایی (CWI) میزان هوازگی این نهشته‌ها را در منطقه منشأ متوسط معرفی می‌کند. اندیس تنوع ترکیبی (ICV) نیز در رسوبات مورد مطالعه، به‌طور میانگین ۱/۵۷ و نشان‌دهنده این است که رسوبات دارای بلوغ شیمیایی متوسط هستند و از رسوبات چرخه اول رسوبی نتیجه شده‌اند. الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در نمودارهای عنکبوتی نشان از غنی‌شدگی این سنگ‌ها از عناصر خاکی کمیاب سبک (LRRE) نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (HRRE) دارد. بالا بودن نسبت‌های LILE/HFSE و LRRE/HRRE در نمونه‌ها و شباهت ترکیب شیمیایی آنها با سنگ‌های مناطق فرورانش نشان می‌دهد که سیلیسی - آواری‌های سواحل چابهار در منطقه فرورانش تشکیل شده‌اند. استفاده از نمودارهای متمایز کننده محیط زمین‌ساختی همراه با الگوی نمودارهای چندمتغیره نیز نشان‌دهنده این است که سنگ‌های مورد مطالعه در حاشیه فعال قاره (ACM) ایجاد شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: مکران، چابهار، رسوب‌شناسی، رسوبات سیلیسی - آواری، ژئوشیمی، عناصر خاکی کمیاب.

* نویسنده مسئول: محمد آفرین

E-mail: Afarin.m@inio.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

پهنه زمین‌ساختی مکران به دو بخش ساختاری بیرونی (ساحلی) و درونی (داخلی) تقسیم می‌شود (آقاباتی، ۱۳۸۵) که ناحیه مورد مطالعه در بخش ساحلی آن قرار دارد. مکران شامل کوه‌های خاوری - باختری است که از سواحل دریای عمان تا فروافتادگی جازموریان ادامه دارد. مرز باختری این کوه‌ها توسط خط عمان (گسل میناب) از پهنه برخوردی زاگرس جدا شده و در خاور پس از گذر از بلوچستان پاکستان تا محور لاس بلا (Las Bela) ادامه می‌یابد. به دلیل تداوم فرورانش در ناحیه مکران، گسل‌ها هنوز فعال هستند و زمین به بالا آمدن ادامه می‌دهد که این عمل با چین‌خوردگی، کوتاه‌شدگی و پسروی خط ساحلی همراه است (آقاباتی، ۱۳۸۵). گسل‌هایی که در سواحل مکران دیده می‌شوند از نوع عادی هستند و زمان پیدایش آنها کواترنر دانسته شده است. خطی بودن حاشیه شمالی پادگانه‌های دریایی و همچنین بالا آمدن سواحل مکران نتیجه عملکرد این گسل‌هاست و حرکت قائم این گسل‌ها سبب شده است تا پادگانه‌های دریایی در سطوح تراز گوناگون شکل گیرند (آقاباتی، ۱۳۸۵). در شمالی‌ترین بخش مکران، مجموعه‌ای از رسوبات پلاژیک به سن کرتاسه بالایی رخنمون دارند که با ردیف‌های فلیشی اتوسن پوشیده و یا در آمیخته‌اند. بخش میانی مکران با فلیش‌های الیگوسن، با چند ناپیوستگی موازی درون سازندگی و یک ناپیوستگی زاویه‌ای در بالا، پوشیده شده است. رسوبات میوسن، به‌ویژه پلیوسن، بیشتر رخساره آواری داشته که بخش میانی تا ساحل دریای مکران را زیر پوشش دارند. جوان‌ترین رسوبات مکران، ماسه‌سنگ‌های سست و کم سیمان به سن پلیو - پلیستوسن است که به‌ویژه در نواحی ساحلی با پادگانه‌های

دریایی کواترنری پوشیده شده‌اند. به دلیل شرایط حاکم بر پهنه فرورانش، واحدهای زمین‌ساختی - چینه‌شناسی منطقه گاه نظم چینه‌ای ندارند. نهشته‌های ترشیری - کواترنری مکران ساحلی، بیرون‌زدگی‌های وسیعی در سطح منطقه چابهار دارند که از مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرای دانه‌ریز تشکیل شده‌اند (جعفریان و صمدیان، ۱۳۷۵). بررسی‌های انجام شده روی بخش مارنی این نهشته‌ها، مانند کلسی‌متری و تجزیه‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که مقدار آهک این واحدهای سنگی پایین و بین مقادیر ۹ تا ۲۸ درصد در تغییر است (آفرین و همکاران، ۱۳۹۰ الف). بنابراین، به علت پایین بودن میزان آهک نهشته‌های مارنی منطقه چابهار، استفاده از اصطلاح مارن برای این سنگ‌ها از دید تقسیم‌بندی زمین‌شناسی درست نیست و بهتر است به آنها گلشنی یا گلشنی آهکی گفته شود. احاراری رودی و همکاران (۱۳۸۵) با مطالعه و شناسایی جنس‌های مختلفی از روزن‌بران کف‌زی و پلاژیک موجود در گلشنی‌های خاور چابهار واقع در مکران ساحلی، سن این رسوبات را میوسن پسین معرفی کرده‌اند.

۲- موقعیت جغرافیایی

منطقه مورد مطالعه، در جنوب خاور ایران و جنوب استان سیستان و بلوچستان در متبئی‌الیه جنوب پهنه مکران ساحلی با مختصات جغرافیایی ۳۷° تا ۶۰° ۵۰' طول خاوری و ۲۲° تا ۲۵° ۱۴' عرض شمالی واقع شده که بخشی از محدوده شهرستان چابهار را در بر می‌گیرد. این منطقه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش

بیانگر ریزدانه بودن ذرات در حد ماسه سیلتی تا سیلت ماسه‌ای برای رسوبات برش‌های تیس، رمین و لیپار است.

۴-۳. پارامترهای آماری

برای بررسی بهتر و دقیق‌تر نمونه‌ها از دید اینکه کدامیک دارای جورشدگی بهتری است و یا اینکه ذرات دانه‌ریز و یا دانه‌درشت در کدام نمونه فراوان‌تر است، پارامترهای جورشدگی (Sorting)، کج‌شدگی (Skewness) و کشیدگی (Kurtosis) برای رسوبات مورد مطالعه به وسیله فرمول‌های ارائه شده توسط Folk (1980) محاسبه (جدول ۲) و ارزیابی شد. جورشدگی رسوبات مورد مطالعه میان ۲/۰۶ تا ۲/۶ متغیر و از نوع بسیار ضعیف و نشان‌دهنده این است که ذرات در اندازه‌های مختلفی از ماسه، سیلت و رس وجود دارند. این رسوبات کج‌شدگی مثبت و مواد دانه‌ریز فراوان دارند و از دید کشیدگی مزوکورتیک تا پلیتی کورتیک هستند که نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در یک محیط آرام و کم‌انرژی است.

۵- ژئوشیمی

اکسیدهای اصلی تجزیه شده در ۱۰ نمونه از گل‌سنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های میوسن-پسین-پلیستوسن منطقه چابهار در جدول ۳ ارائه شده است. فراوان‌ترین تشکیل‌دهنده‌های سنگ‌های یادشده عبارتند از SiO_2 (۵۶/۳۶)، Al_2O_3 (۱۳/۱۱)، CaO (۶/۸۲) و Fe_2O_3 (۵/۲۱) که در مجموع ۸۱/۵ درصد وزنی آنها را تشکیل می‌دهند. MgO (۳/۴۷)، K_2O (۲/۲۵) و Na_2O (۱/۶۶) در مرتبه دوم قرار دارند و مجموع آنها ۷/۳۸ درصد است. مقادیر تشکیل‌دهنده‌های TiO_2 و P_2O_5 ، MnO ناچیز و مقدار کل آنها ۰/۹ درصد است. عناصر خاکی کیمیا از مفیدترین عناصر کیمیا هستند و مطالعه آنها، کاربردهای فراوانی در سنگ‌شناسی آذرین، رسوبی و دگرگونی دارد. این عناصر، جزو عناصر با کمترین قابلیت انحلال هستند و در طی فرایندهای هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی گرمایی، به نسبت غیرمتحرک هستند (Rollinson, 1993). عناصر فرعی و خاکی کیمیا تجزیه شده در ۱۰ نمونه از ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های منطقه چابهار بر حسب ppm در جدول ۴ ارائه شده است. نمودارهایی که برای عناصر کیمیا کاربرد زیادی دارند، نمودارهای چندمتغیره یا عنکبوتی هستند. در این نمودارها معمولاً از داده‌های گویشت و کندریت برای بهنجارسازی استفاده می‌شود که در واقع سنجشی برای انحراف از ترکیب اولیه سنگ منشأ است.

۶- بحث

۶-۱. نمودارهای تغییرات هارکر

با توجه به اینکه Al_2O_3 در طی هوازدگی، دیاژنز و متامورفیسم به نسبت بدون تغییر است، معمولاً به عنوان عاملی مناسب برای مقایسه میان سنگ‌های مختلف به کار می‌رود (Cardenas et al., 1996). بنابراین، به منظور بررسی وضعیت ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کیمیا در ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های منطقه چابهار، از نمودارهای فراوانی اکسیدهای عناصر اصلی در برابر Al_2O_3 استفاده شده است (Harker, 1909) (شکل ۵). روندهای تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی و کیمیا در برابر Al_2O_3 (شکل ۵) بیانگر آن است که سنگ‌های مورد بررسی را می‌توان در دو گروه سنگی کلی جای داد که عبارتند از (۱) ماسه‌سنگ؛ (۲) گل‌سنگ. در نمونه‌های ماسه‌سنگی (L-1، R-2، R-6، T-3)، مقادیر اکسیدهای سیلیسیم (SiO_2) و آلومینیم (Al_2O_3) به ترتیب میان ۵۷/۹۹ تا ۵۹/۷۲ و ۹/۷۷ تا ۱۰/۷۹ درصد وزنی در تغییر است. در نمونه‌های گل‌سنگی (Kh-5، Kh-6، T-5، Gh-1، Gh-6 و Gh-12)، مقادیر اکسیدهای سیلیسیم (SiO_2) و آلومینیم (Al_2O_3) نیز به ترتیب میان ۵۳/۸۹ تا ۵۵/۱۳ و ۱۴/۳۶ تا ۱۵/۱۷ درصد وزنی در تغییر است. محدوده تغییرات اکسید سیلیسیم (SiO_2) در نمونه‌ها به‌طور تقریبی از ۵۳/۸۹ تا ۵۹/۷۲ درصد وزنی است. این اکسید روند

چابهار (جعفریان و صمدیان، ۱۳۷۵) واقع شده و جنوبی‌ترین بیرون‌زدگی‌های ساحلی را از پهنه ساختاری رسوبی مکران شامل می‌شود. واحدهای سنگی که در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند در مجموع از گل‌سنگ، ماسه‌سنگ و کنگلومرای دانه ریز تشکیل شده که دارای تنوع سنگ‌شناسی کم ولی تغییرات رخساره‌ای شدید هستند. زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است (جعفریان و صمدیان، ۱۳۷۵).

۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی ویژگی‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات سیلیسی-آواری منطقه ساحلی چابهار، با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ منطقه (جعفریان و صمدیان، ۱۳۷۵)، پنج برش چینه‌شناسی به نام‌های تیس، رمین، لیپار، گورانکش و خورگریندر انتخاب و ۵۰ نمونه از آنها برداشت شد. آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌ها شامل دانه‌بندی، ICP و XRF است. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری قطر دانه‌ها (ذرات بزرگ در حد پیل توسط کولیس، ذرات ماسه به وسیله الک کردن و مقاطع نازک میکروسکوپی و ذرات در حد سیلت و رس به وسیله پیپت، هیدرومتری و لیزری) وجود دارد (موسوی حرمی، ۱۳۸۵) که در این پژوهش ذرات ماسه به روش الک مرطوب و ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون (سیلت و رس) به روش لیزری و توسط دستگاه Laser Particle Sizer 22 موجود در مرکز ملی اقیانوس‌شناسی چابهار مورد دانه‌سنجی قرار گرفتند (Siir et al., 2005). همچنین برای بررسی‌های ژئوشیمیایی، ۲۰ نمونه از واحدهای سنگی مختلف انتخاب، توسط آسیاب آگاتی موجود در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان پودر و برای تجزیه به آزمایشگاه ژئوشیمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور فرستاده شد. در این آزمایشگاه ۱۰ نمونه توسط دستگاه XRF مدل MAGIX-PRO و ۱۰ نمونه دیگر توسط دستگاه ICP مدل VARIAN735-AES به ترتیب مورد تجزیه عناصر اصلی، فرعی و خاکی کیمیا قرار گرفتند. نتایج به دست آمده در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.

۴- رسوب‌شناسی

۴-۱. دانه‌سنجی

نتایج آزمایش دانه‌سنجی رسوبات مورد مطالعه به‌صورت منحنی توزیع دانه‌بندی رسم شد و پس از تعیین درصد اندازه دانه‌ها، مشخص شد که محدوده اندازه ذرات در نمونه‌ها بین رس تا ماسه است. به‌طوری که میزان رس در نمونه‌ها میان ۳/۶ تا ۱۴ درصد و میزان سیلت آنها میان ۱۵/۵ تا ۶۴/۲ درصد است. درصد ماسه نیز میان ۲۷ تا ۸۱/۴ درصد متغیر است (جدول ۱). همان‌طور که مشخص است بیشتر ذرات تشکیل‌دهنده رسوبات مورد مطالعه، اندازه‌هایی در حد ماسه سیلتی تا سیلت ماسه‌ای دارند. با توجه به اندازه دانه‌ها در نمونه‌ها، رسوبات مربوط به برش‌های تیس، رمین و لیپار از سواحل چابهار در گروه ریزدانه بیشتر ماسه سیلتی قرار می‌گیرند. شکل ۲ که میانگین توزیع اندازه ذرات در نمونه‌ها را نشان می‌دهد به خوبی مؤید این موضوع است. مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی نیز نشان داد که نمونه‌های مورد مطالعه در برش‌های گورانکش (Gh-2 و Gh-8) و خورگریندر (Kh-5 و Kh-10) دارای بافت گل‌سنگی هستند (شکل ۳). در این نمونه‌ها ذرات ریز کوارتز در زمینه‌ای از گل و ذرات اکسید آهن قابل تشخیص هستند و در برخی از مقاطع فسیل‌هایی با دیواره روشن هیالین نیز وجود دارد که شناسایی دقیق آنها به وسیله مقاطع نازک مشکل است.

۴-۲. نام‌گذاری رسوبات بر پایه اندازه دانه‌ها

برای نام‌گذاری رسوبات مورد مطالعه از روش مثلث نام‌گذاری رسوبات آواری دانه‌ریز (Folk, 1980) استفاده شده است (شکل ۴). موقعیت نمونه‌ها در این مثلث

فرورانش تشکیل می‌شوند، احتمال منتج شدن سنگ‌های منطقه از سنگ‌های یک محیط فرورانشی تقویت می‌شود. زیرا عناصر با شعاع یونی بزرگ به دلیل داشتن پتانسیل یونی پایین در فشار و دمای بالا به آسانی در سیال‌های آب‌دار حل می‌شوند و انتقال می‌یابند (Green & Pearson, 1986; Tatsumi & Eggins, 1995). در صورتی که میزان انحلال پذیری عناصر (HFSE) در سیال‌های آب‌دار پایین است (Tatsumi et al., 1986)، این امر سبب می‌شود که در هنگام ذوب بخشی یا از دست دادن آب پوسته اقیانوسی فرورونده، گوه‌گوشته بر اثر متاسوماتیسم سیال‌های آب‌دار از عناصر (LILE) نسبت به (HFSE) غنی شود (Green, 2006). بنابراین با توجه به الگوی پراکندگی نمودارهای عنکبوتی عناصر فرعی و خاکی کمیاب برای نمونه‌های مورد مطالعه که نشان‌دهنده غنی‌شدگی عناصر Ce, La, Th, Rb و Nd نسبت به Yb, Y, Sm, Zr, Hf, Ta, Nb است، می‌توان نتیجه گرفت که رسوبات سیلیسی-آواری (ماسه‌سنگ‌ها و گلسنگ‌ها) سواحل چابهار از سنگ‌های اولترابازیک شمال مکران که ماهیت آتشفشانی دارند منشأ گرفته‌اند. از سوی دیگر تداوم فرایند فرورانش در مکران نیز گواهی دیگر بر غنی‌شدگی عناصر Ce, La, Th, Rb و Nd و تهی‌شدگی عناصر Yb, Y, Sm, Zr, Hf, Ta, Nb و HFSE بوده که از ویژگی‌های آشکار محیط‌های فرورانش است.

۴-۳. تقسیم‌بندی ژئوشیمیایی

استفاده از ژئوشیمی و تجزیه‌های عناصر اصلی توسط دستگاه XRF، نیز می‌تواند افزون بر روش‌های سنگ‌نگاری و تجزیه مودال در رده‌بندی سنگ‌های رسوبی و همچنین جدایش میان رسوبات بالغ و نابالغ، مؤثر واقع شود (Das et al., 2006). رسم داده‌های حاصل از تجزیه‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی مربوط به گلسنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های سواحل خاوری چابهار روی نمودار (Herron 1988) انجام شده است. (Pettijohn et al., 1972) با استفاده از نمایه بلوغ شیمیایی و نسبت $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ یک رده‌بندی برای ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد کردند که با رسم $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در برابر $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ صورت می‌گیرد. اصلاح شده این نمودار توسط (Herron 1988)، در شکل ۸ نشان داده شده است. وی به جای $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در محور یها از $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ استفاده کرد. شیل که در نمودار (Pettijohn et al., 1972) منظور نشده بود در این نمودار بر پایه نسبت‌های خیلی پایین $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ مشخص می‌شود. با توجه به این نمودار گلسنگ‌های مورد مطالعه، ترکیب شیل و ماسه‌سنگ، ترکیب و کی (Wacky) را نشان می‌دهند. البته باید یادآور شد که شیل لایه‌لایه است و مقادیر بالایی از مواد آلی نیز در ترکیب خود دارد، ولی در گلسنگ‌های مورد مطالعه که در محدوده شیل نمودار (Herron 1988) واقع شده‌اند هیچ گونه حالت لایه‌ای با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی وجود ندارد و کاملاً به صورت گلسنگ‌های توده‌ای در صحرا دیده می‌شوند. حال اینکه چرا گلسنگ‌ها در محدوده شیل قرار گرفته‌اند، می‌تواند به دلیل ترکیب شیمیایی تقریباً یکسان این سنگ‌ها و رسوبات باشد.

۴-۴. تفسیر هوازدهی ناحیه منشأ

از تحرک عناصر اصلی در طی هوازدهی، حمل و نقل و فرایندهای پس از رسوب‌گذاری، می‌توان برای تعیین بلوغ شیمیایی رسوبات استفاده کرد (McLennan, 1993; McLennan et al., 1993). مقادیر پایین Na_2O در نمونه‌ها نشان‌دهنده رسیدگی رسوبی بالای این سنگ‌هاست. همچنین نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ نیز یک اندیس مورد استفاده برای تعیین رسیدگی رسوبی است (Potter, 1978). نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ بیشتر از ۵ تا ۶ در سنگ‌های رسوبی، نشان‌دهنده رسیدگی رسوبی بالاست (Roser et al., 1996). نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در نمونه‌ها میان ۳/۵۵ و ۶/۰۹ متغیر و میانگین آن ۴/۴۱ است. این اعداد نشان‌دهنده رسیدگی رسوبی متوسط به بالا در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه هستند. برای تعیین رسوبات چرخه اول رسوبی یا رسوبات حاصل از چرخه دوم می‌توان از اندیس تنوع ترکیبی (ICV) استفاده کرد (Cox et al., 1995) که از رابطه زیر به دست می‌آید:

