

رسوب‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های خط ساحلی خلیج فارس در محدوده بندر بوشهر

بهمن کیانی‌شاهوندی^۱، علی مقیمی‌کندلوس^{۲*}، مژگان صلواتی^۲ و سعید حکیمی‌آسیابر^۲

۱- دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

نویسنده مسئول: Ali.moghimi.ks@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۲۹ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

خلیج فارس پر اهمیت‌ترین اکوسیستم آبی در آسیای باختری و منطقه خاورمیانه است. ساحل این خلیج در محدوده بندر بوشهر از مهم‌ترین سواحل تفریحی و تجاری کشور می‌باشد. به منظور بررسی رسوب‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های خط ساحلی خلیج فارس در محدوده این بندر تعداد ۲۸ نمونه رسوب سطحی برداشت شده و مورد آنالیز دانه‌بندی و آنالیز ژئوشیمیایی فلورسانس پرتوایکس قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد رسوبات این ساحل دارای بافت ماسه‌ای با مقدار کمی گراول بوده که حاکی از انرژی مداوم در این ساحل و شسته شدن ذرات گل می‌باشد. نتایج ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که بیشترین غلظت اکسید را اکسید SiO_2 و CaO دارند. بررسی سنگ منشاء و جایگاه تکتونیکی این نهشته‌ها نشان دهنده ترکیب اولیه گریوکی و لیت‌آرنایتی و جایگاه تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای می‌باشد. جورشدگی هیدرولیکی نیز نشان دهنده ترکیب نابالغ تا بلوغ متوسط این رسوبات بوده که شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک با رسیدگی شیمیایی متوسط را نشان می‌دهند. در مجموع وجود مشابهت شرایط تکتونیکی و آب و هوای دیرینه این نهشته‌ها با توالی زاگرس، نشان دهنده وجود سازندهای زاگرس به عنوان منشاء اصلی این نهشته‌ها می‌باشد.

واژگان کلیدی: رسوب‌شناسی، ژئوشیمی، خلیج فارس، بندر بوشهر

۱- پیشگفتار

هوای دیرینه، می‌تواند در تعیین شاخص‌های آلاینده‌گی و زیست‌محیطی نقش بسزایی داشته باشد. ضمن این که بررسی ژئوشیمیایی رسوبات، می‌تواند گامی مهم در کنترل آثار نامطلوب فرایندهای آلاینده ذکر شده باشد. از جمله مطالعات مشابه می‌توان به پژوهش‌های بهبهانی و همکاران (۲۰۱۴) بر روی رسوبات خورموسی، بزی و همکاران (۲۰۱۴) بر روی رسوبات خلیج گواتر، آفرین و همکاران (۲۰۱۴) بر روی نهشته‌های ساحل چابهار، باقری (۲۰۱۷) بر روی رسوبات سواحل جنوبی خزر، غلامدخت بندری و همکاران (۲۰۱۵) بر روی رسوبات ساحل جزیره هرمز و معافی مدنی و همکاران (۲۰۲۳) بر روی نهشته‌های دور از ساحل دریای خزر، در محدوده شهر بابلسر اشاره نمود.

مهم‌ترین عاملی که مقدار عناصر در رسوبات آواری یا تخریبی را کنترل می‌کند، خاستگاه آن‌ها است که عمدتاً به صورت مواد آواری حمل شده، و مشخصات شیمیایی خاستگاه را نشان می‌دهند (فنگ و همکاران، ۲۰۲۳؛ تنگ و همکاران، ۲۰۲۳). رسوبات آواری یا تخریبی با سنگ‌های مادر متفاوت که تحت تأثیر هوازدگی و فرسایش و در نهایت رسوب‌گذاری قرار گرفته‌اند، بر اساس شرایط فیزیکوشیمیایی متعدد ته‌نشست می‌شوند (گریگار و همکاران، ۲۰۲۰). به عبارتی، نهشته‌های آواری ته‌نشست یافته می‌توانند بیانگر وضعیت مورفوتکتونیک محیطی باشند که سازندهای تغذیه کننده آن‌ها در آن محیط تشکیل گردیده‌اند (لی و همکاران، ۲۰۲۳). یکی از روش‌های شناسایی شرایط تکتونیکی تشکیل سازندهای تغذیه کننده رسوبات، بررسی ژئوشیمیایی عناصر اصلی می‌باشد توزیع ژئوشیمیایی عناصر در رسوبات عهد حاضر، علاوه بر کمک در تعیین وضعیت مورفوتکتونیک و آب و

