

ژئوشیمی عناصر اصلی رسوبات آواری دریای عمان در ناحیه چابهار با تأکید بر منشأ، شرایط آب و هوای قدیمه و جایگاه زمین ساختی

صدیقه امجدی^۱، محمد حسین محمودی قرائی^{۲*}، رضا موسوی حرمی^۳، اسدالله محبوبی^۴، حمید علیزاده کتک لاهیجانی^۵

۱- کارشناس ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

*پست الکترونیک: mhmgharaie@ferdowsi.um.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۷

چکیده

به منظور تعیین منشأ، شرایط آب و هوای قدیمه و جایگاه زمین ساختی رسوبات دریایی منطقه مکران در نواحی جنوبی چابهار، تعداد ۱۵ نمونه از ۵ مغزه رسوبات دریای عمان آنالیز و مطالعه شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که رسوبات مورد مطالعه به طور عمده از سنگهای آذرین فلسیک و حدواسط منشأ گرفته‌اند. مقادیر نسبتاً زیاد Al_2O_3 و همچنین همبستگی مثبت عناصر پتاسیم و کلسیم با آلومینیوم، حضور کانیهای رسی را تأیید می‌کند. بررسی شرایط آب و هوای قدیمه با استفاده از عناصر اصلی نشان دهنده آب و هوای گرم و خشک در منطقه است در حالی که مقادیر مربوط به اندیس دگرسانی شیمیایی (CIA) و اندیس دگرسانی پلاژیوکلاز (PIA) نشان دهنده دگرسانی شیمیایی رسوبات است. از طرفی میزان ICV محاسبه شده بر اساس عناصر اصلی نشان دهنده تأثیر چرخه‌های مجدد رسوب گذاری بر رسوبات است که می‌تواند از طریق آب‌شویی مکرر منجر به دگرسانی شیمیایی گردد. نمودارهای تفکیک تکتونیکی نیز جایگاه زمین ساختی کمانهای قاره‌ای را برای این رسوبات نشان می‌دهند. با توجه به مجموعه سنگهای آتشفشانی مناطق فرورانش می‌توان سری تولیتی کوارتزار را که در کمانهای جوان و در حوضه‌های پشت کمانی تشکیل می‌شود به عنوان منشأ اصلی رسوبات مورد مطالعه فلات قاره دریای عمان در نظر گرفت که پس از فرسایش، حمل و رسوب گذاری در پهنه‌های جزر و مدی تحت آب‌شویی در چرخه‌های مجدد رسوب گذاری قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، منشأ رسوب، جایگاه زمین ساختی، اندیس هوازگی، آب و هوای قدیمه، دریای عمان، چابهار.

مقدمه

رسوب گذاری است و لذا می‌توان از این داده‌ها در تعبیر و تفسیر آب و هوای ناحیه منشأ و شرایط رسوب گذاری

ژئوشیمی نهشته‌های سیلیسی آواری تابع عواملی نظیر ترکیب سنگ منشأ، فرآیندهای هوازگی، حمل و نقل و

استفاده کرد (Condie *et al.*, 1995). ژئوشیمی نهشته‌های رسوبی آواری، ابزاری مؤثر در مطالعه رسوبات دریایی است که با محدودیتهایی از قبیل مطالعات پتروگرافی همراه است. از طرفی بسیاری از نمودارهای ژئوشیمیایی که در مطالعه سنگهای رسوبی به کار می‌رود با استفاده از داده‌های رسوبات عهد حاضر تهیه شده است (Bauluz *et al.*, 2000). در این مطالعه نیز از آنالیز اکسیدهای اصلی جهت تعیین سنگ منشأ، جایگاه تکتونیکی و تفسیر شرایط آب و هوای قدیمه و فرآیندهای هوازگی در رسوبات آواری فلات قاره دریای عمان ناحیه چابهار استفاده شده است.

منطقه مورد مطالعه در جنوب ایران و در پهنه مکران ساحلی واقع شده است. توالی چینه شناسی این منطقه در قالب واحد مکران (Makran Unit) از پنج هزار متر رسوبات میوسن - پلیوسن تشکیل شده و از لحاظ سنگ شناسی از واحدهای سنگی مارنی و به مقدار کمتر ماسه سنگی تشکیل شده است (McCall & Kidd, 1982). رسوبات آبرفتی کواترنر در سراسر منطقه ساحلی متشکل از واحدهای رسوبی محیطهای حد واسط خور، خلیج و رودخانه‌ای هستند. رودخانه‌های موجود در منطقه فصلی است و این منطقه دارای آب و هوای نیمه بیابانی، گرم و خشک است. به دلیل شرایط خاص اقلیمی و زمین شناسی از جمله نوسانات سطح آب دریا در طی زمانهای مختلف زمین شناسی، فرآیندهای فرسایش و هوازگی و نیز نیروهای زمین شناسی ناشی از فرورانش، ساختارها و پدیده‌های منحصر به فردی دارد (افشار، ۱۳۷۲).

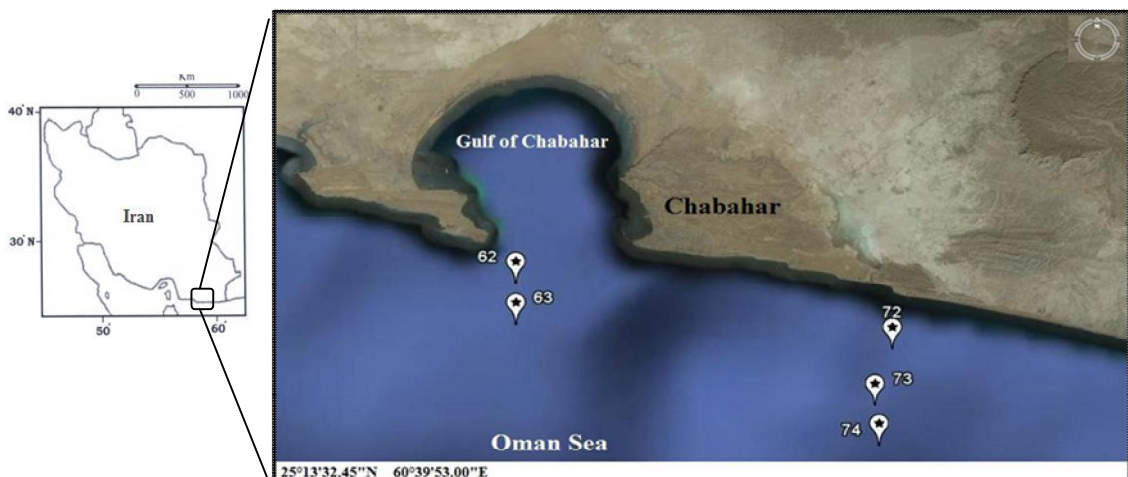
روش مطالعه

نمونه برداری با شیوه مغزه گیر وزنی (Gravity core) توسط مرکز ملی اقیانوس شناسی تهران انجام شده است. تعداد ۱۵ نمونه از پنج مغزه (شکل ۱) به شماره‌های ۶۲، ۶۳، ۷۲، ۷۳ و ۷۴ جهت آنالیز ICP-MS انتخاب شده است. مشخصات