کاهشی را در برابر افزایش Al_2O_3 به نمایش می‌گذارد. دامنه تغییرات اکسیدهای MgO ، Fe_2O_3 و K_2O به ترتیب برابر با ۳/۶۷ تا ۶/۴۹، ۲/۹۸ تا ۴/۰۷ و ۱/۵۵ تا ۲/۸۶ درصد وزنی و فراوانی آنها با افزایش Al_2O_3 به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. اکسیدهای CaO و Na_2O به ترتیب دارای مقادیر ۵/۰۷ تا ۱۰/۵۷ و ۱/۲۶ تا ۲/۰۷ هستند. این دو اکسید همراه با پراکندگی‌های مشخصی روندی منفی با افزایش Al_2O_3 نشان می‌دهند. میانگین فراوانی اکسیدهای TiO_2 ، P_2O_5 و MnO بسیار ناچیز و به ترتیب برابر با ۰/۶۵ تا ۰/۱۸ و ۰/۰۷ درصد است (جدول ۳). مقادیر بالای Fe_2O_3 و MgO موجود در نمونه‌ها، نشان‌دهنده فراوانی کانی‌رسی کلریت و Al_2O_3 نیز نشان‌دهنده وجود کانی‌های سریست و مسکوویت در ترکیب این سنگ‌هاست (آفرین و همکاران، ۱۳۹۰). زیرا این عناصر و به‌ویژه آلومینیم به‌طور خاص در آلومینوسیلیکات‌ها حضور دارند. مقادیر بالای CaO در نمونه‌ها می‌تواند به دلیل حضور قطعات اسکلتی دوکفه‌ای‌هایی مانند اویستر و پکتن که جنس صدف آنها از کربنات کلسیم است، باشد. همچنین روندهای تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در برابر Al_2O_3 (شکل ۵) نشان می‌دهد که با افزایش این اکسید، مقادیر K_2O ، TiO_2 ، P_2O_5 ، Fe_2O_3 ، MgO ، Ni ، Y ، Zr ، La ، Rb و Br افزایش می‌یابد و در برابر، مقادیر SiO_2 ، CaO ، Na_2O و Sr کاهش می‌یابند. این تغییرات با روند کلی فرایند تفریق ماگمایی سازگار است. بنابراین، این کاهش‌ها و افزایش‌ها از کاهش مقادیر کانی‌های مافیک مانند بیوتیت، آپاتیت و مگنتیت و افزایش کانی‌های روشن همچون پلاژیوکلازهای سدیک‌تر مانند الیگوکلاز، آلپیت، کوارتز و ارتوز ناشی می‌شود.

۴-۲. نمودارهای تغییرات عنکبوتی

در شکل ۶ نمودار عنکبوتی بهنجار شده با گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) نشان داده شده است. با توجه به این شکل ماسه‌سنگ‌ها و گلسنگ‌های مورد مطالعه از عناصر Nb ، Sr و Dy تهی‌شدگی نشان می‌دهند، این امر از ویژگی‌های آشکار ماگماهای تشکیل شده در پهنه‌های فرورانش است. در این نمودار به روشی بی‌هنجاری منفی عناصر Ti ، Ta ، Sr ، Ba ، Nb و P که خاص مناطق جزایر کمانی است دیده می‌شود. از سوی دیگر در این شکل، عناصر سنگ‌دوست بزرگ یون ($\text{LILE} = \text{Rb}$ ، Th) و عناصر با قدرت میدان بالا (La ، Ce ، $\text{LREE} = \text{Nd}$) نسبت به Y ، Yb ، Sm ، Zr ، Hf و Ta غنی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی این عناصر از ویژگی‌های آشکار محیط‌های فرورانشی است. به عبارت دیگر عناصر کمیاب دارای نقاط بیشینه و کمینه‌ای هستند که اختلاف آنها زیاد و نشانگر محیط‌های در ارتباط با فرورانش است (Winchester & Floyd, 1977). بی‌هنجاری منفی عناصر Ti ، Nb و Ta در نمودارهای عنکبوتی نشان‌دهنده سنگ‌های مرتبط با کمان‌های آتشفشانی است که در اثر عملکرد سیال‌های ناشی از فرورانش به وجود می‌آیند (Peng et al., 2007; Xia et al., 2010). همچنین این سنگ‌ها از عناصر ناسازگار Rb ، Th ، U و Pb غنی‌شدگی نشان می‌دهند. این ویژگی می‌تواند به دلیل تفریق ماگمایی و تا حدودی آلیش ماگمایی باشد.

نمودار عنکبوتی عناصر خاکی کمیاب (REE) بهنجار شده با کندریت (Nakamura, 1974) سنگ‌های مورد بررسی در شکل ۷ نشان داده شده است. گلسنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌ها رفتار بسیار همسانی نشان می‌دهند، این سنگ‌ها به مقدار کم از عناصر Nd ، Pr ، Ce ، La و Sm غنی شده‌اند. همچنین شکل ۷ غنی‌شدگی بسیار آشکار این سنگ‌ها را از عناصر خاکی کمیاب سبک به‌ویژه La ، Ce ، Pr ، Yb و Nd نشان می‌دهد، این غنی‌شدگی با فراوانی فلدسپارهای قلیایی مانند ارتوز موجود در این سنگ‌ها در ارتباط است. افزون بر این سنگ‌ها از Eu نیز تا حدودی تهی‌شدگی نشان می‌دهند، که با تفریق‌یافتگی متوسط و کاهش مقدار پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها سازگار است. بنابراین، با توجه به بالا بودن نسبت‌های LILE/HFSE و LREE/HREE در نمونه‌ها و همسانی آنها با ترکیب سنگ‌هایی که در مناطق

۶-۵. تفسیر جایگاه زمین‌ساختی

به منظور تعیین جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های میوسن-پسین- پلیستوسن منطقه چابهار که در پهنه مکران ساحلی گسترش دارند، از داده‌های عناصر فرعی و کمیاب استفاده شده است. بر پایه رسم جفت عناصر Ti/Zr در برابر La/Sc که در شکل ۹ نشان داده شده است، جایگاه زمین‌ساختی گل‌سنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های منطقه چابهار واقع در مکران ساحلی حاشیه فعال قاره (ACM) مشخص شد. همچنین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های یادشده توسط نمودارهای (Schandl & Gorton, 2002) بر پایه عناصر فرعی در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. بر پایه این نمودار همه نمونه‌های مورد مطالعه که ترکیب ماسه‌سنگی (گری‌واک) و گل‌سنگ دارند در محدوده حاشیه فعال قاره (ACM) قرار گرفته‌اند. قابل توجه است که جایگاه زمین‌ساختی حاشیه قاره‌ای فعال (Active Continental Margin) برای گل‌سنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های منطقه ساحلی چابهار، بر پایه داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی با استفاده از نمودارهای دوتایی (Bhatia, 1983; Roser & Korsch, 1986; Gu et al., 2002) نیز تأیید می‌شود (آفرین، ۱۳۹۱) که با فرورانش پهنه مکران قابل انطباق است. زیرا به دلیل تداوم فرایند فرورانش در مکران، گسل‌های منطقه هنوز فعال هستند و زمین به بالا آمدن ادامه می‌دهد که این عمل با چین‌خوردگی، کوتاه‌شدگی و پسروی خط ساحلی همراه است (آقنابتی، ۱۳۸۵).

۷- نتیجه‌گیری

نهشته‌های سیلیسی- آواری دانه‌ریز (ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌ها) سواحل خاوری چابهار در برش‌های تیس، رمین، لیپار، گورانش و خورگریندر از دید ویژگی‌های رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی دارای بافت ماسه سیلیتی و گل‌سنگی، جورشدگی بسیار ضعیف، کج‌شدگی مثبت و مواد ریز فراوان و از دید کشیدگی مزوکورتیک تا پلیتی‌کورتیک هستند که در محیطی آرام و کم انرژی نهشته شده‌اند. شواهد ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که نسبت SiO_2/Al_2O_3 در این سنگ‌ها میان ۳/۵۵ و ۶/۰۹ متغیر و میانگین آن ۴/۴۱ است که نشان‌دهنده بلوغ شیمیایی متوسط برای سنگ‌های مورد مطالعه است. ضریب متوسط اندیس‌های هوازدهی CIA، CIW و CWF نیز نشان‌دهنده این است که رسوبات سیلیسی- آواری (ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های) سواحل خاوری چابهار از دید درجه هوازدهی روی سنگ‌های ناحیه منشأ این رسوبات در مرحله متوسط قرار دارند. جایگاه زمین‌ساختی نهشته‌های مورد مطالعه بر پایه تفسیر داده‌های ژئوشیمی عناصر فرعی و خاکی کمیاب حاشیه فعال قاره (Active Continental Margin) مشخص شد. همچنین غنی‌شدگی عناصر خاکی کمیاب سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین (HREE) و بی‌هنجاری منفی عناصر تیتانیم، تانتالیم، استرانسیم، باریم و نیوبیم در گل‌سنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های منطقه چابهار که از ویژگی‌های آشکار سنگ‌های مناطق فرورانش است و در اثر عملکرد سیال‌های ناشی از فرورانش به وجود می‌آید، نشان‌دهنده این است که سنگ‌های مورد مطالعه در یک پهنه زمین‌ساختی فعال و در حاشیه فعال قاره (ACM) گسترش یافته‌اند.