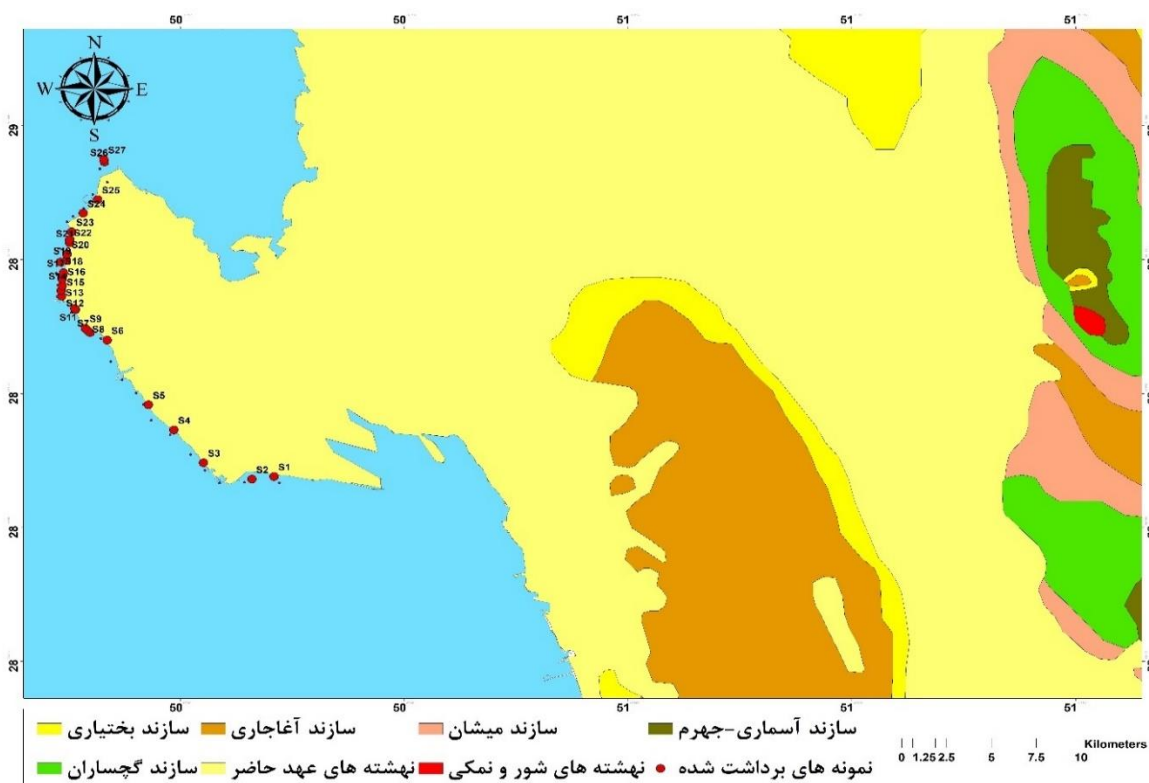
۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس پراهمیت‌ترین اکوسیستم آبی در آسیای باختری و منطقه خاورمیانه است که در امتداد دریای عمان و در میان ایران و شبه‌جزیره عربستان قرار دارد (خزعلی،

می‌کند به طوری که در دریا این شیب به ۱۰ تا ۲۰ درجه می‌رسد. محور اصلی خلیج فارس نیز یکی از پیامدهای زمین‌ساختی پدیده چین‌خوردگی زاگرس است که در دوران پلیو-پلیستوسن شکل گرفته است. در پایان دوره پلیوسن، سطح دریا احتمالاً ۱۵۰ متر بالاتر از سطح کنونی بوده است. این سطح در حدود صد هزار سال پیش از میلاد مسیح و به تدریج به سطح کنونی رسیده است که آثار آن به صورت پادگانه‌های دریایی و سخا، در کرانه‌های جنوبی خلیج فارس بر جای مانده است. استان بوشهر از نظر زمین‌شناسی در زون زاگرس و واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده یا زاگرس خارجی قرار دارد منطقه بوشهر از نظر ساختمانی ساده بوده و منحصر به چین‌خوردگی‌های بسیار ملایم با روند شمال باختر- جنوب خاور می‌باشد که از روند کلی زاگرس تبعیت می‌کند. سنگ‌ها و رسوبات مربوط به مزوزوئیک و سنوزوئیک در این ناحیه رخنمون داشته ولی قسمت اعظم منطقه را رسوبات نئوژن پوشانیده است (قربانی، ۲۰۲۱). این نهشته‌ها شامل رسوبات سازندهای آسماری-جهرم، میشان، آغاچاری، بختیاری و رسوبات منتسب به سری نمکی هرگز می‌باشند (شکل ۱).

(۲۰۲۱). سواحل این خلیج در جنوب کشور ایران عموماً دارای مهم‌ترین بنادر می‌باشند. شکل ساحلی خلیج فارس در مجاورت ایران از نوع طولی است که موازی با محور ارتفاعات مجاور است که گاهی تراکم آبرفت‌ها فاصله زیادی بین خط ساحل و ارتفاعات زاگرس ایجاد کرده مانند، جلگه بوشهر و گاهی دامنه تاقدیس‌ها در خط ساحلی قرار گرفته‌اند مانند، باختر خورموج.