مغزه‌های برداشت شده در جدول ۱ آورده شده است. دانه سنجی نمونه‌ها به روش لیزری با استفاده از دستگاه Laser particle analyzer در آزمایشگاه مرکز ملی اقیانوس شناسی تهران انجام گرفته و با استفاده از نرم افزار Triplot، درصد فراوانی ذرات بر روی مثلث Folk (1980) نشان داده شده است (شکل ۲). در تجزیه کلسیمیتری با استفاده از کلسی متر برنارد، میزان دی اکسید کربن حاصل از نیم گرم نمونه که با ۵ سی سی اسید کلریدریک (HCl) دو نرمال واکنش می‌دهد، اندازه گیری شده است. با توجه به مقادیر نسبتاً زیاد کربنات (میانگین ۱۶٪)، رسوبات مورد مطالعه ابتدا اسیدشویی شده و پس از حذف بخش کربناته و خرده‌های فسیلی، مقدار مواد غیر قابل حل (IR) اندازه گیری و آنالیز شده است. تجزیه شیمیایی عناصر اصلی به روش ICP-MS در آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا انجام شده است. تصحیحات مربوط به حذف بخش کربناته در داده‌های نهایی اعمال شده است. نتایج حاصل به منظور تعیین منشأ، شرایط آب و هوایی و موقعیت تکتونیکی نهشته‌های رسوبی در زمان تشکیل مورد استفاده قرار گرفت.

بحث

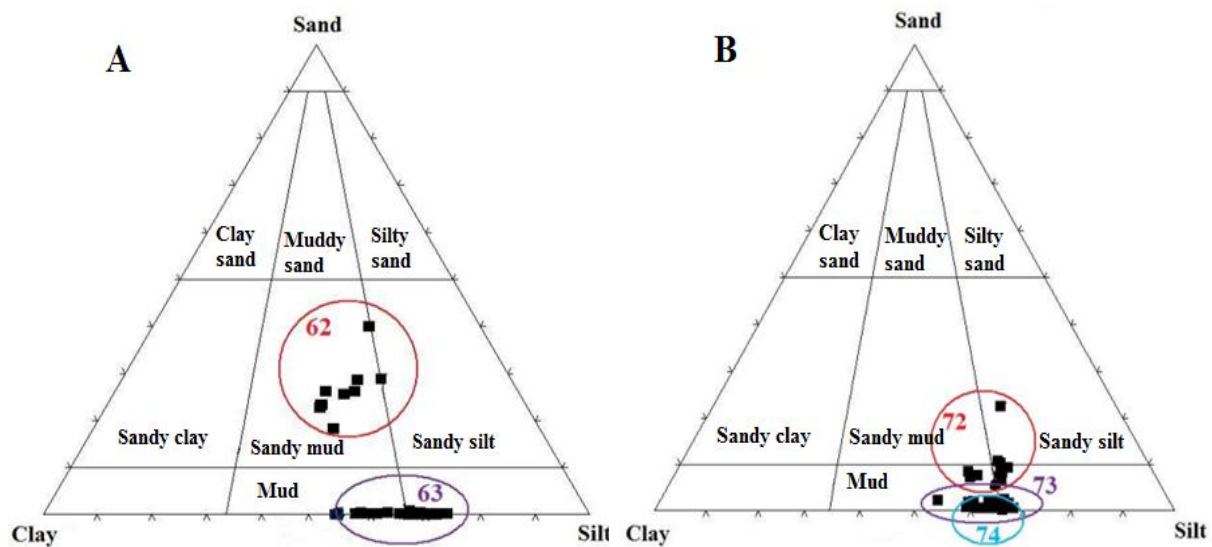
فراوانی اکسیدهای عناصر اصلی در رسوبات مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار SiO_2 در نمونه‌های آنالیز شده با میانگین ۶۲/۵۴ درصد بیشترین فراوانی را در مقایسه با سایر اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد. دومین عنصر از نظر فراوانی Al با میانگین تمرکز حدود ۱۱/۱۲ درصد است. فراوانی اکسیدهای کلسیم و پتاسیم که معمولاً در ترکیب آلومینوسیلیکاتها وجود دارند به ترتیب ۰/۸۵ درصد و ۲/۵ درصد است. از دیگر عناصر اصلی می‌توان به Fe_2O_3 ۳/۶ درصد، MgO ۱/۶ درصد، TiO_2 ۰/۶۵ درصد، Na_2O ۱/۹ درصد، MnO ۰/۱۵ درصد، P_2O_5 ۰/۰۲ درصد اشاره کرد.



شکل ۱: موقعیت ناحیه مورد مطالعه و محل برداشت مغزه های رسوبی از فلات قاره دریای عمان

جدول ۱: مشخصات مغزه های برداشت شده در ناحیه چابهار

شماره مغزه	طول و عرض جغرافیایی	فاصله از ساحل (km)	طول مغزه ها (cm)	عمق برداشت مغزه از سطح آب (m)
۶۲	۲۵°۱۵'N ۶۰° ۲۹.۹۴'E	۴/۴۶	۳۳	۲۰
۷۲	۲۵° ۱۱.۳۵'N ۶۰° ۵۰.۲۲'E	۵/۷۷	۹۰	۵۰
۶۳	۲۵° ۱۲.۷'E ۶۰° ۲۹.۹۵'N	۸/۲۱	۱۰۵	۵۰
۷۳	۲۵°۸.۲'N ۶۰° ۴۹.۹۵'E	۱۳/۱۱	۱۴۱	۱۰۰
۷۴	۲۵°۵.۹۷'N ۶۰° ۵۰.۱۸'E	۱۶/۷۶	۳۰	۱۹۰



شکل ۲: درصد فراوانی ماسه، رس و سیلت بر روی نمودار Folk (1980) (A) مغزه های ۶۲، ۶۳ (B) مغزه های ۷۲، ۷۳، ۷۴.

که Al_2O_3 در طی هوازدگی، دیاژنز و متامورفیزم، نسبتاً بدون تغییر است، معمولاً به عنوان عاملی جهت مقایسه بین سنگهای مختلف به کار می رود (Cardenas *et al.*, 1996). همان طور که در نمودارهای همبستگی دیده می شود (شکل

توزیع عناصر اصلی، منعکس کننده کانی شناسی نمونه های مورد مطالعه است. در میان اکسیدهای مختلف Na_2O ، CaO ، MgO و K_2O متحرک و اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 غیر متحرک هستند (Bauluz *et al.*, 2000). به دلیل این

در مقایسه با سایر عناصر، شاخص خوبی جهت تفسیر سنگ منشأ است (McLennan *et al.*, 1993). مقدار میانگین Ti_2O در نمونه‌های رسوبی مورد مطالعه ۰/۷۵ درصد است که با توجه به نسبت Ti_2O در PAAS (Taylor & McLennan, 1985)، نشان دهنده ذرات فلیسک در سنگ منشأ است (Ramasamy *et al.*, 2007).