سپاسگزاری

از جناب آقای پروفسور سید رضا موسوی حرمی و سرکار خانم دکتر راضیه لک برای معرفی موضوع مورد پژوهش، حمایت‌ها و راهنمودهای ارزنده و از داوران محترم که با نظرات سازنده خویش به بالا بردن سطح علمی این مقاله کمک کرده‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

$$ICV = [(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3] \quad (۱)$$

نمونه‌های که ICV بالاتر از ۱ دارند، به احتمال زیاد رسوبات چرخه اول هستند و آنهایی که ICV کمتر از ۱ دارند، ممکن است رسوبات چرخه دوم یا رسوبات به شدت هوازده از چرخه اول رسوبی باشند (Cullers & Podkovyrov, 2002). مقادیر محاسبه شده اندیس تنوع ترکیبی در ماسه‌سنگ‌ها میان ۱/۷۱ تا ۲/۲۳ و در گل‌سنگ‌ها میان ۱/۳۱ تا ۱/۴۲ متغیر و میانگین آن در نمونه‌های ماسه‌سنگی و گل‌سنگی به ترتیب ۱/۸۵ و ۱/۳۱ است. بر این اساس، می‌توان گفت که ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های سواحل خاوری چابهار دارای بلوغ شیمیایی متوسط هستند و از رسوبات چرخه اول رسوبی نتیجه شده‌اند. تاریخچه هوازدهی سنگ‌های آواری را بیشتر توسط محاسبه نسبت اکسیدهای متحرک CaO ، Na_2O و K_2O نسبت به اکسید غیر متحرک Al_2O_3 برآورد می‌کنند (Nesbitt & Young, 1982). اندیسی که در این رابطه بیشترین استفاده را دارد، اندیس شیمیایی دگرسانی است (Nesbitt & Young, 1982). این اندیس از رابطه زیر به دست می‌آید و اکسیدها در آن به صورت نسبت مولی بیان می‌شوند:

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100 \quad (۲)$$

CaO ، کلسیم حاضر در اجزای سیلیکاتی سنگ است و در نمونه‌های که CaO بالای آنها مربوط به سیمان‌های دیاژنری است، این میزان باید درست شود. محدوده CIA ممکن است پایین، متوسط و بالا باشد که این محدوده تغییرات CIA از ۵۰ تا ۱۰۰ متغیر است. افزایش مقدار CIA از پایین به بالا با درجه دگرسانی شیمیایی مرتبط است. CIA پایین نشان‌دهنده این است که دگرسانی وجود نداشته یا خیلی پایین بوده است و بازتابی از شرایط اقلیمی سرد و خشک است؛ در حالی که CIA متوسط و بالا با انتقال کاتیون‌های متحرک مانند K^+ ، Na^+ و Ca^{2+} و باقی ماندن تشکیل‌دهنده‌های Al^{3+} و Ti^{4+} با تحرک کمتر مرتبط است (Nesbitt & Young, 1982). به منظور تعیین دقیق میزان CIA و حذف CaO حاصل از سیمان‌های کربناتی، نمونه‌های با CaO بالاتر از ۵ درصد در نظر گرفته نمی‌شوند (Nesbitt, 2003; Garcia et al., 2006). میزان CIA محاسبه شده برای ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه ۴۰ تا ۵۰ و برای گل‌سنگ‌ها ۵۸ تا ۶۲ است و به طور میانگین در نمونه‌های ماسه‌سنگی و گل‌سنگی به ترتیب ۴۶/۵ و ۵۹/۸ است. CIA بالاتر نمونه‌های گل‌سنگی نسبت به ماسه‌سنگ‌ها نشان‌دهنده تمرکز بیشتر محصول‌های هوازدهی به صورت کانی‌های رسی در گل‌سنگ‌ها است (Paikaray et al., 2008).

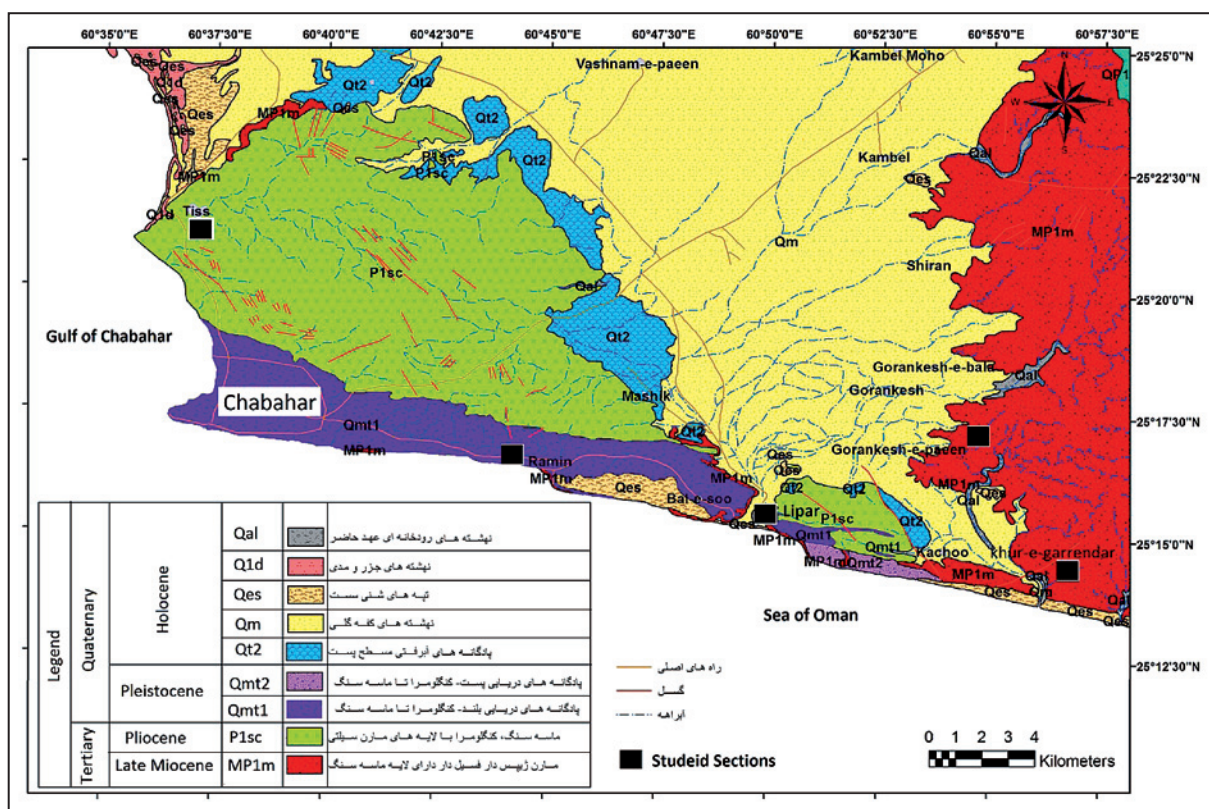
اندیس هوازدهی شیمیایی (CIW) (Harnois, 1988) نیز برای تعیین درجه هوازدهی سنگ منشأ کاربرد گسترده‌ای دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] \times 100 \quad (۳)$$

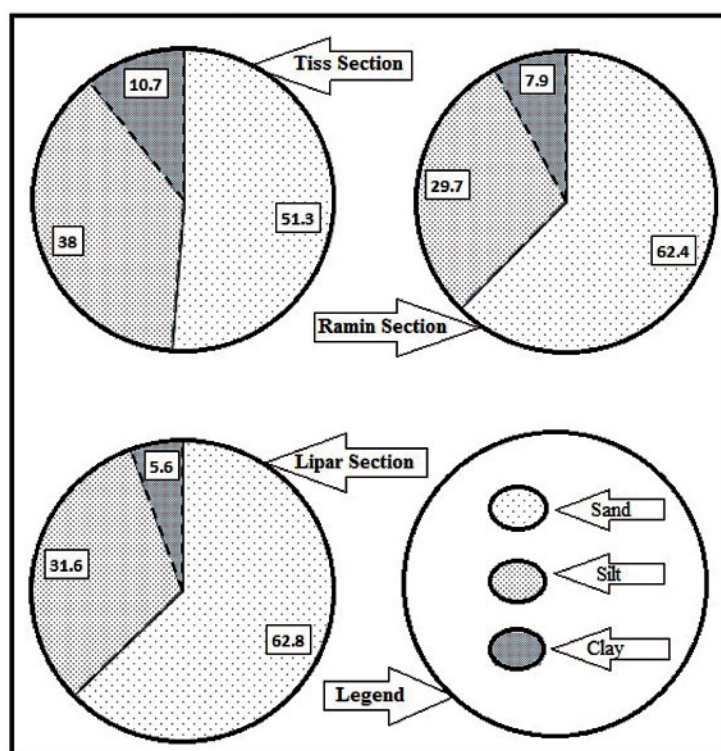
میانگین این اندیس برای ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های ناحیه چابهار به ترتیب برابر با ۵۰/۸ و ۶۷/۳ است. گاه استفاده از اندیس‌های CIA و CIW در نمونه‌هایی که میزان CaO تغییرات زیادی نشان می‌دهد، نتایج جالب توجهی ارائه نمی‌کند (Cullers, 2000). بنابراین، در این راستا (Cullers, 2000) اندیس هوازدهی دیگری برای ماسه‌سنگ‌های با میزان CaO بالا و متغیر ارائه کرد. این اندیس به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CWT = [(Al_2O_3 / Al_2O_3 + Na_2O)] \times 100 \quad (۴)$$

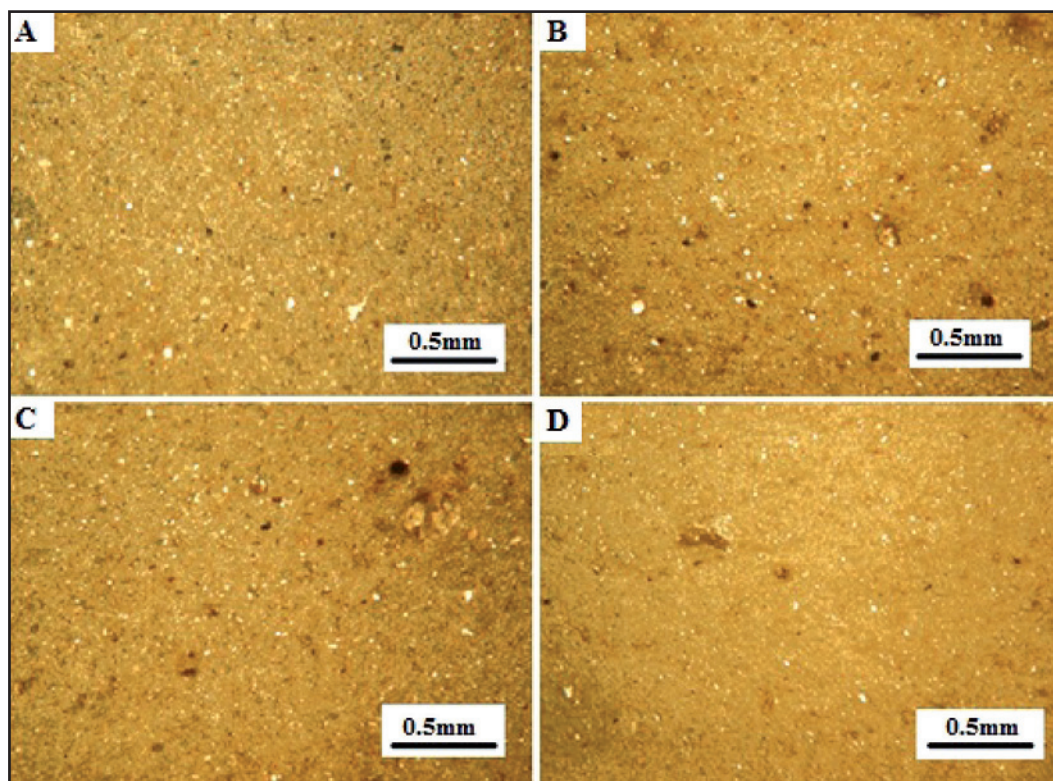
که در این فرمول نیز اکسیدها به صورت نسبت ملکولی در نظر گرفته می‌شوند. میانگین این اندیس در نمونه‌های ماسه‌سنگی و گل‌سنگی مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۸۵/۳ و ۹۰/۵ است که این اعداد میزان هوازدهی متوسط را برای این نمونه‌ها پیشنهاد می‌کند.