از دیدگاه زمین‌شناسی، خلیج فارس فرونشست زمین‌ساختی کم ژرفایی است که در دوره ترشیاری پیشین در حاشیه جنوبی رشته‌کوه زاگرس تشکیل شده است (قربانی، ۲۰۲۱؛ بندی و همکاران، ۲۰۲۱). خلیج فارس بازمانده گودال بزرگی است که از دوران گذشته زمین‌شناختی تحت تأثیر فشار ناشی از آتشفشان‌های فلات ایران و پایداری فلات عربستان در مقابل این واکنش‌های تکتونیک، بر پهنا و ژرفای آن افزوده شد (غضبان، ۲۰۱۲). شدیدترین چین‌خوردگی‌های دوران پلیو-پلیستوسن، کرانه‌های شمالی خلیج فارس (زاگرس) را چین داده است. میزان این چین‌خوردگی‌ها که در خشکی کشور ایران شدید است با شیب‌های کمتر به طرف دریا ادامه پیدا



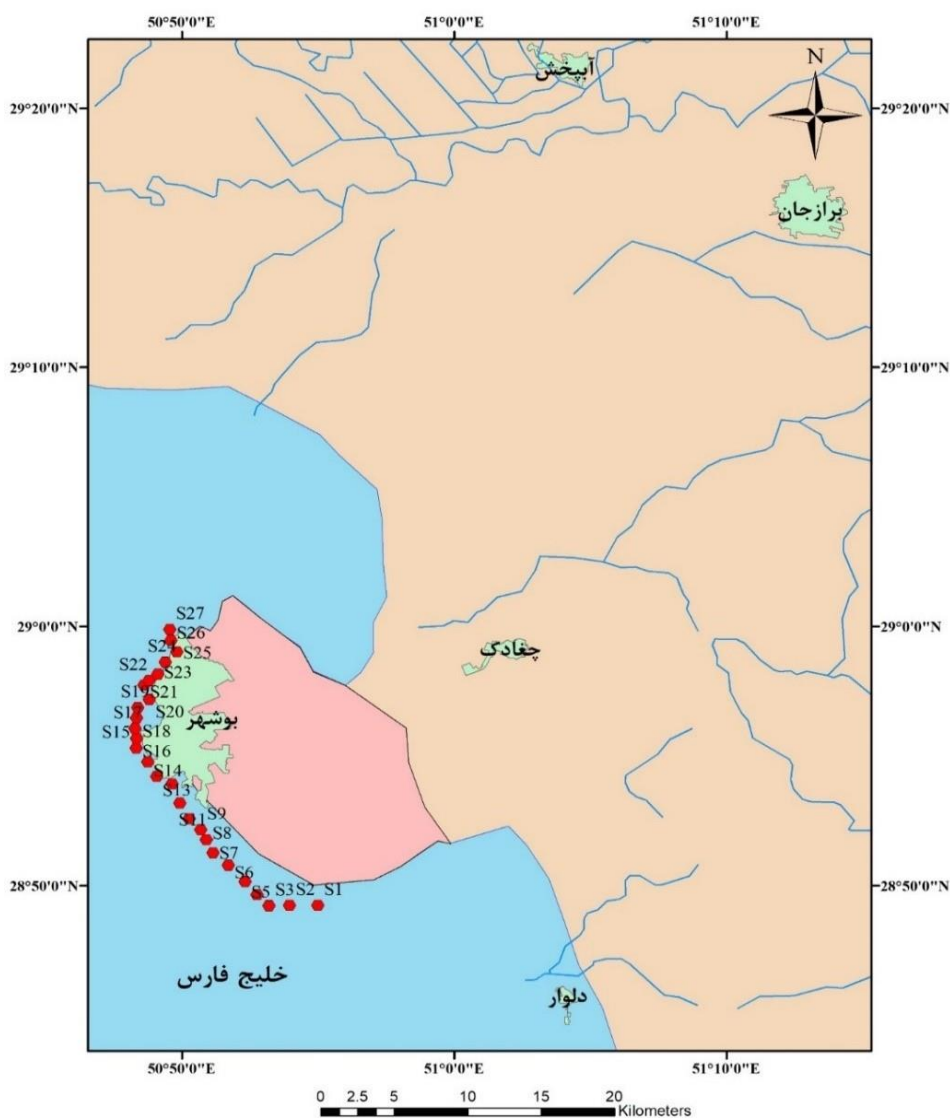
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی محدوده بندر بوشهر برگرفته از نقشه ۱ به ۲۵۰ هزار بوشهر و موقعیت نقاط نمونه‌برداری

Fig. 1. Geological map of Bushehr port area taken from Bushehr 1 to 250 thousand map and location of sampling points