نسبت SiO_2/Al_2O_3 نیز یک اندیس مورد استفاده برای تعیین رسیدگی رسوبی است (Potter, 1978). این میزان در طی هوازگی، حمل و نقل و چرخه مجدد، در نتیجه افزایش کوارتز نسبت به اجزای ناپایدار مثل فلدسپار و قطعات سنگی، افزایش می‌یابد. نسبت SiO_2/Al_2O_3 بیشتر از ۵ تا ۶ در سنگهای رسوبی، نشان دهنده رسیدگی رسوبی بالا است (Roser *et al.*, 1996). میانگین این نسبت در نمونه‌های مورد مطالعه ۵/۸۳ است. بنابراین نشان دهنده رسیدگی رسوبی بالا در رسوبات مورد مطالعه است.

سنگ مادر

از داده های ژئوشیمی رسوبات می‌توان در تفسیر خصوصیات منشأ استفاده کرد (Madhavaraju & Ramasamy, 2002; Armstrong-Altrin *et al.*, 2004). به این منظور در نسبت اکسیدهای Na، K، Ti، Fe و Mg به Al_2O_3 از نمودار Roser & Korsch (1988) (شکل ۴) و داده‌های تابع تفکیک کننده ۱ و ۲ استفاده شده است:

$$30.638 TiO_2/Al_2O_3 - 12.541 = \text{تابع تفکیک کننده ۱}$$

$$Fe_2O_3(\text{total})/Al_2O_3 + 7.329 MgO / Al_2O_3 + 12.031$$

$$Na_2O/Al_2O_3 + 35.402 K_2O/Al_2O_3 - 6.382$$

$$56.500 TiO_2/Al_2O_3 - 10.879 = \text{تابع تفکیک کننده ۲}$$

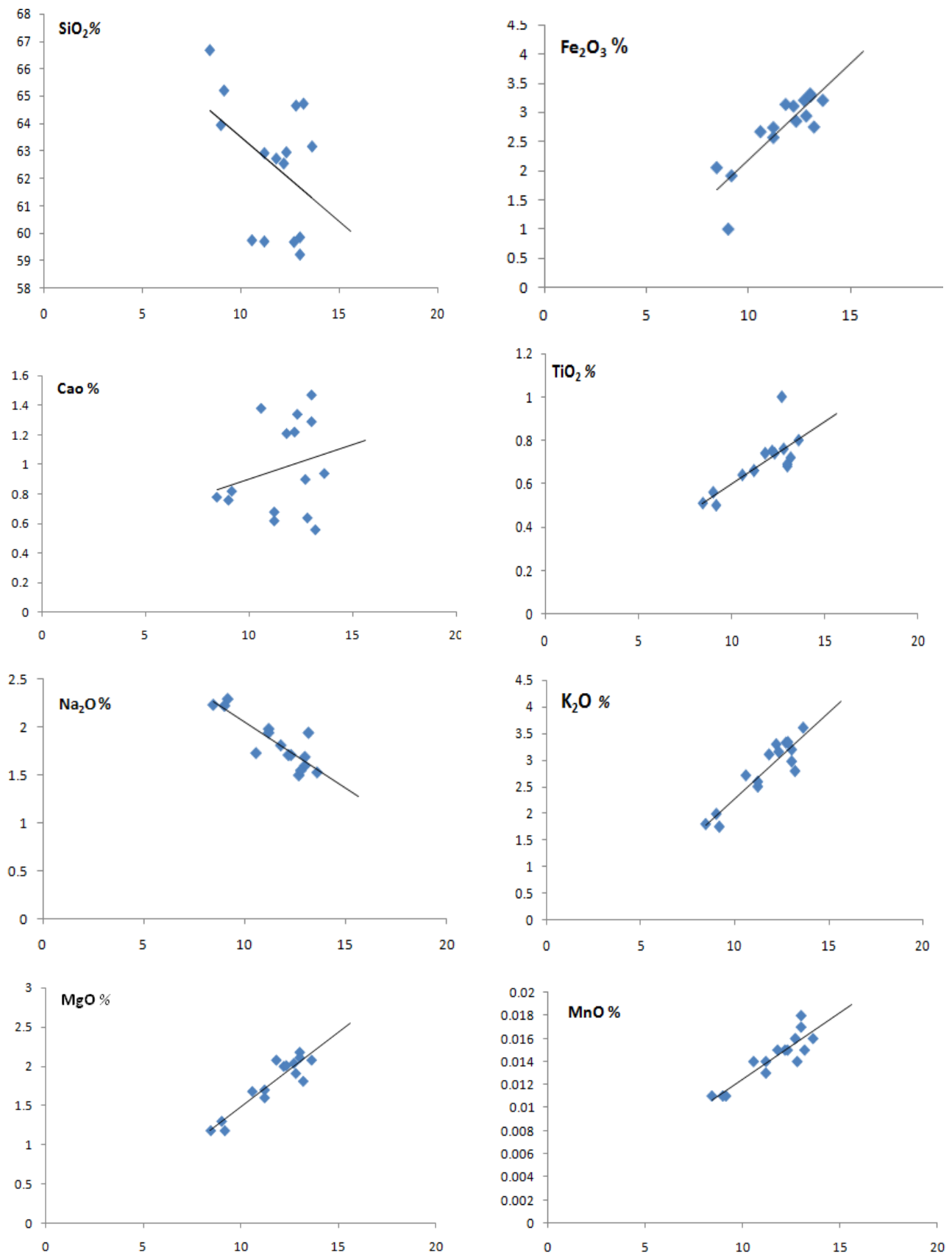
$$Fe_2O_3(\text{total})/Al_2O_3 + 30.875 MgO/Al_2O_3 - 5.404$$

$$Na_2O/Al_2O_3 + 11.112 K_2O/Al_2O_3 - 3.89$$

۳)، اکسید آلومینیوم در نمونه‌های مورد مطالعه با TiO_2 ، CaO ، Fe_2O_3 ، K_2O و MnO همبستگی مثبت نشان داده، ولی با Na_2O و SiO_2 همبستگی منفی دارد. اگرچه آلومینیوم از نظر فراوانی پس از سیلیسیم در رتبه دوم قرار دارد، اما وجود آلومینیوم عامل مهمی در رابطه با اندازه‌گیری سایر عناصر اصلی در رسوبات آواری است و انطباق مثبت Na_2O ، TiO_2 ، MgO ، MnO ، K_2O ، Fe_2O_3 با Al_2O_3 در نمونه‌های مورد مطالعه نشان دهنده وجود این مجموعه عناصر در داخل مراحل آواری است.