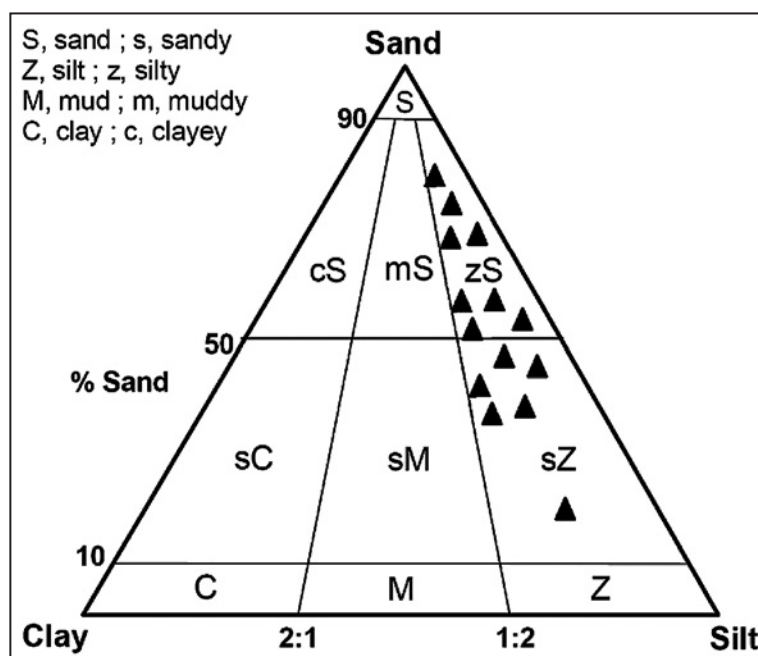
شکل ۱- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چابهار (برگرفته از جعفریان و صمدیان، ۱۳۷۵) که ناحیه مورد مطالعه در آن قرار گرفته است.



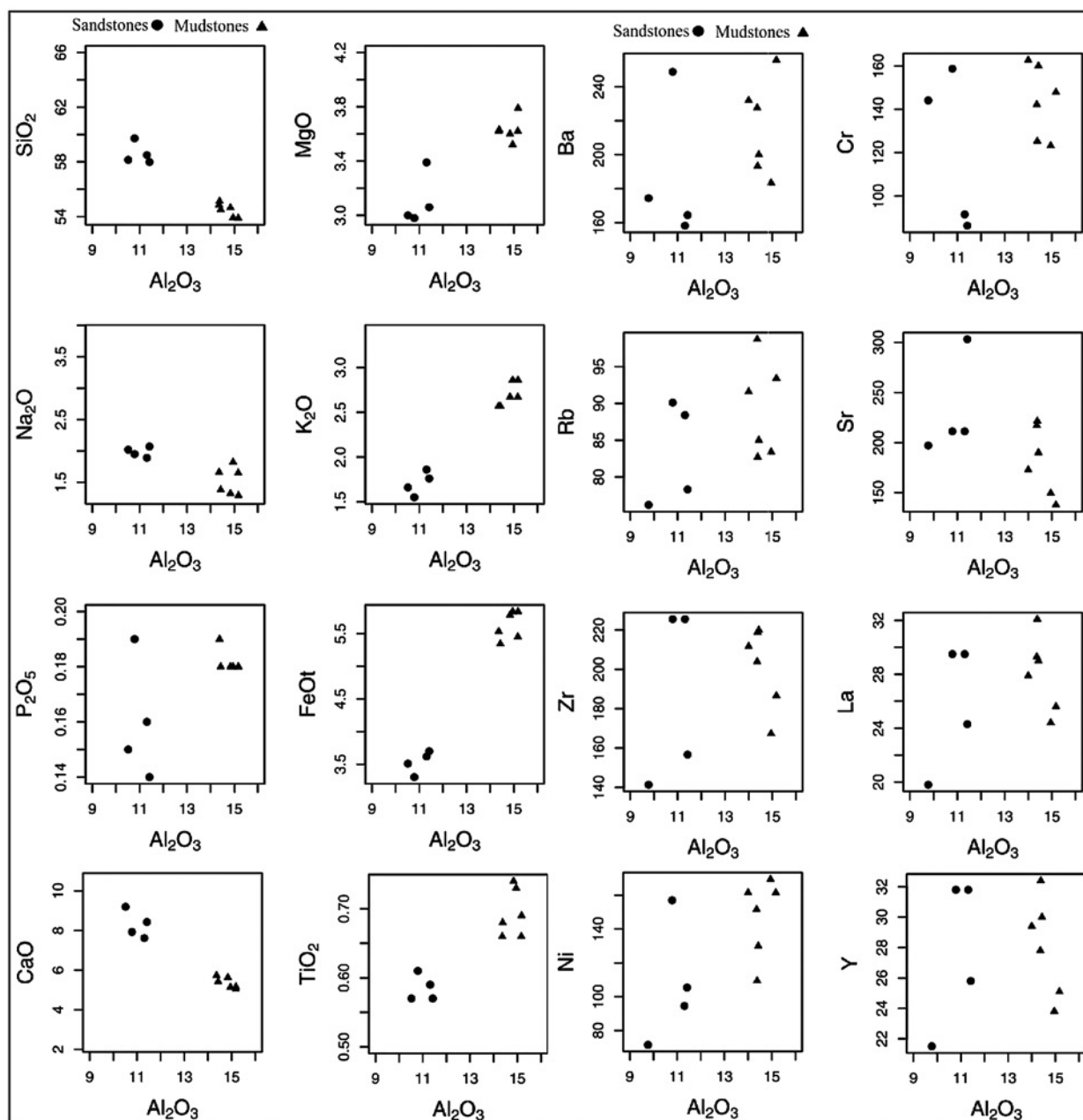
شکل ۲- درصد فراوانی ذرات تشکیل دهنده رسوبات مورد مطالعه در برش های تیس، رمین و لیپار.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های مورد مطالعه که نشان‌دهنده بافت گل‌سنگی (ذرات کوارتز ریزبلورین در زمینه‌ای از گل) نمونه‌هاست. A و B) برش گورانش، نمونه‌های شماره Gh-2 و Gh-8؛ C و D) برش خورگریندر، نمونه‌های شماره Kh-5 و Kh-10.

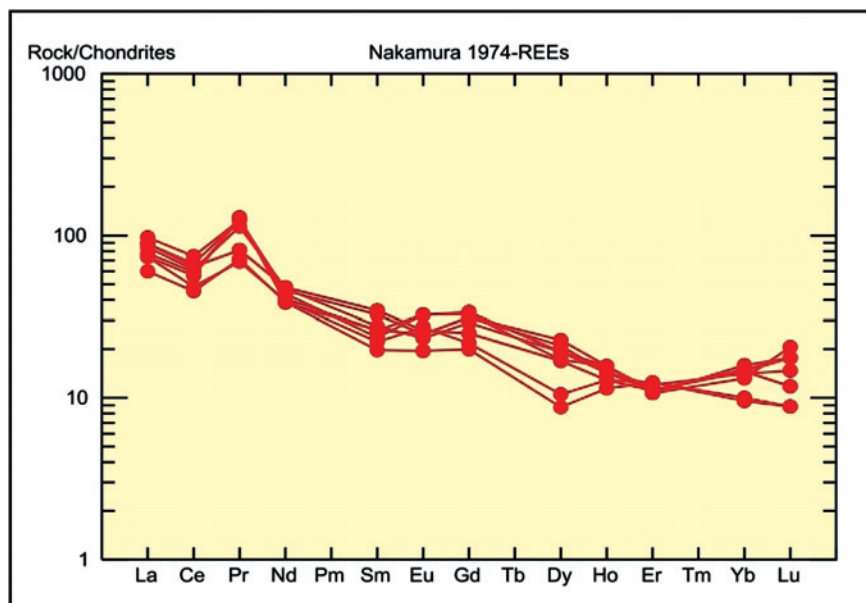
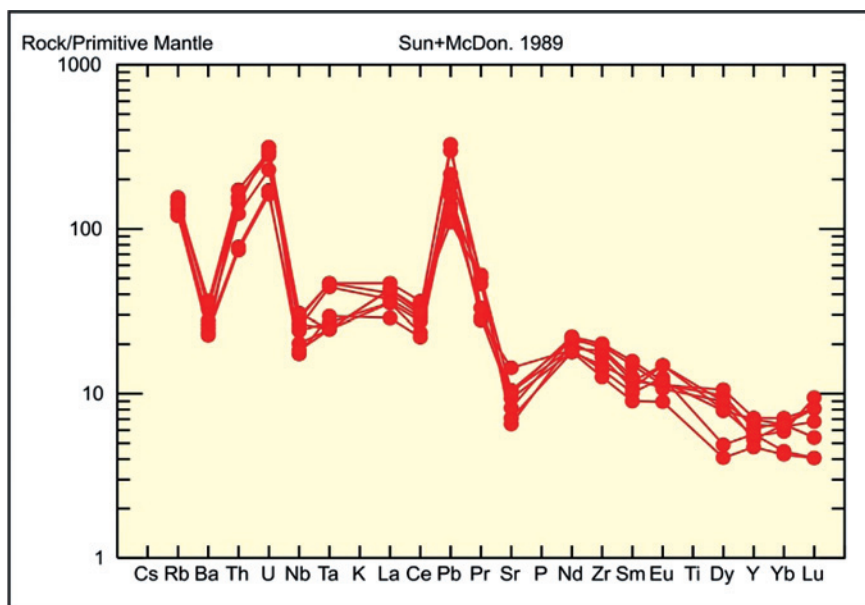


شکل ۴- موقعیت نمونه‌ها در مثلث رده‌بندی رسوبات و سنگ‌های آواری دانه‌ریز (برگرفته از Folk, 1980).