۳- مواد و روش‌ها

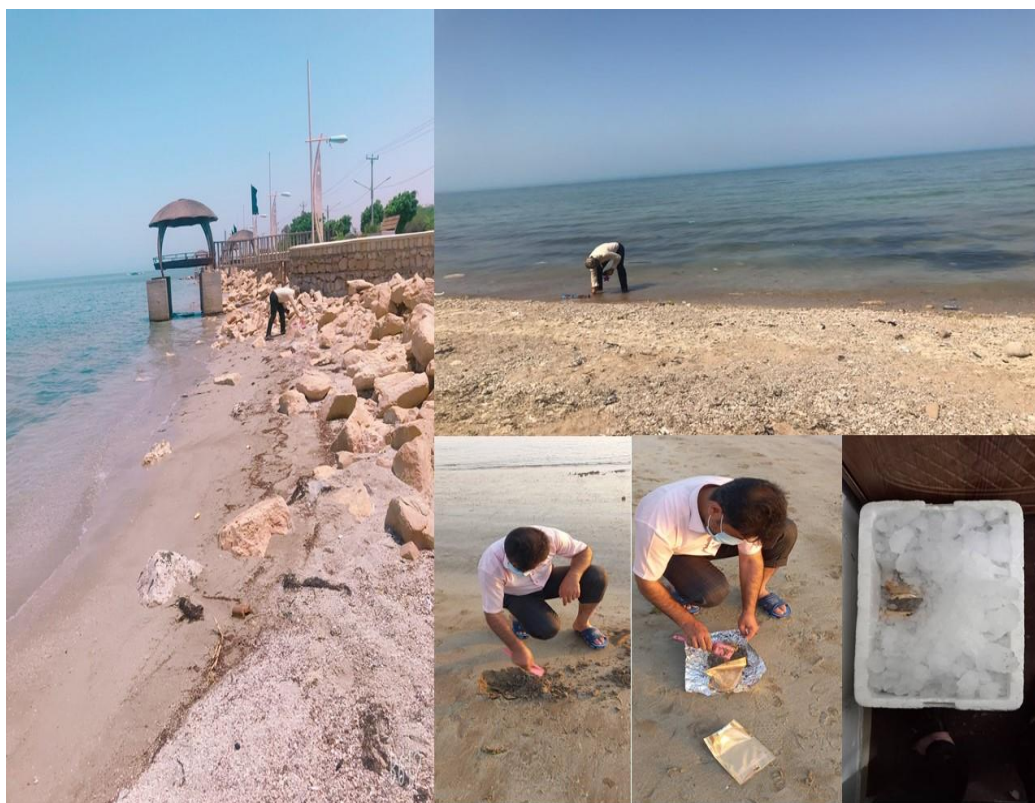
نمونه‌برداری در خط ساحل بندر بوشهر به صورت سیستماتیک صورت گرفت. در این روش تعداد ۲۵ ایستگاه به فاصله ۱ کیلومتری از هم مشخص گردید (شکل‌های ۲ و ۳). در بعضی ایستگاه‌ها به دلیل مورفولوژی ساحل این فاصله کم و گاهی زیاد شده است. نمونه‌برداری در نوار ساحلی در هنگام جزر صورت گرفت. عملیات نمونه‌برداری از رسوبات سطحی ساحل (۰ تا ۱۰ سانتی‌متری) انجام گرفت و برای نمونه‌برداری از بیلچه پلاستیکی استفاده شد. در هر ایستگاه نمونه‌برداری، نمونه‌های رسوبات سطحی از ۵ نقطه مجزا به فاصله ۱۰ متر از یکدیگر و در چهار راس

و مرکز یک لوزی صورت گرفت. مشابه این روش نمونه‌برداری در پژوهش حسینی بیژکی و همکاران (۲۰۲۰) صورت گرفت. در هر ایستگاه ۵ نمونه برداشت شده بود که قبل از انجام آنالیزها این ۵ نمونه باهم مخلوط شده و یک نمونه از هر ایستگاه برای آنالیز آماده می‌شود. علت این مهم کاهش خطا و افزایش دقت قرائت آنالیزها می‌باشد. ۲۷ نمونه رسوب سطحی برداشت شده از خط ساحلی خلیج فارس مورد آنالیز دانه‌بندی و آنالیز فلورسانس اشعه‌ایکس قرار گرفتند. به منظور بررسی‌های رسوب‌شناسی از شاخص‌های میانگین، جورشدگی، کشیدگی و کج‌شدگی استفاده شده که بر مبنای روابط فولک (۱۹۸۰) محاسبه شده‌اند.



شکل ۲. موقعیت نمونه‌های برداشت شده از خط ساحلی بندر بوشهر

Fig. 2. The location of samples taken from the coastline of Bandar Bushehr



شکل ۳. نمایی از ساحل و مراحل نمونه‌برداری از رسوبات سطحی خط ساحلی بندر بوشهر

Fig. 3. A view of the beach and sampling stages of the surface sediments of the coastline of Bandar Bushehr

۴- بحث و نتایج

۴-۱- رسوب‌شناسی

رسوبات ماسه است و تنها در ایستگاه‌های S13 تا S20 بر حجم گراول اضافه می‌گردد که این موضوع تحت تاثیر ساحل صخره‌ای در این محدوده می‌باشد (شکل ۴).

محاسبه پارامترهای بافتی رسوبات در ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز حاکی از این مهم است که جورشدگی ذرات عموماً متوسط و کج شدگی متقارن و یا به سمت ذرات ریز دانه است. این موضوع نشان‌دهنده وجود انرژی مداوم در ساحل است که سبب شده عمده ذرات در اندازه ماسه باشند (جدول‌های ۱ و ۲).