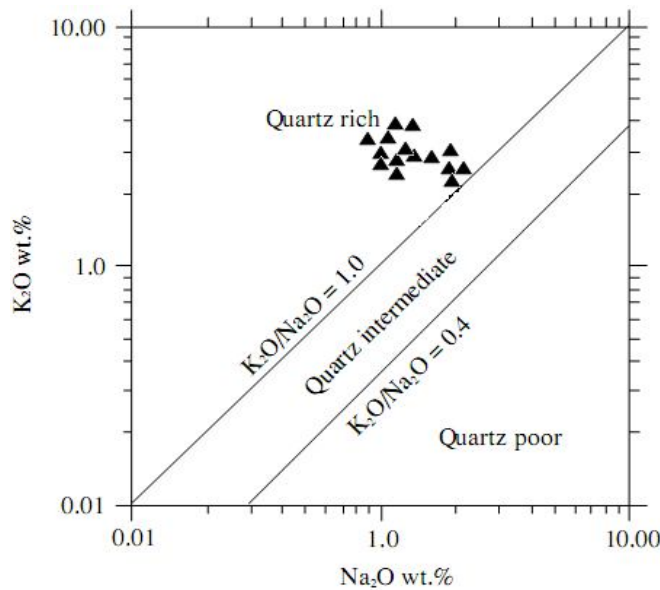
تبعیت اکسیدهای کلسیم و پتاسیم از روند Al_2O_3 در نمونه‌های مورد مطالعه (شکل ۳)، نشان دهنده فراوانی کانیهای رسی در این رسوبات است زیرا این عناصر در آلومینوسیلیکاتها حضور دارند (Das *et al.*, 2006). همبستگی منفی بین SiO_2 و Al_2O_3 به این خاطر است که SiO_2 در نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به کانی کوارتز است. همچنین همبستگی منفی بین Al_2O_3 و Na_2O نشان دهنده این است که سدیم در ساختار آلومینوسیلیکاتها وجود ندارد و فراوانی این عنصر احتمالاً به وسیله محتوای کانیهای رسی از جمله کائولینیت و ایلیت کنترل می‌شود (Jin *et al.*, Adel *et al.*, 2008). از نسبت K_2O/Al_2O_3 می‌توان برای تعیین ترکیب منشأ استفاده کرد. این نسبت در کانیهای رسی و فلدسپارها به ترتیب از ۰ تا ۰/۳ درصد و ۰/۳ تا ۰/۹ درصد متغیر است (Cox *et al.*, 1995). میانگین نسبت K_2O/Al_2O_3 در نمونه‌های رسوبی مورد مطالعه ۰/۲۲ درصد است در حالی که مقدار استاندارد این نسبت در شیلهای کربناته 0.24 ± 0.03 درصد و در شیلهای گلی 0.20 ± 0.05 درصد است (Ramasamy *et al.*, 2007). بنابراین نمونه‌های مورد مطالعه حاوی کانیهای رسی است.

از دیگر عناصر اصلی می‌توان به Ti اشاره کرد. تمرکز این عنصر بیشتر در فیلسیلیکاتها بوده (Condie *et al.*, 1992) و به خاطر عدم تحرک و جابه‌جایی در طی فرآیندهای رسوبی



شکل ۳: نمودارهای Al_2O_3 در مقابل SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , K_2O , MgO و MnO در نمونه‌های رسوبی فلات قاره دریای عمان ناحیه چابهار

گرفته می‌شود (Huntsman *et al.*, 2009). براساس نمودار درصدهای فراوانی $K_2O - Na_2O$ ، می‌توان رسوبات را به سه دسته غنی از کوارتز، با کوارتز متوسط و فقیر از کوارتز طبقه بندی کرد (Crook, 1974). با ترسیم داده‌های حاصل از نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار شکل ۵، نمونه‌های رسوبی در ناحیه غنی از کوارتز قرار می‌گیرند.

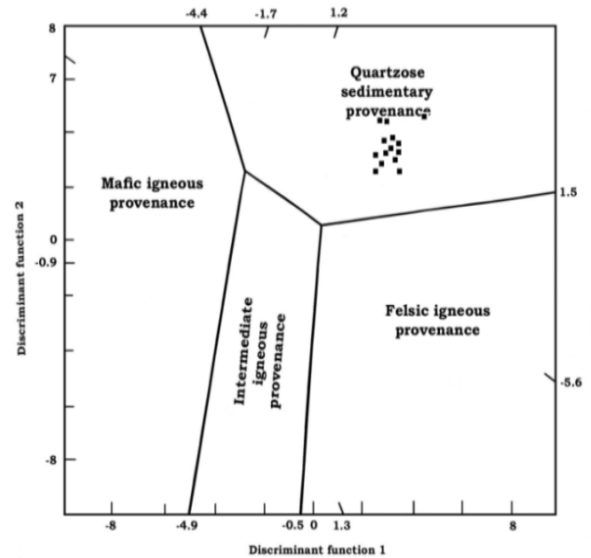


شکل ۵: تعیین ترکیب منشأ نمودار $K_2O - Na_2O$ (Crook, 1974) در رسوبات فلات قاره دریای عمان ناحیه چابهار

با استفاده از نمودار مثلثی $SiO_2/10 - CaO + MgO - Na_2O + K_2O$ نیز می‌توان در رابطه با سنگ مادر سنگهای رسوبی آواری اظهار نظر کرد. بر این اساس نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سنگهای منشأ حدواسط متمایل به ترکیب گرانیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶).

نسبت Al_2O_3/TiO_2 در رسوبات سیلیسی آواری بر ترکیب سنگ منشأ تأکید دارد، به طوری که این نسبت از ۳ تا ۸ بر سنگهای آذرین مافیک، از ۸ تا ۲۱ بر سنگهای آذرین حدواسط و از ۲۱ تا ۷۰ بر سنگهای آذرین فلسیک دلالت می‌نماید (Hayashi *et al.*, 1997). نسبت Al_2O_3/TiO_2 در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱۲ تا ۱۹ (جدول ۲) است که

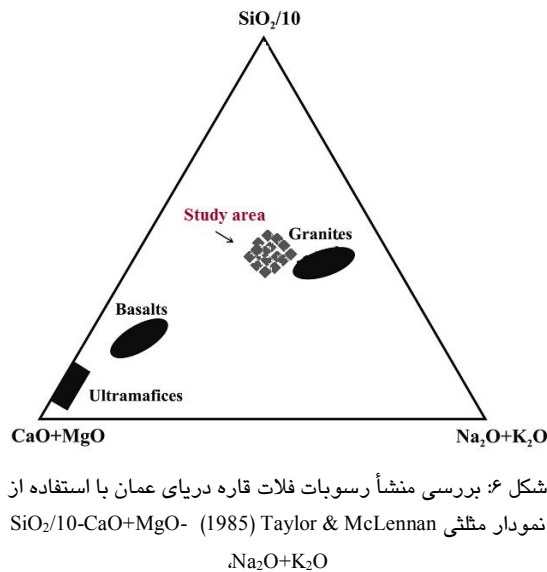
داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌های مورد مطالعه که در توابع تفکیکی فوق محاسبه شده‌اند در شکل ۴ ترسیم شده است و نشان دهنده منشأ رسوبی کوارتزی برای تمامی نمونه‌های مورد مطالعه است. به عقیده برخی محققین منشأ اصلی رسوبات سه دسته سنگهای فلسیک، مافیک و اولترامافیک بوده و منشأ کوارتز رسوبی نیز در محدوده فلسیک در نظر



شکل ۴: نمودار تفکیک کننده تابعی برای تعیین منشأ مجموعه ماسه سنگی - گل سنگی با استفاده از نسبت‌های عناصر اصلی (برگرفته از Roser & Korsch, 1988)

Laird (1972) معتقد است که رسوبات مشتق شده از سنگ مادر کوارتزی از مناطق با رخنمونهای گرانیتی - گنایسی هوازده مشتق شده‌اند، اما Nathan (1976) عقیده دارد این رسوبات حاصل چرخه‌های مجدد رسوب گذاری بوده و احتمالاً از مناطق رسوبی که از پیش وجود داشته‌اند منشأ گرفته‌اند.