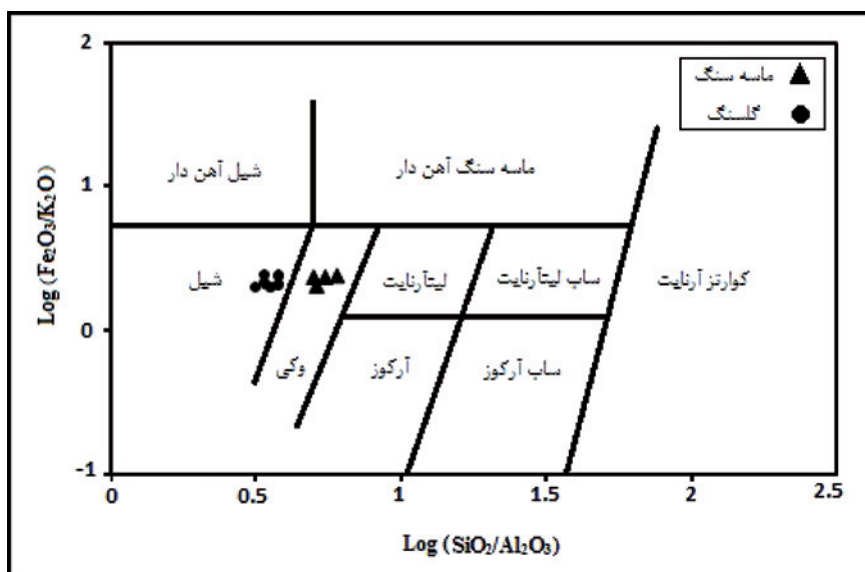
شکل ۵- نمودارهای تغییرات برخی از اکسیدهای عناصر اصلی و فرعی در برابر درصد وزنی Al_2O_3 .

شکل ۶- نمودار غنکبوتی عناصر فرعی بهنجار شده با ترکیب گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) برای ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های منطقه چاپهار.

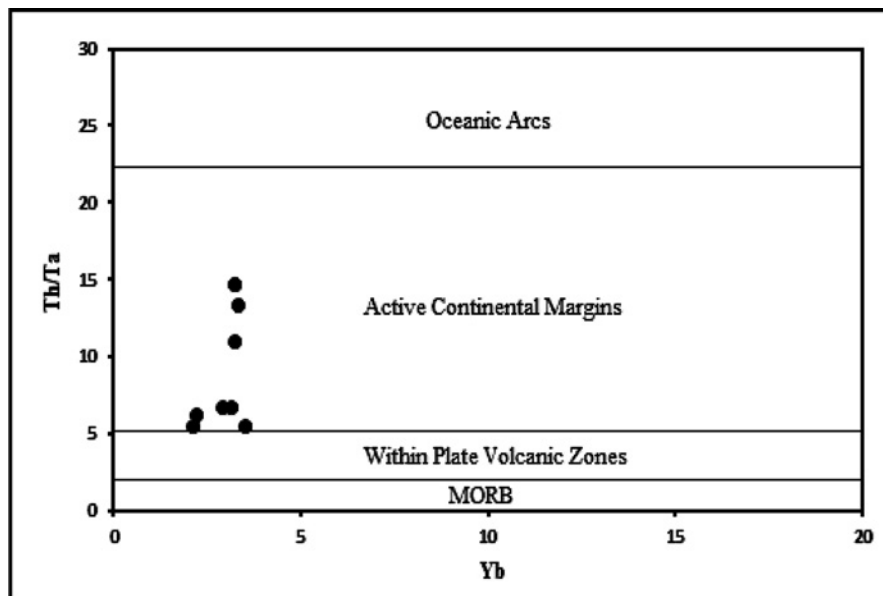
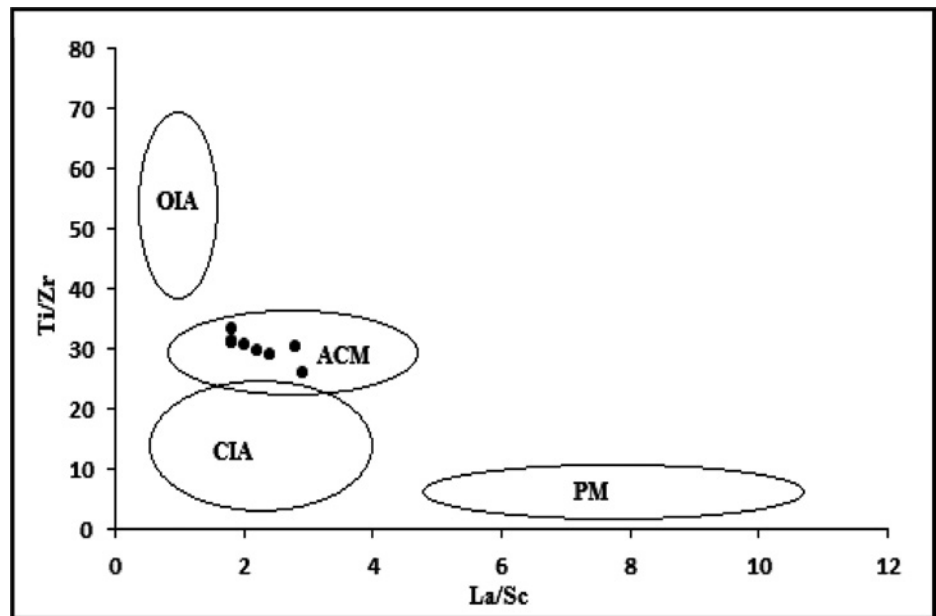


شکل ۷- نمودار غنکبوتی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده با کندریت (Nakamura, 1974) برای ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های منطقه چاپهار که غنی‌شدگی نسبی عناصر خاکی کمیاب سبک نسبت به عناصر خاکی کمیاب سنگین را نشان می‌دهد.

شکل ۸- رده‌بندی ژئوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه بر پایه نسبت $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ در برابر $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Herron, 1988) که بیشتر نمونه‌ها در محدوده شیل قرار گرفته‌اند.

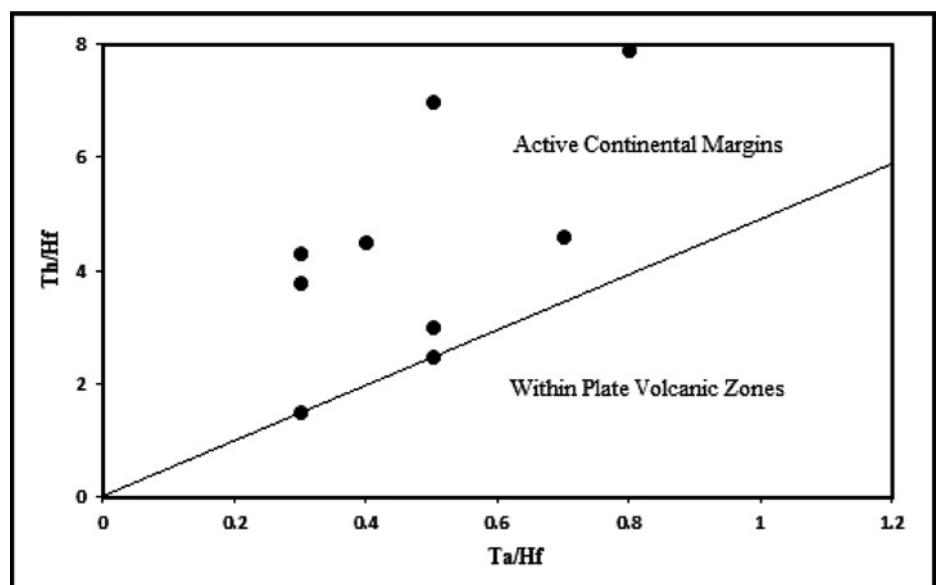


شکل ۹- نمودار جدا کننده محیط زمین ساختی بر پایه نسبت های Ti/Zr در برابر La/Sc برای نمونه های مورد مطالعه (Bhatia & Crook, 1986).



شکل ۱۰- نمودار تعیین محیط زمین ساختی بر پایه نسبت Th/Ta در برابر Yb از (Schandl & Gorton, 2002).

شکل ۱۱- نمودار تعیین محیط زمین ساختی بر پایه نسبت Th/Hf در برابر Ta/Hf (Schandl & Gorton, 2002).



جدول ۱- نتایج دانه‌بندی نمونه‌ها به روش الک کردن (ذرات ماسه) و لیزری (ذرات سیلت و رس).

درصد ماسه								نام رده
درصد رس	درصد سیلت	۴	۳	۲	۱	۰	۱-	قطر ذرات (فی)
۹	۸	۲۷	۲۰	۱۵	۳/۵	۱/۵	۰/۷	R-1
۷/۹	۲۴/۴	۳۰	۱۸/۵	۱۲	۲/۵	۱/۴	۰/۵	R-2
۱۰/۲	۲۴/۹	۲۶	۲۳	۱۴	۲/۵	۱/۵	۰/۵	R-3
۶/۸	۲۵/۷	۲۲	۳۰	۱۸	۳	۱/۹	۰	R-4
۳/۶	۲۱/۵	۱۷	۱۵	۱۲	۲	۱	۰/۵	R-5
۱۴	۳۸/۵	۲۳	۱۸	۱۵	۴	۱/۲۵	۰/۲۵	R-7
۵	۳۳/۵	۲۲	۱۶	۱۰	۲/۵	۱/۶	۰/۵	R-8
۷/۸	۳۹/۶	۳۴	۱۸	۱۲	۴	۱/۹	۰	L-1
۶/۳	۲۳/۸	۲۵	۱۵	۱۰	۲	۱/۲	۰	L-2
۶/۶	۴۰/۲	۱۷/۵	۱۵	۸/۵	۲	۰/۵	۰	L-3
۱۱/۸	۴۴/۷	۱۲	۱۴	۹	۳	۰/۷	۰	L-5
۱۸	۴۳/۳	۳۶	۲۰	۱۲/۵	۸	۳	۰/۵	T-1
۴/۵	۱۵/۵	۲۵	۲۳	۲۰	۱۲	۱/۴	۰	T-2
۳/۶	۱۵	۱۱	۹	۴/۵	۲	۰/۵	۰	T-3
۸/۸	۶۴/۲							

جدول ۲- مقادیر جورشدگی، کشیدگی و کج‌شدگی در نمونه‌های سیلیسی آواری مورد مطالعه.