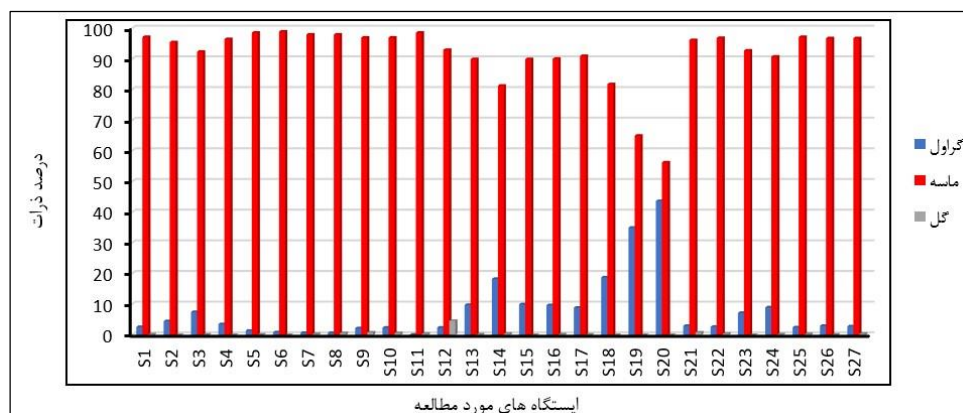
۴-۲- ژئوشیمی

داده‌های ژئوشیمیایی رسوبات آواری اطلاعات بسیار مهمی از دیدگاه رسوب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی ارائه می‌دهند (رضائی و همکاران، ۲۰۲۰؛ معافی مدنی و همکاران، ۲۰۲۳؛ مازالاهی و همکاران، ۲۰۲۳). ترکیب شیمیایی رسوبات و نهشته‌های آواری محصول نهایی عوامل مختلف زمین‌شناسی مانند: جایگاه زمین‌ساختی، ترکیب سنگ منشا، شدت هوازدگی، بلوغ بافتی و کانی‌شناسی در طی حمل و رسوب‌گذاری می‌باشد (رضائی و همکاران، ۲۰۲۰؛ رحمان و همکاران، ۲۰۲۰). پارامترهای

تحلیل توزیع اندازه دانه‌های رسوبی، از اصول ابتدایی زمین‌شناسی، ریخت‌شناسی و اکولوژی است که برای روش‌های استاندارد تحلیلی استفاده می‌شود (گرسانیا و همکاران، ۲۰۲۳؛ محمد و همکاران (۲۰۲۰)؛ آفرین و همکاران (۲۰۲۴). تحلیل توزیع دانه‌های رسوبی برای مقایسه نمونه‌های مختلف با یکدیگر از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا به این وسیله می‌توان به ویژگی‌های مختلف رسوبات و فرآیندهای که باعث تشکیل آن‌ها گردید پی برد (کاراکسیلو و همکاران، ۲۰۲۰). ذرات رسوبی توسط آب و هوا حرکت کرده و با کاهش شدت جریان به تدریج در اندازه‌های مختلف از یکدیگر جدا شده و رسوب می‌نمایند (والدسچلاگر و همکاران، ۲۰۲۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۱). اگر رسوب از چندین منشاء متفاوت سرچشمه گرفته باشد، مخلوطی از ذرات رسوبی در اندازه‌های متفاوت تجمع می‌کند که ممکن است از گراول تا رس باشد. مطالعات دانه‌بندی بر روی نمونه‌های برداشت شده نشان‌دهنده برتری ذرات در اندازه ماسه و گراول نسبت به گل می‌باشد. در کلیه ایستگاه‌ها بافت عمده

کمترین میانگین غلظت نیز متعلق به اکسید و TiO₂ با ۰/۵۲ درصد می‌باشد.

آماره‌ی نتایج اکسیدهای اصلی نهشته‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. بر مبنای این جدول میانگین بیشترین اکسید متعلق به اکسید SiO₂ با ۳۱ درصد و



شکل ۴. فراوانی اندازه ذرات رسوبی در نهشته‌های خط ساحلی بندر بوشهر

Fig. 4. Size abundance of sedimentary particles in the deposits of the coastline of Bandar Bushehr

جدول ۱. پارامترهای آماری ذرات رسوبی (اندازه ذرات فی) در نهشته‌های خط ساحلی بندر بوشهر بر گرفته از روابط فولک (۱۹۸۰)

Table 1. Statistical parameters of sedimentary particles in the coastal deposits of Bandar Bushehr

| S.N | گراول | ماسه | گل | میانگین | تفسیر |
|-----|-------|------|------|---------|------------------|
| S1 | 2.6 | 97.2 | 0.2 | 158 | Fine Sand |
| S2 | 4.5 | 95.5 | 0 | 460 | Medium Sand |
| S3 | 7.5 | 92.4 | 0.1 | 469 | Medium Sand |
| S4 | 3.5 | 96.5 | 0 | 154 | Fine Sand |
| S5 | 1.4 | 98.6 | 0.1 | 158 | Fine Sand |
| S6 | 0.9 | 99 | 0 | 159 | Fine Sand |
| S7 | 0.7 | 98 | 0.3 | 121 | Very Fine Sand |
| S8 | 0.7 | 98 | 0.6 | 122 | Very Fine Sand |
| S9 | 2.2 | 97 | 0.8 | 153 | Fine Sand |
| S10 | 2.4 | 97 | 0.6 | 122.5 | Very Fine Sand |
| S11 | 0.1 | 98.6 | 0.4 | 123 | Very Fine Sand |
| S12 | 2.4 | 93 | 4.6 | 135 | Fine Sand |
| S13 | 9.8 | 90 | 0.2 | 370 | Medium Sand |
| S14 | 18.3 | 81.3 | 0.4 | 378 | Medium Sand |
| S15 | 10 | 90 | | 325 | Medium Sand |
| S16 | 9.7 | 90.1 | 0.2 | 323 | Medium Sand |
| S17 | 8.9 | 91 | 0.1 | 320 | Medium Sand |
| S18 | 18.8 | 81.8 | 0.23 | 743 | Coarse Sand |
| S19 | 35 | 65 | 0.2 | 740 | Coarse Sand |
| S20 | 43.7 | 56.3 | | 1236 | Very Coarse Sand |
| S21 | 3 | 96.2 | 0.8 | 120.5 | Very Fine Sand |
| S22 | 2.7 | 96.9 | 0.4 | 124 | Very Fine Sand |
| S23 | 7.2 | 92.8 | 0 | 220 | Fine Sand |
| S24 | 9 | 90.8 | 0.2 | 223 | Fine Sand |
| S25 | 2.5 | 97.2 | 0.3 | 155 | Fine Sand |
| S26 | 3 | 96.8 | 0.1 | 153 | Fine Sand |
| S27 | 2.8 | 96.8 | 0.4 | 154 | Fine Sand |