به عقیده Taylor & McLennan (1985)، مقایسه نسبت اکسیدهای اصلی رسوبات آواری با سنگ مادرهای احتمالی مانند گرانیت، بازالت و سنگهای اولترامافیک، در تعیین منشأ رسوبات موثر است.



شکل ۶: بررسی منشأ رسوبات فلات قاره دریای عمان با استفاده از نمودار مثلثی Taylor & McLennan (1985) $SiO_2/10$ - $CaO+MgO$ - Na_2O+K_2O .

مؤید یک سنگ منشأ آذرین حدواسط است. براساس نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 (Amajor, 1987) می‌توان منشأ رسوبات را به چهار دسته سنگهای بازالتی، بازالت گرانیت، گرانیت بازالت و گرانیت طبقه بندی کرد. با ترسیم داده‌های نمونه‌های مورد مطالعه (شکل ۷)، بیش از نیمی از نمونه‌ها در ناحیه گرانیت بازالتی و بقیه نمونه‌ها در ناحیه بازالت گرانیتی قرار می‌گیرند. این موضوع نشان می‌دهد که به احتمال زیاد ترکیب منشأ حدواسط تا گرانیتی است.

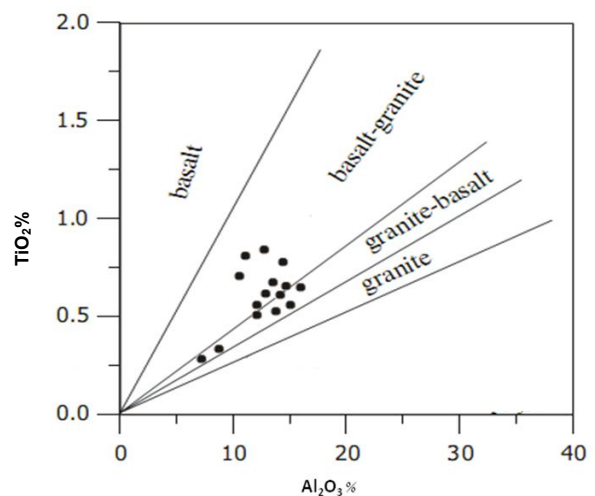
جدول ۲: درصد فراوانی اکسیدهای عناصر اصلی در نمونه‌های رسوبی فلات قاره دریای عمان ناحیه چابهار؛ میانگین فراوانی اکسیدها نیز در جدول آمده است.

Sample No.	72-4	72-14	72-38	73-4	73-30	73-68	74-8	74-14	74-2	62-10	62-16	62-2	63-50	63-8	63-34	Mean
SiO ₂	59.68	59.7	62.92	59.85	59.22	59.74	64.65	63.16	64.72	65.20	63.94	66.67	62.54	62.95	62.72	62.54
TiO ₂	0.98	0.64	0.65	0.65	0.67	0.62	0.75	0.76	0.71	0.49	0.54	0.49	0.73	0.72	0.72	0.65
Al ₂ O ₃	12.11	10.97	11.08	12.61	12.74	10.25	12.67	13.33	12.68	8.97	8.82	8.27	11.93	12.06	11.56	11.12
Fe ₂ O ₃	4.13	3.52	3.30	4.23	4.22	3.4	3.78	4.23	3.58	2.46	2.64	2.35	4	3.67	4.04	3.6
MgO	1.99	1.66	1.58	2.11	2.06	1.62	1.89	2.03	1.79	1.15	1.17	1.15	1.67	1.98	1.76	1.6
CaO	0.9	0.68	0.62	1.47	1.29	1.38	0.64	0.94	0.56	0.82	0.76	0.78	1.22	1.34	1.21	0.85
Na ₂ O	1.47	1.94	1.92	1.63	1.56	1.67	1.53	1.49	1.92	2.24	2.17	2.18	1.66	1.75	1.77	1.9
K ₂ O	3.27	2.45	2.56	2.88	3.12	2.62	3.29	3.52	2.76	1.71	1.95	1.76	3.26	3.1	3.06	2.5
P ₂ O ₅	0.045	0.019	0.019	0.047	0.02	0.019	0.026	0.026	0.028	0.015	0.017	0.01	0.026	0.033	0.028	0.02
MnO	0.016	0.014	0.013	0.018	0.017	0.014	0.014	0.016	0.015	0.011	0.011	0.011	0.015	0.015	0.015	0.015
LOI	16.23	18.02	15.45	14.69	13.87	17.01	10.97	11.32	11.44	16.18	17.24	15.22	13.62	11.66	13.79	13.48
Total	99.79	98.53	99.35	99.17	97.77	97.49	99.34	99.75	99.37	98.66	98.58	98.63	99.73	98.40	99.73	99.53
ICV	0.99	0.99	0.96	0.99	0.89	0.99	0.93	0.97	0.81	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98
CIA	68	68	68	67	68	65	69	69	69	65	64	65	66	66	66	65
PIA	78	76	77	75	76	76	81	80	80	70	70	68	75	74	75	75
K ₂ O/Na ₂ O	2.21	1.26	1.03	1.75	1.99	1.56	2.14	2.32	1.43	0.76	0.89	0.80	1.92	1.75	1.71	1.5
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.27	0.22	0.23	0.22	0.24	0.25	0.26	0.26	0.22	0.19	0.22	0.21	0.27	0.25	0.26	0.22
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	12.27	16.96	16.96	19.11	18.84	16.51	16.84	17.01	16.91	18.32	16.07	16.51	16.24	16.63	15.94	16.11

آب و هوای دیرینه و چرخه مجدد رسوبی

با استفاده از نمودار Suttner & Dutta (1956) و ترسیم داده‌های ناحیه مورد مطالعه (شکل ۸)، شرایط آب و هوای دیرینه در زمان تشکیل رسوبات مورد مطالعه، گرم و خشک و مشابه شرایط کنونی بوده است.

جهت تعیین رسوبات مربوط به چرخه اول رسوبی یا رسوبات حاصل از چرخه مجدد، Cox et al. (1995) اندیس تنوع ترکیبی را بر اساس عناصر به صورت زیر تعریف کرده‌اند:



شکل ۷: نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 برای تعیین منشأ رسوبات آواری فلات دریای عمان (Amajor., 1987)

اکسید غیرمتحرک Al_2O_3 به اکسیدهای متحرک Na_2O ، CaO و K_2O تخمین زد (Nesbitt & Young, 1984, 1989). اندیس دگرسانی شیمیایی (Chemical Index of Alteration = CIA) توسط فرمول زیر محاسبه می شود که در این رابطه اکسیدها به صورت نسبت مولی بیان می شوند (Nesbitt & Young, 1982).

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

CaO^* در این رابطه، کلسیم موجود در اجزای سیلیکاته سنگ است. محدوده CIA از ۵۰ تا ۱۰۰ متغیر بوده و میزان بالای CIA منعکس کننده حذف کاتیونهای ناپایدار (مانند Ca^{2+} ، K^+ ، Na^+ و Al^{3+}) در طی هوازگی و میزان کم CIA نشان دهنده نبود دگرسانی شیمیایی و منعکس کننده شرایط آب و هوایی سرد و یا خشک است (Nesbitt & Young, 1982). میزان CIA محاسبه شده در رسوبات مورد مطالعه، به طور متوسط ۶۴ تا ۶۹ درصد و نشان دهنده میزان دگرسانی شیمیایی کم تا متوسط در رسوبات است که مجدداً با تفسیر شرایط آب و هوای گرم و خشک مطابقت دارد (شکل ۸).