شماره نمونه	مقدار جورشدگی	نوع جورشدگی	مقدار کشیدگی	نوع کشیدگی	مقدار کج‌شدگی	نوع کج‌شدگی
R-1	۲/۵	بسیار ضعیف	۱/۲۲	مزو کورتیک تا پلیتی کورتیک	۱/۲	مثبت و دارای مواد دانه‌ریز فراوان
R-2	۲/۴		۱/۲۲		۱/۲	
R-3	۲/۴		۱/۲۲		۱/۳	
R-4	۲/۱		۱/۴۳		۱/۳	
R-5	۲/۶		۰/۷۲		۱/۳	
R-7	۲/۶		۰/۸۸		۱/۲	
R-8	۲/۳		۰/۹۱		۱/۳	
L-1	۲/۲		۱/۰۸		۱/۲	
L-2	۲/۲	بسیار ضعیف	۰/۸۸		۱/۴	
L-3	۲/۴		۰/۷۴		۱/۴	
L-5	۲/۵		۰/۷۰		۱/۳	
T-1	۲/۱		۱/۸۰		۰/۹۸	
T-2	۲/۱		۱/۴۰		۰/۹۸	
T-3	۲/۰۶		۰/۸۸		۱/۴	

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی نمونه‌های سیلیسی آواری ساحل چابهار به روش XRF-MAGIX-PRO.

نوع سنگ		گلسنگ										ماسه سنگ		میانگین	
Oxids %		Kh-5	Kh-6	T-5	Gh-1	Gh-6	Gh-12	L-1	R-2	R-6	T-3	ماسه سنگ	گلسنگ		
SiO ₂	۵۳/۸۹	۵۳/۹۱	۵۴/۵۱	۵۴/۸۶	۵۵/۱۳	۵۴/۵۶	۵۷/۹۹	۵۹/۵۲	۵۹/۵۰	۵۹/۷۲	۵۹/۲	۵۴/۵	۵۴/۵		
Al ₂ O ₃	۱۵/۱۷	۱۴/۹۵	۱۴/۴۳	۱۴/۳۶	۱۴/۳۸	۱۴/۴۸	۱۱/۴۲	۹/۷۷	۱۱/۳۱	۱۰/۷۹	۱۰/۸	۱۴/۶	۱۴/۶		
Fe ₂ O ₃	۶/۰۶	۶/۴۹	۵/۹۴	۶/۱۵	۵/۵۱	۶/۴۳	۴/۱۱	۳/۷۵	۴/۰۲	۳/۶۷	۳/۹	۶/۱	۶/۱		
MnO	<۰/۱	-	<۰/۱	<۰/۱	-	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	-	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱		
MgO	۳/۶۲	۳/۵۲	۴/۰۷	۳/۶۲	۳/۶۳	۳/۶۰	۳/۰۶	۳/۲۲	۳/۳۹	۲/۹۸	۳/۲	۳/۷	۳/۷		
CaO	۵/۰۷	۵/۱۴	۵/۴۲	۵/۷۳	۶/۶۴	۵/۶۳	۸/۴۳	۱۰/۵۷	۷/۶۲	۷/۹۳	۸/۶	۵/۶	۵/۶		
Na ₂ O	۱/۶۵	۱/۸۲	۱/۳۸	۱/۶۶	۱/۲۶	۱/۳۲	۲/۰۷	۱/۵۹	۱/۸۹	۱/۹۵	۱/۹	۱/۵	۱/۵		
K ₂ O	۲/۶۷	۲/۸۶	۲/۵۷	۲/۵۷	۲/۴۸	۲/۶۷	۱/۷۶	۱/۵۵	۱/۸۶	۱/۵۵	۱/۷	۲/۶	۲/۶		
TiO ₂	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۶۸	۰/۶۸		
P ₂ O ₅	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۸		
LOI	۹/۸۲	۹/۵۶	۱۰/۱۸	۹/۵۰	۹/۵۰	۹/۴۴	۹/۴۴	۸/۶۲	۹/۰۲	۹/۷۲	۹/۲	۹/۶۶	۹/۶۶		
Total	۹۸/۸۹	۹۹/۱۶	۹۹/۴۲	۹۹/۳۷	۹۹/۴	۹۹/۱۵	۹۹/۰۹	۹۹/۴۸	۹۹/۳۶	۹۹/۲۳	۹۹/۲۹	۹۹/۲۳	۹۹/۲۳		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	۳/۵۵	۳/۶۰	۳/۷۷	۳/۸۲	۳/۸۳	۳/۶۸	۵/۰۷	۶/۰۹	۵/۱۷	۵/۵۳	۵/۵	۳/۷	۳/۷		
CIA	۶۲	۶۰	۶۰	۶۰	۵۹	۶۰	۴۸	۴۰	۵۰	۴۸	۴۶/۵	۵۹/۸	۵۹/۸		
ICV	۱/۳۱	۱/۳۷	۱/۳۹	۱/۴۲	۱/۴۰	۱/۳۸	۱/۷۶	۲/۲۳	۱/۷۱	۱/۷۴	۱/۸۵	۱/۳۸	۱/۳۸		
CIW	۶۹/۳۰	۶۸/۲۳	۶۷/۹۶	۶۶	۶۴/۵	۶۸	۵۲	۴۴/۵۵	۵۴/۳۲	۵۲/۲۰	۵۰/۸	۶۷/۳	۶۷/۳		
CWI	۹۰	۸۹	۹۱	۸۹/۶	۹۲	۹۱/۶	۸۴/۶	۸۶	۸۵/۷	۸۴/۷	۸۵/۳	۹۰/۵	۹۰/۵		

جدول ۴- نتایج تجزیه ژئوشیمیایی عناصر فرعی و خاکی کمیاب نمونه‌های سیلیسی آواری منطقه چابهار به روش ICP-AES.

ماسه سنگ				گلسنگ						Elements (ppm)
T-3	R-6	R-2	L-1	GH-4	GH-2	L-5	Kh-6	Kh-5	Kh-1	
۱۹۳/۳	۱۵۸/۲	۱۷۴/۴	۱۶۴/۴	۲۲۷/۶	۲۴۸/۸	۲۳۲	۱۸۳/۴	۲۵۵/۷	۲۳۷/۵	Ba
۱۲۵/۳	۹۱/۶	۱۴۴/۱	۸۶/۴	۱۴۲/۲	۱۵۸/۸	۱۶۲	۱۲۳/۲	۱۴۷/۹	۱۵۵/۳	Cr
۲۰/۲	۱۳/۱	۱۲/۴	۱۴/۴	۱۸/۹	۲۱/۹	۲۰/۸	۱۷/۲	۱۷/۹	۱۹/۷	Nb
۸۲/۷	۸۸/۴	۷۶/۲	۷۸/۳	۹۸/۷	۹۰/۱	۹۱/۶	۸۳/۴	۹۳/۴	۹۰/۲	Rb
۱۳/۴	۸/۷	۸/۳	۹/۹	۱۴/۷	۱۷/۷	۱۶/۱	۱۳/۶	۱۳/۹	۱۴	Sc
۱۰/۵	۶/۶	۶/۳	۹/۳	۱۳/۳	۱۴/۷	۱۳	۱۲/۲	۱۲/۱	۱۲/۲	Th
۴/۸	۳/۶	۳/۴	۴/۷	۵/۹	۶/۲	۶/۲	۶/۶	۶/۶	۶/۵	U
۱۱۳	۷۷	۷۹/۱	۹۲/۶	۱۲۷/۸	۱۴۷/۳	۱۴۱/۸	۱۱۳/۸	۱۱۶/۸	۱۱۵	V
۳۲/۴	۲۱/۵	۲۵/۸	۲۴/۸	۲۷/۸	۳۱/۸	۲۹/۴	۲۳/۸	۲۵/۱	۲۸	Y
۲۱۸/۸	۱۴۱/۴	۱۵۶/۷	۱۶۴/۴	۲۰۳/۹	۲۲۵/۵	۲۱۱/۷	۱۶۷/۳	۱۸۶/۶	۱۷۵/۲	Zr
۲۳/۱	۱۹/۹	۱۷/۲	۲۰/۶	۲۸/۲	۳۳/۵	۳۳/۳	۳۲/۶	۳۴/۲	۳۳/۴	Co
۱۴/۵	۱۷/۵	۱۵/۴	۲۴	۳۱/۳	۳۲/۷	۲۲/۹	۴۰/۶	۳۷/۴	۳۹	Cu
۱۰۹/۴	۹۴/۵	۷۱/۵	۱۰۵/۴	۱۵۱/۶	۱۵۷	۱۶۱/۶	۱۵۹/۵	۱۶۱/۵	۱۶۰/۵	Ni
۲۲۱/۵	۱۹۷/۱	۳۰۳/۱	۵۱۴/۱	۲۱۷/۱	۲۱۱/۳	۱۷۲/۹	۱۴۹/۵	۱۳۷/۸	۱۳۸/۴	Sr
۸۷/۶	۵۶/۱	۴۸/۴	۶۲	۹۱/۳	۱۰۷	۱۰۴	۹۵/۹	۹۳/۵	۹۴	Zn
۲۹/۵	۱۹/۸	۲۴/۳	۲۱/۴	۲۷/۹	۳۲/۱	۲۹/۳	۲۴/۴	۲۵/۶	۲۶	La
۵۵/۴	۳۹/۱	۴۱/۷	۳۹/۶	۵۳/۲	۶۴/۴	۵۷/۹	۴۸/۸	۵۱/۲	۵۰/۲	Ce
۳۰/۱	۲۴/۴	۲۵	۲۶/۷	۲۹/۷	۲۸/۷	۲۵/۶	۲۴/۲	۲۷/۵	۲۵	Nd
۲	۱/۵	۲/۱	۱/۵	۱/۸	۱/۹	۱/۹	۲/۵	۲/۵	۲/۳	Eu
۶/۹	۵/۵	۶	۶/۹	۸	۸/۷	۸/۶	۹/۳	۹	۹/۲	Gd
۵/۸	۳	۳/۶	۳/۷	۶/۶	۷/۸	۷/۲	۶/۶	۵/۹	۶	Dy
۲/۵	۲/۸	۲/۸	۲/۳	۲/۷	۲/۴	۲/۵	۲/۵	۲/۴	۲/۵	Er
۳/۲	۲/۱	۲/۲	۲/۳	۳/۱	۳/۵	۳/۳	۳/۲	۲/۹	۳	Yb
۰/۴	۰/۳	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۰/۶	Lu