جدول ۲. ادامه پارامترهای آماری ذرات رسوبی (اندازه ذرات فی) در نهشته‌های خط ساحلی بندر بوشهر بر گرفته از روابط فولک (۱۹۸۰)

Table 2. Continuation of the statistical parameters of sedimentary particles in the coastal deposits of Bandar Bushehr

| S.N | جورشدگی | تفسیر | کج شدگی | تفسیر | کشیدگی | تفسیر |
|-----|---------|------------------------|---------|--------------------|--------|-----------------------|
| S1 | 2.03 | Poorly Sorted | 0.22 | Coarse Skewed | 1.5 | Very Leptokurtic |
| S2 | 2.034 | Poorly Sorted | 0.21 | Coarse Skewed | 1.5 | Very Leptokurtic |
| S3 | 2.05 | Poorly Sorted | -0.04 | Symmetrical | 1.3 | Leptokurtic |
| S4 | 0.45 | Well Sorted | -0.04 | Symmetrical | 2.4 | Very Leptokurtic |
| S5 | 0.44 | Well Sorted | -0.05 | Symmetrical | 2.6 | Very Leptokurtic |
| S6 | 0.67 | Moderately Well Sorted | 0.14 | Fine Skewed | 0.8 | Platykurtic |
| S7 | 0.44 | Well Sorted | -0.29 | Fine Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S8 | 1.58 | Moderately Well Sorted | -0.19 | Fine Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S9 | 1.58 | Moderately Well Sorted | 0.14 | Fine Skewed | 3.1 | Extremely Leptokurtic |
| S10 | 1.569 | Moderately Well Sorted | -0.24 | Fine Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S11 | 1.5 | Moderately Well Sorted | -0.29 | Fine Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S12 | 1.95 | Moderately Sorted | 0.15 | Coarse Skewed | 1.2 | Leptokurtic |
| S13 | 4.1 | Very Poorly Sorted | 0.26 | Coarse Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S14 | 4.2 | Very Poorly Sorted | 0.28 | Coarse Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S15 | 4.12 | Very Poorly Sorted | 0.28 | Coarse Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S16 | 2.7 | Poorly Sorted | 0.17 | Coarse Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S17 | 2.68 | Poorly Sorted | 0.17 | Coarse Skewed | 1.1 | Leptokurtic |
| S18 | 2.6 | Poorly Sorted | 0.15 | Coarse Skewed | 1.2 | Leptokurtic |
| S19 | 2.68 | Poorly Sorted | 0.41 | Very Coarse Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S20 | 2.07 | Poorly Sorted | 0.41 | Very Coarse Skewed | 0.9 | Mesokurtic |
| S21 | 1.7 | Moderately Sorted | -0.05 | Symmetrical | 0.9 | Mesokurtic |
| S22 | 1.82 | Moderately Sorted | -0.02 | Symmetrical | 2.6 | Very Leptokurtic |
| S23 | 1.9 | Moderately Sorted | 0.5 | Very Coarse Skewed | 1.3 | Leptokurtic |
| S24 | 3.01 | Poorly Sorted | 0.5 | Very Coarse Skewed | 1.07 | Mesokurtic |
| S25 | 1.9 | Moderately Sorted | 0.3 | Coarse Skewed | 1.03 | Mesokurtic |
| S26 | 1.9 | Moderately Sorted | 0.2 | Coarse Skewed | 3.5 | Extremely Leptokurtic |
| S27 | 1.9 | Moderately Sorted | 0.21 | Coarse Skewed | 3.2 | Extremely Leptokurtic |