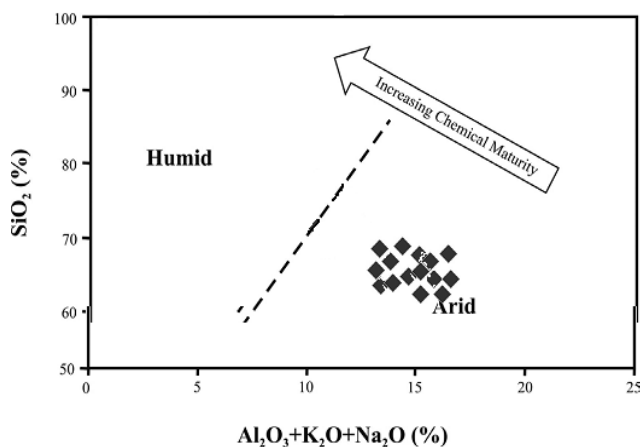
اندیس آلتراسیون پلاژیوکلاز (Fedo *et al.*, 1995) نیز در تعیین شرایط هوازگی پیشین سنگهای رسوبی آواری کاربرد زیادی دارد. این اندیس از طریق فرمول زیر به دست می آید:

$$PIA = 100 \times [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O)]$$

میزان اندیس دگرسانی پلاژیوکلاز در حدود ۵۰، مربوط به سنگهای غیر هوازده و تازه و میزان اندیس دگرسانی پلاژیوکلاز نزدیک به ۱۰۰، نشان دهنده تبدیل کامل فلدسپارها به کانیهای رسی آلومینیوم دار ثانویه از قبیل کائولینیت، ایلیت، و ژپسیت است (Fedo *et al.*, 1995). اندیس PIA در نمونه های مورد مطالعه بین ۷۰ تا ۸۱ است که بر هوازگی شیمیایی قابل توجه در پلاژیوکلاز موجود در رسوبات و تبدیل آن به کانیهای رسی دلالت می نماید.

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

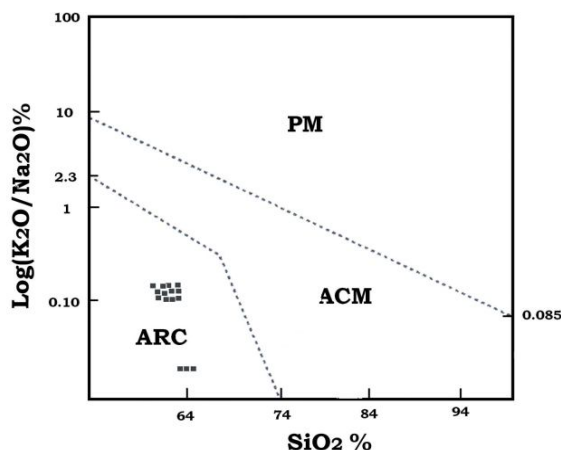
به باور Cox *et al.* (1995)، نمونه های فاقد رس، ICV بالاتری نسبت به نمونه های رسی دارند و نمونه هایی که دارای کانیهای رسی فراوان هستند، ICV کمتری داشته (کمتر از ۱) و در نواحی با بالا آمدگی خیلی کم، همراه با هوازگی شیمیایی نهشته می شوند. نمونه های با ICV بالاتر از ۱، رسوبات چرخه اول در نظر گرفته می شوند در حالی که نمونه های با ICV کمتر از ۱ رسوبات چرخه مجدد یا رسوبات به شدت هوازده از چرخه اول رسوبی تفسیر می شوند (Cullers & Pokovyrow, 2002). میزان ICV در نمونه های مورد مطالعه ۰/۹۶ است. با توجه به آب و هوای گرم و خشک که توسط نمودار (Suttner & Dutta, 1956) نیز تأیید شده است، شرایط هوازگی شدید در مدل رسوبی وجود نداشته و بنابراین رسوبات تشکیل دهنده فلات قاره دریای عمان در چرخه مجدد رسوبی قرار گرفته اند.



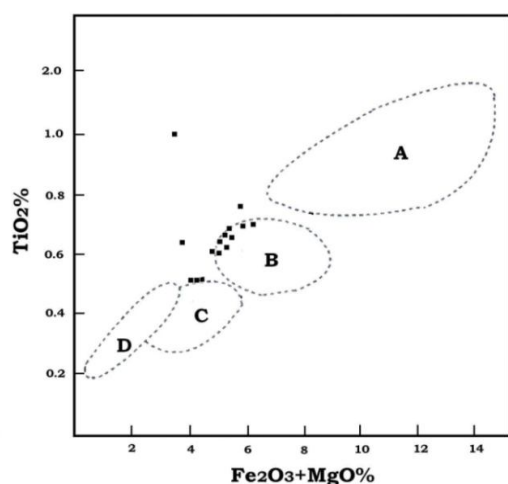
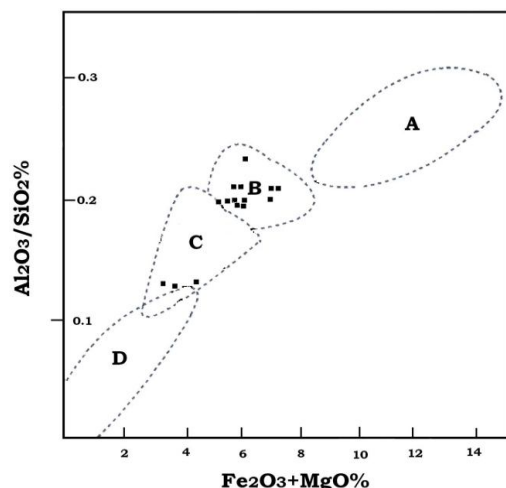
شکل ۸: نمودار آب و هوایی Suttner & Dutta (1986). نمونه های رسوبی مربوط به فلات قاره دریای عمان در محدوده آب و هوایی خشک قرار گرفته اند.

دگرسانی شیمیایی

دگرسانی شیمیایی تأثیر زیادی بر ژئوشیمی عناصر اصلی و کانی شناسی رسوبات سیلیسی آواری می گذارد (Nesbitt & Young, 1982; McLennan, 1993). تاریخچه هوازگی سنگهای آواری را می توان از طریق محاسبه نسبت



شکل ۹: نمودار مربوط به جایگاه تکتونیکی رسوبات آواری فلات قاره دریای عمان (ناحیه چابهار)؛ محدوده‌های تعیین شده عبارتند از: ARC= جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره ای، ACM= حاشیه‌های فعال قاره ای، PM= حاشیه‌های غیرفعال؛ برگرفته از (1986) Roser & Korsch



شکل ۱۰: نمودارهای تفکیک کننده براساس درصد TiO_2 در مقابل $MgO+Fe_2O_3$ و نسبت Al_2O_3/SiO_2 در مقابل $(MgO+Fe_2O_3)$ (برگرفته از Bhatia, 1983)؛ محدوده‌های تعیین شده عبارتند از: جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره ای (B)، حاشیه‌های فعال قاره ای (C) و حاشیه‌های غیرفعال (D).