کتابنگاری

- آفرین، م.، ۱۳۹۱- ژئوشیمی و کانی‌شناسی مارن‌های میوسن منطقه ساحلی چابهار، جنوب شرق سیستان و بلوچستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، دانشکده علوم، ۱۱۲ ص.
- آفرین، م.، بومری، م.، محبوبی، ا. و گرگیج، م.، ن.، ۱۳۹۰ الف- بازنگری اسم و بررسی پتانسیل اقتصادی مارن‌های منطقه چابهار جهت ساخت آجر رسی، مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، یکم تا سوم اسفند ماه ۱۳۹۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷ ص.
- آفرین، م.، بومری، م.، محبوبی، ا. و گرگیج، م.، ن.، ۱۳۹۰ ب- ژئوشیمی گلسنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های ناحیه شرق چابهار، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۲۳ و ۲۴ آذر ماه ۱۳۹۰، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۱ ص.
- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۵- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- احراری رودی، م.، موسوی حرمی، س. ر.، محبوبی، ا. و نجفی، م.، ۱۳۸۵- بازنگری سن و تفسیر تاریخچه رسوب‌گذاری پادگانه‌های دریایی شرق چابهار، مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱۳ تا ۱۵ شهریور ماه ۱۳۸۵، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۹ ص.
- جعفریان، م. ب. و صمدیان، م. ر.، ۱۳۷۵- گزارش نقشه زمین‌شناسی چابهار با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسوی حرمی، ر.، ۱۳۸۵- رسوب‌شناسی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۷۴ ص.

References

- Batumilke, M. J., Kampunzu, A. B. & Cailteux, J. H., 2006- Petrology and geochemistry of the Neoproterozoic Nguba and Kundelungu Groups, Katangan Supergroup, southeast Congo: Implications for provenance, paleoweathering and geotectonic setting. *Journal of African Earth Sciences* 44:97-115.
- Bhatia, M. R. & Crook, K. A. W., 1986- Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Journal of Contributions to Mineralogy and Petrology* 92: 181-193.
- Bhatia, M. R., 1983- Plate tectonics and geochemical composition of sandstone. *Journal of Geology* 91: 611-627.
- Cardenas, A., Girty, G. H., Hanson, A. D. & Lahren, M. M., 1996- Assessing differences in composition between low metamorphic grade mudstone and high-grade schists using logratio techniques. *Journal of Geology* 104: 279-293.
- Cox, R., Low, D. R. & Cullers, R. L., 1995- The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59: 2919-2940.
- Cullers, R. L. & Podkovyrov, V. N., 2002- The source and origin of terrigenous sedimentary rock in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia. *Journal of Precambrian Research* 117: 157-183.

- Cullers, R. L., 2000- The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian, Colorado, USA: Implication for provenance and metamorphic studies. *Lithos* 51: 181-203.
- Das, B. K., AL-Mikhalafi, 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.
- Folk, R. L., 1980- Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas 182 pp.
- Garcia, D., Ravenne, C., Marechal, B. & Moutte, J., 2004- Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis. *Sedimentary Geology* 171: 113-128.
- Green, N. L., 2006- Influence of slab thermal structure on basalt source regions and melting conditions: REE and HFSE constraints from Garibaldi volcanic belt, northern Cascadia subduction system. *Lithos* 87: 23-49.
- Green, T. H. & Pearson, N. J., 1986- Ti-rich accessory phase saturation in hydrous mafic-Felsic compositions at high P, T. *Journal of Chemical Geology* 54: 185-201.
- Gu, X. X., Liu, J. M., Zheng, M. H., Tang, J. X. & Qi, L., 2002- Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, south China: Geochemical evidence. *Journal of Sedimentary Research* 72: 393-407.
- Harker, A., 1909- The natural history of igneous rocks. Methuen, London 384pp.
- Harnois, L., 1988- The CIW index: a new chemical index of weathering. *Journal of Sedimentary Geology* 55: 219-227.
- Herron, M. M., 1988- Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology* 58: 820-829.
- McLennan, S. M., 1993- Weathering and global denudation. *Journal of Geology* 101: 295-303.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. & Hanson, G. N., 1993- Geochemical approaches to sedimentation provenance and tectonics. In: Johnsson, M. J. and Basu, A (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society of America., Boulder, Colorado, Special Paper 284: 21-40.
- Nakamura, N., 1974- Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38: 757-775.
- Nesbitt, H. W. & Young, G. M., 1982- Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299: 715-717.
- Nesbitt, H. W., 2003- Petrogenesis of siliciclastic sediments and sedimentary rocks. In: Lenz, D.R. (Ed.), *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks*, Geotext 4. Geological Association of Canada, Newfoundland: 39-51.
- Paikaray, S., Banerjee, S. & Mukherji, S., 2008- Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleoweathering. *Journal of Asian Earth Sciences* 32: 34 - 48.
- Peng, J., Wang, Y., Zhao, G., Fan, W. & Peng, B., 2007- Arc like Volcanic rocks from the Southern Lancangion Zone, Swchina: Geochronological and geochemical Constrains on their Petrogenesis and tectonic implications. *Lithos* 102: 358-373.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. & Siever, R., 1972- Sand and sandstone. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag 618 pp.
- Potter, P. E., 1978- Petrology and chemistry of modern big river sands. *Journal of Geology* 86: 423-449.
- Rollinson, H. R., 1993- Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman 352 pp.
- 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., Cooper, R. A., Nathan, S. & Tulloch, A. J., 1996- Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 39: 1-16.
- Schandl, E. S. & Gorton, M. P., 2002- Application of high field strength elements to discriminate tectonic setting in VMS environments. *Journal of Economic Geology* 97: 629-642.
- Siirio, P., Rasanen, M., Gingras, M., Harris, C., Irion, G., Pemberton, G. & Ranzi, A., 2005- Application of Laser diffraction grain-size analysis to reveal depositional processes in tidally influenced systems. In: Michael D. Blum, Susan B. Marriott and Suzanne F. Leclair (Eds.), *Fluvial Sedimentology VII*, Special Publication Number 35 of the International Association of Sedimentologists. Vol. 159-180.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society of London Special Publication 42: 313-345.
- Tatsumi, Y. & Eggins, S., 1995- Subduction Zone Magmatism. Blackwell Science, Cambridge, MA 211pp.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D. L. & Nesbitt, R. W., 1986- Chemical characteristics of fluidphase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: Evidence from high pressure experiment and natural rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 29: 239-309.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Journal of Chemical Geology* 20: 325-343.
- Xia, L., Li, X., Ma, Z., Xu, X. & Xia, Z., 2011- Cenozoic volcanism and tectonic evolution of the Tibetan plateau. *Journal of Gondwana Research* 19 (4): 850-866.

Sedimentology and Geochemistry of Siliciclastic Sediments (Tertiary-Quaternary) in the Eastern Coasts of Chabahar, SE Sistan and Baluchistan

M. Afarin ^{1*}, M. Boomeri ², A. Mahboubi ³, M. N. Gorgij ⁴ & M. A. Hamzeh ⁵

¹ M. Sc., Oceanographic Center of Oman Sea and the Indian Ocean (Chabahar), Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran

² Associate Professor, Faculty of Sciences, Sistan & Baluchestan University, Zahedan, Iran

³ Professor, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴ Assistant Professor, Faculty of Sciences, Sistan & Baluchestan University, Zahedan, Iran.

⁵ Ph.D. Student, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; Oceanographic Center of Oman Sea and the Indian Ocean (Chabahar), Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran

Received: 2012 June 17

Accepted: 2015 January 07

Abstract

In this study, mudstone and sandstone deposits of Eastern coasts of Chabahar were investigated geochemically and sedimentologically. Fifty samples were taken from five sections of Tiss, Ramin, Lipar, Gorankesh and Garindar estuary and subjected to grain size and chemical analysis using XRF and ICP AES methods. Positive sorting and skewness (with the frequency of fine grain particles) of samples indicate deposition in a low energy environment. Plotting geochemical data of major elements from Late Miocene- Pleistocene age, 10 mudstone and sandstone samples in east coasts of Chabahar in Makran zone, on siliciclastic rocks classification diagrams, showed that the sandstones are wacky and Mudstones are shale. The mean calculated chemical indexes of alteration (CIA) and weathering (CIW) for siliciclastic sediments, confirm low level weathering of source rocks of this sediments. The average index of combinational variety (ICV) for the studied sediments was 1.57, which indicates that these deposits have a moderate chemical maturity and are derived from the first cycle of sediments. Distribution pattern of rare earth elements on spider diagrams shows the enrichment of light rare earth elements (LRRE) relative to heavy rare earth elements (HRRE) in the rocks. High ratios of LILE/HFSE and LRRE/HRRE in the rock samples and similarity of their chemical composition with subduction zone facies, indicates that siliciclastics of Chabahar coasts have formed in such a zone. The diagrams of tectonic setting associated with patterns of multivariate charts also shows that the studied rocks have been developed in an active continental margin.

Keywords: Makran, Chabahar, Sedimentology, Siliciclastic sediments, Geochemistry, Rare earth elements

For Persian Version see pages 85 to 96

*Corresponding author: M. Afarin; E-mail: Afarin.m@inio.ac.ir