جدول ۳. پارامترهای آماری اکسیدهای اصلی (درصد) در نهشته‌های ساحل بوشهر

Table 3. Statistical parameters of main oxides in Bushehr beach deposits

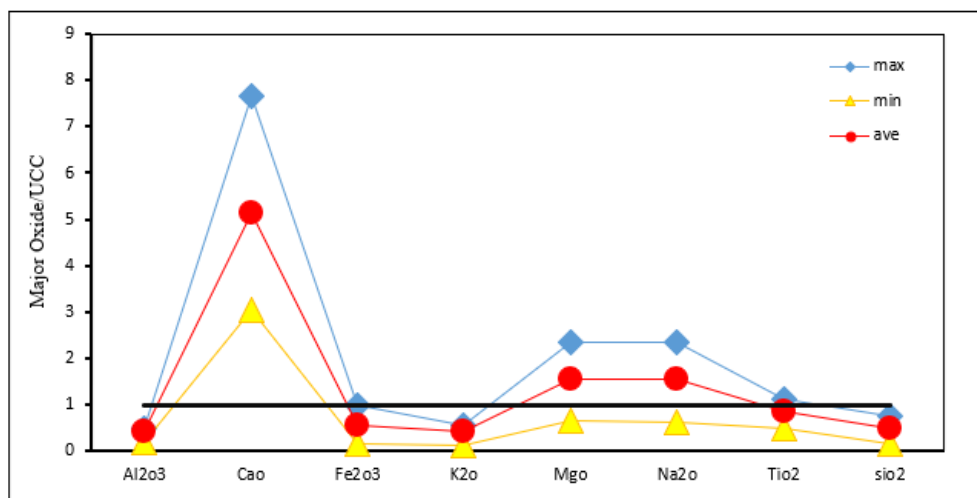
| | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | K ₂ O | MgO | Na ₂ O | TiO ₂ | SiO ₂ | L.O.I |
|-------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------------------|------|-------------------|------------------|------------------|-------|
| Max | 7.78 | 43.62 | 6.41 | 1.6 | 7.28 | 7.27 | 0.68 | 47.15 | 25.2 |
| Min | 3.13 | 17.43 | 1.1 | 0.38 | 2 | 1.94 | 0.30 | 10.53 | 10 |
| Ave | 6.65 | 29.29 | 3.68 | 1.26 | 4.84 | 4.75 | 0.52 | 30.90 | 14.85 |
| UCC | 15.6 | 5.7 | 6.5 | 2.9 | 3.1 | 3.1 | 0.62 | 61.9 | - |
| S.T.D | 1.16 | 6.84 | 1.12 | 0.29 | 0.93 | 1.31 | 0.09 | 7.02 | 0.14 |

همکاران، ۲۰۲۳). زیرا ترکیب شیمیایی قسمت بالایی پوسته، مشخصه‌ای مهم در درک ترکیب و تفاوت شیمی پوسته قاره‌ای در سرتاسر جهان می‌باشد (میسنر و کرن، ۲۰۱۹). بررسی نمودار بهنجارسازی اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد که نهشته‌های مورد مطالعه نسبت به اکسید CaO

با استفاده از نمودارهای بهنجارسازی مشخص می‌شود که رسوب تا چه اندازه با ترکیب پوسته قاره‌ای همخوانی دارد و یکی از پرکاربردترین مقادیر بهنجارسازی در سنگ‌های رسوبی نسبت به میانگین قسمت بالایی پوسته (UCC) می‌باشد (رضائی و همکاران، ۲۰۲۰؛ معافی مدنی و

(کونگوگ و همکاران، ۲۰۲۱). در واقع این تهی‌شدگی می‌تواند به علت تحرک زیاد این عنصر در طی هوازدگی شیمیایی و دگرسانی‌های ثانویه باشد (بهات و همکاران، ۲۰۱۹). اکسید Al_2O_3 در طی هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی نسبتاً بدون تغییر می‌باشد (اوجو و همکاران، ۲۰۲۱؛ حسین و همکاران، ۲۰۲۱). از این‌رو برای بررسی تغییرات میزان اکسیدهای اصلی در نهشته‌های آواری کارایی دارد. وجود همبستگی مثبت بین Al_2O_3 و SiO_2 نشان‌دهنده وجود فاز کانی‌های رسی در کنار کوارتز در نهشته‌های مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۶-ب). همبستگی کم اکسید Al_2O_3 با اکسید CaO نیز در ارتباط مستقیم با کانی کلسیت به عنوان فاز اصلی می‌باشد. همچنین همبستگی منفی Al_2O_3 و CaO می‌تواند به علت آبشویی کلسیم در طول هوازدگی شیمیایی منطقه باشد (رضائی و همکاران، ۲۰۲۰) (شکل ۶-الف). از سویی دیگر با توجه به اینکه منشاء کلسیم در رسوبات مورد مطالعه عمدتاً شیمیایی و بیوژنیک یا زیستی بوده و منشا Al این رسوبات آواری است لذا ارتباط کم این دو اکسید قابل توجیه است.