مقدار PIA به طور کلی نشان دهنده شدت بیشتر هوازدگی در پلاژیو کلازها نسبت به کل رسوبات دربردارنده آن است که با اندیس شیمیایی دگرسانی (CIA) در حدود ۶۴ تا ۶۹ درصد نشان داده شده بود. از آن جا که منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای گرم و خشک و نامطلوب جهت هوازدگی شیمیایی بوده است، دگرسانی ایجاد شده در رسوبات و به ویژه آلتراسیون پلاژیو کلازها به کانیهای رسی را می توان به چرخه‌های مجدد رسوبی و آب شویی رسوبات در پهنه‌های جزرومدی نسبت داد.

جایگاه زمین ساختی

با استفاده از نمودارهای تفکیک تکتونیکی که براساس عناصر اصلی تعریف شده‌اند می توان به جایگاه زمین ساختی مجموعه‌های آواری رسوبی پی برد. در این نمودارها، ماسه سنگها و گل‌سنگها به ۴ جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره ای غیرفعال (PM)، حاشیه قاره ای فعال (ACM)، جزایر کمانی اقیانوسی (OIA) و جزایر کمانی قاره ای (CIA) مرتبند. Bhatia (1983) و Roser & Korsch (1986) و McLennan *et al.* (1990) از ترکیب شیمیایی ماسه سنگها و گل‌سنگها جهت تعیین جایگاه زمین ساختی آن استفاده نموده‌اند. Roser & Korsch (1986) برای تعیین جایگاه تکتونیکی رسوبات آواری نمودار $\log(K_2O/Na_2O)$ در مقابل SiO_2 را معرفی کرده‌اند (شکل ۹). با ترسیم داده‌های رسوبات فلات قاره دریای عمان در این نمودار، کل نمونه‌ها در ناحیه جزایر قوسی قرار می گیرند.

رسوبات عهد حاضر که در محیطهایی چون جزایر قوسی اقیانوسی و قاره ای و حاشیه‌های قاره ای غیرفعال و فعال نهشته شده‌اند، به ویژه از نظر $MgO+Fe_2O_3$ ، Al_2O_3/SiO_2 و TiO_2 دارای ترکیبات متفاوتی هستند. Bhatia (1983) از ترکیبات شیمیایی فوق برای تفکیک محیطهای تکتونیکی استفاده نموده و بر این اساس یک سری نمودارهای دو

بعدی معرفی کرده است که در شکل ۱۰ دو نمونه از آن نمایش داده شده است. با توجه به ترسیم داده‌ها بر روی نمودار تفکیک کننده براساس درصد TiO_2 در مقابل $MgO + Fe_2O_3$ ، از بین ۱۵ نمونه، تعداد ۹ نمونه در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای و ۳ نمونه نزدیک به محدوده حاشیه‌های فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند. همچنین در نمودار دوم (شکل ۱۰) براساس نسبت Al_2O_3/SiO_2 در مقابل $(MgO+Fe_2O_3)\%$ ، تعداد ۱۲ نمونه در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای و ۳ نمونه در ناحیه حاشیه‌های فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند.

با توجه به ویژگی‌های تکنیک فعال و وجود پهنه فرورانش در منطقه مکران، سنگ‌های آتشفشانی حاصل از آن می‌تواند تأثیر زیادی بر روی پراکندگی رسوبات داشته باشد. به طور کلی چهار سری آتشفشان از مناطق مختلف فرورانش گزارش شده است (علیمردانی، ۱۳۷۸) که عبارتند از:

الف) سری تولیتی کوارتز دار که در کمانهای جوان و در حوضچه‌های پشت کمانی مشاهده شده و شامل بازالت تولیتی، سنگ‌های حدواسط و اسیدی است.

ب) سری کالکوالکالن یا سری هیپرستن که مانند سری تولیتی غنی از سیلیس است و درصد Al_2O_3 آن بیش از ۱۷ درصد بوده و در مناطق فرورانش دیده می‌شود.

ج) سری آلکالن فقیر از سیلیس، عناصر آلکالن، عناصر نادر خاکی، مواد فرار، ارتوپروکسن و پیژونیت و حاوی الیون پایدار و دارای فلدسپاتوئید (نفلین - آنالیم، لوسیت) بوده و در داخل صفحات قاره‌ای و اقیانوسی دیده می‌شوند.

د) سری شوشونیتی داخلی که در سلسله جبال آند اهمیت زیادی داشته و در مناطق در حال فرورانش فراوان است، ولی مانند سری کالکوالکالن نمی‌تواند شاخص خوبی برای این مناطق باشد، زیرا سری شوشونیتی در داخل صفحات قاره‌ای نیز دیده می‌شود.

با توجه به درصد بالای SiO_2 در نمونه‌های مورد مطالعه و ترسیم داده‌های ژئوشیمی در منطقه غنی از سیلیس در

نمودارهای تعیین ترکیب منشأ (اشکال ۴ و ۵) و همچنین ترسیم داده‌های ژئوشیمی در محدوده ترکیب حدواسط متمایل به فلسیک (شکل ۶ و ۷)، می‌توان از چهار سری آتشفشانی فوق، سری تولیتی غنی از سیلیس را که حاوی مقادیر زیاد Al_2O_3 نیز بوده و شامل سنگ‌های حدواسط و اسیدی است، به عنوان منشأ رسوبات آواری منطقه فلات قاره دریای عمان در نظر گرفت. رسوبات حاصل از فرسایش سنگ منشأ، پس از حمل و رسوب گذاری در فلات قاره دریای عمان، تحت تأثیر تکنیک فعال و برافزایی ناشی از پهنه فرورانش در منطقه مکران وارد چرخه‌های مجدد رسوبی شده و در طی فرآیند آب‌شویی در پهنه‌های جزرومدی دچار دگرسانی شیمیایی شده‌اند.

نتیجه‌گیری

رسوبات فلات قاره دریای عمان دارای فراوانی بالایی از Na_2O ، K_2O ، Ti_2O ، Al_2O_3 و SiO_2 می‌باشند. مقادیر CIA (چرخه مجدد رسوبی) و PIA (اندیس شیمیایی آلتراسیون و اندیس آلتراسیون پلاژیوکلاز) در نمونه‌های مربوطه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. بر اساس این شواهد، رسوبات تشکیل دهنده فلات قاره دریای عمان حاوی رسوبات تحت چرخه مجدد رسوبی می‌باشند. رسوبات مورد مطالعه از هوازدهی سنگ منشأ حاصل شده‌اند و پس از حمل و رسوب گذاری در فلات قاره دریای عمان، تحت فرآیندهای جزرومد ساحلی دچار چرخه‌های مجدد رسوب گذاری شده‌اند که نشان دهنده آب و هوای خشک و هوازدهی شیمیایی حاصل آب‌شویی (پهنه‌های جزرومدی) می‌باشد. مطالعه سنگ منشأ رسوبات فلات قاره دریای عمان حاکی از وجود سنگ منشأ کوارتزی تا فلسیک (حدواسط و اسیدی) است. داده‌های ژئوشیمی رسوبات مورد مطالعه بر جزایر قوسی قاره‌ای به عنوان جایگاه اولیه زمین ساختی این رسوبات دلالت می‌نماید.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل در اختیار قرار دادن امکانات و استفاده از آزمایشگاه و همچنین معاونت پژوهشی دانشکده علوم به دلیل پرداخت هزینه‌های آنالیز ICP-MS سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

- افشار، ا.، ۱۳۷۲. چابهار و دریای پارس. انتشارات صدیقی، چاپ اول، صص ۳۰ - ۱۰۵.
- علیمردانی، م.، ۱۳۷۸. پدیده‌های درونی زمین و پیوند آنها با زمین‌شناسی ساختمانی صفحه‌ای. آستان قدس رضوی (به نشر)، چاپ اول، صص ۲۴۷ - ۲۸۹.
- Adel, I.M., Akarish, Amr., & El-Gohary, M., 2008. Petrography and geochemistry of lower Paleozoic sandstones, East Sinai, Egypt: Implications for provenance and tectonic setting. *Journal of African Earth Sciences*, 52: 43-54.
- Amajor, L.C., 1987. Major and trace element geochemistry of Albian and Turronian shales from the Southern Benue trough, Nigeria. *J. Afr. Earth Sci.*, 6: 633-641.
- 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 (2): 285-297.
- Bauluz, B., Mayayo, M.J., Fernandez-Nieto, C., & Lopez, J.M.G., 2000. Geochemistry of Precambrian Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance and tectonic setting. *Chemical Geology*, 168: 135-150.
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *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 mudstones and high-grade schists using log ratio techniques. *J. Geology*, 104: 279-293.
- Cox, R., Lowe, 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 (14): 2919-2940.
- Condie, K.C., Boryta, M.D., Liu, J., & Qian, X., 1992. The origin of khondalites: Geochemical evidence from the Archean to Early Proterozoic granulite belt in the North China craton. *J. Precambrian Research*, 59: 207-223.
- Condie, K. C., Dengate, J., & Cullers, R. L., 1995. Behavior of rare earth elements in paleoweathering profile on granodiorite in the Front Range, Colorado, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 279-294.
- Crook, K. A. W., 1974. Lithogenesis and geotectonics: the significance of compositional variation in flysch arenites (greywackes). *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Pub.*, 19: 304-310.
- Cullers, R.L., & Podkovyrov, V.N., 2002. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia. *Precambrian Research*, 117: 157-183.
- Das, B.K., AL-Mikhlaifi, A.S., & Kaur, P., 2006. Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *J. Asian Earth Science*, 26: 649-668.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., & Young, G.M., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *J. Geology*, 23: 921-924.
- Folk, R.L., 1980. Petrology of sedimentary rocks. *Hemphill*, Austin, Texas, 159 pp.
- Hayashi, K., Fujisawa, H., Holland, H., & Ohmoto, H., 1997. Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61 (19): 4115-4137.
- Huntsman-Mapila, P., Tiercelin, J., Benoit, M., Ringrose, S., Diskin, S., Cotton, J., & Hémond, C., 2009. Sediment geochemistry and tectonic setting: Application of discrimination diagrams to early stages of

- intracontinental rift evolution, with examples from the Okavango and Southern Tanganyika rift basins. *Journal of African Earth Sciences*, 53: 33–44 p.
- Laird, M.G., 1972. Sedimentology of the Greenland Group in the Paparoa Range, West Coast, South Island. *N.Z.J. Geol. Geophys*, 15: 372-393.
- Madhavaraju, J., & Ramasamy, S., 2002. Petrography and geochemistry of Late Maastrichtian - Early Paleocene sediments of Tiruchirapalli Cretaceous, Tamil Nadu - Paleoweathering and provenance implications. *Journal of the Geological Society of India*, 59: 133-142.
- McLennan, S.M., 1993. Weathering and global denudation. *J. Geology*, 101: 295- 303.
- McLennan, S.M., Taylor, S.M., McCulloch, M.T., & Maynard, J.B., 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonics. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54: 2015–2050.
- McCall, G.J.H., & Kidd, R.G.W., 1982. The Makran, Southeastern Iran: the anatomy of a convergent plate margin active from the Cretaceous to present. In: Leggett, J.K., (ed.), *Trench-Forearc Geology: Sedimentation and Tectonics on Modern and Ancient Plate Margins. Geological Society of London Special Publications*, 10: 387-397.
- Nathan, S., 1976. Geochemistry of the Greenland Group (early Ordovician), New Zealand. *N.Z. J. Geol. Geophys*, 19: 683-706.
- 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., & Young, G.M., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based upon thermodynamic and kinetic consideration. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 1523-1534.
- Nesbitt, H.W., & Young, G.M., 1989. Formation and diagenesis of weathering profile. *J. Geology*. 97: 129-147.
- Ramasamy, N., Jayagopal, M., Raghavendra, N., John, S.A., & Jacques, M., 2007. Geochemistry of Neoproterozoic shales of the Rabanpalli Formation, Bhima Basin, Northern Karnataka, southern India: implications for provenance and paleoredox conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 24: 150-160.
- Potter, P.E., 1978. Petrology and chemistry of modern big river sands. *J. Geology*, 86: 423-449.
- Roser, B.P., & Korsch, R.J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and KO ratio. *Journal of Geology*, 94 (5): 635-650.
- Roser, B.P., & Korsch, R.J., 1988. Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminate function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67: 119–139.
- 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. *N.Z.J. Geol. Geophys.*, 39: 1-16.
- Suttner, L.J., & Dutta, P.K., 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 329-345.
- Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S., & Yu, J., 2006. Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting and catchment weathering. *Geomorphology*, 80: 147–163.
- Taylor, S.R., & McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. *Blackwell Scientific Publications*, Oxford, p. 312.

Geochemistry of siliciclastics major elements in Oman continental shelf, Chabahar: Implications for provenance, paleoclimatic conditions and tectonic setting

Amjadi, S.¹, Mahmudy Gharaie, M.H.^{2*}, Moussavi-Harami, R.³, Mahboubi, A.³, Alizadeh, H.⁴

1- M.Sc. in Sedimentology, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Sciences, Tehran, Iran

***E-mail: mhmgharaie@ferdowsi.um.ac.ir**

Abstract

For interpretation of source of sediments, paleoclimatic conditions and tectonic setting of marine sediments in Makran region, Chabahar, fifteen samples from five cores from Oman continental shelf sediments have been analyzed. Analyses of major elements revealed that the dominant source may have been from felsic and intermediate rocks. The positive correlation of Al_2O_3 with K_2O and CaO , and abundance of Al_2O_3 suggest that these elements are primarily controlled by the dominant clay minerals. Based on major element geochemistry, the climatic conditions is warm and arid and Chemical Index of Alteration (CIA) and Plagioclase Index of Alteration (PIA) values of sediments show that chemical alteration may have done by leaching. However, a value of ICV is indicative of recycled sediment. The quartz–toleitic rocks are likely to be the main source for sediments, which are common in back arc zone of Makran subduction. This sediment is product of long washed recycled sediments after several uplifting stages in active Makran subduction zone.

Keywords: Geochemistry, sediments origin, tectonic setting, (CIA), (PIA), paleoclimate, Oman Sea, Chabahar.