غنی‌شدگی دارند و نسبت به اکسیدهای SiO_2 ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، Na_2O و K_2O دارای تهی‌شدگی می‌باشد (شکل ۵). تهی‌شدگی اکسیدهای Al_2O_3 ، Na_2O و K_2O نشان دهنده آبشویی این عناصر به وسیله هوازدگی شیمیایی در منطقه منشاء می‌باشد (کای و همکاران، ۲۰۲۱؛ برزگر و همکاران، ۲۰۲۳) و همچنین این موضوع می‌تواند ناشی از تحرک بیشتر این عناصر در طی جابه‌جایی باشد (نکومو، ۲۰۲۰). تهی‌شدگی در میزان Al_2O_3 همچنین بیانگر کمبود کانی‌های رسی و فراوانی رسوبات کربناته با منشاء شیمیایی می‌باشد (زائو و همکاران، ۲۰۱۹؛ برزگر و همکاران، ۲۰۲۳). غنی‌شدگی CaO در نمونه‌ها نشان دهنده وجود کلسیت به عنوان فاز اصلی کانی نهشته‌های مورد مطالعه می‌باشد. تهی‌شدگی Al_2O_3 و SiO_2 ناشی از عدم هوازدگی شدید و حمل کم رسوبات می‌باشد (جیلانی و همکاران، ۲۰۲۳). تهی‌شدگی SiO_2 نشان‌دهنده بلوغ پایین نهشته‌ها نیز می‌باشد (بهات و همکاران، ۲۰۱۹). تهی‌شدگی Na_2O به دلیل پایداری کم در فرآیندهای حمل و نقل می‌باشد که سبب از بین رفتن آن‌ها می‌شود



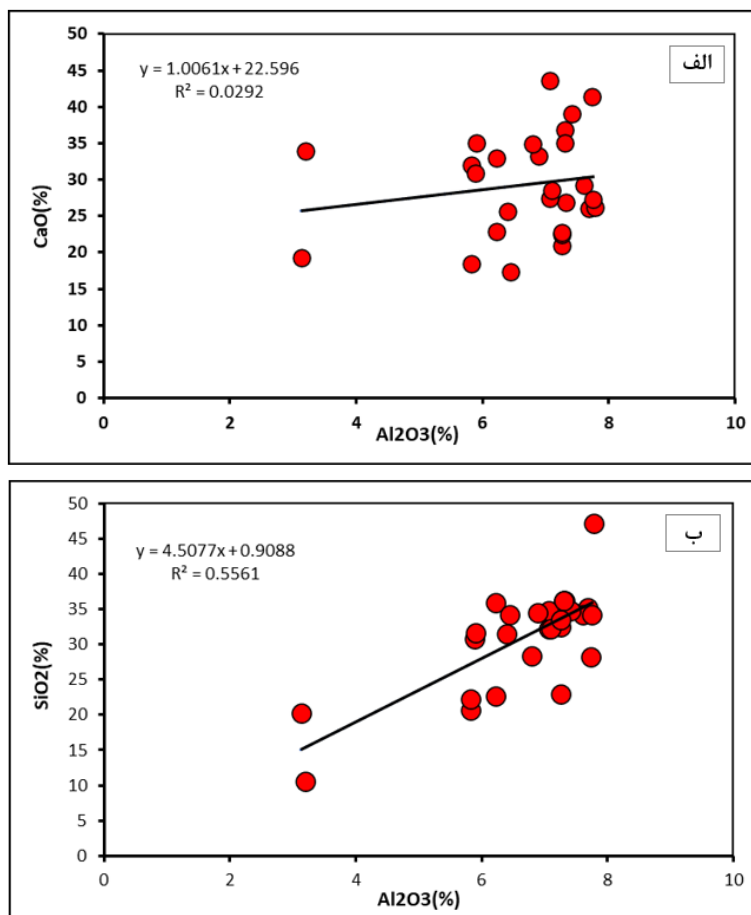
شکل ۵. نمودار بهنجارسازی اکسیدهای اصلی در رسوبات خط ساحلی خلیج فارس در محدوده بندر بوشهر

Fig. 5. The normalization diagram of the main oxides in the sediments of the Persian Gulf coastline in the area of Bushehr port

شد. با توجه به این نمودار نیز، ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها لیتارنایت و گری‌وکی تعیین گردید (شکل ۷). شرایط و جایگاه تکتونیکی تاثیر مستقیم بر ترکیب رسوبات دارد بنابراین استفاده از داده‌های ژئوشیمی نشان می‌دهد هر جایگاه تکتونیکی ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی متفاوتی دارد (سلام، ۲۰۲۰).

۳-۴- تعیین سنگ منشا و جایگاه تکتونیکی

ترکیب رسوبات و سنگ‌های رسوبی توسط نوع سنگ منشاء، مسافت حمل و نقل و فرآیندهای دیاژنزی کنترل می‌شود (مرتضوی‌مهریزی و همکاران، ۲۰۲۳). هر چند موقعیت زمین‌ساختی حوضه رسوب‌گذاری نیز در این امر نقش مهمی دارد. برای شناخت ترکیب سنگ‌شناختی نمونه‌های مورد مطالعه از نمودار هرون (۱۹۸۸) استفاده



شکل ۶. نمودار هارکر (۱۹۰۹؛ الف) اکسید آلومینیوم در برابر اکسید سیلیسیم و ب) اکسید آلومینیوم در برابر کلسیم
 Fig. 6. Harker's diagram (Harker, 1909), A: Aluminum oxide versus silicon oxide, B: Aluminum oxide versus calcium

این اندیس، فراوانی آلومینیوم نسبت به سایر کاتیون‌های اصلی را اندازه می‌گیرد. کانی‌های فاقد رس، اندیس بالاتری نسبت به کانی‌های رسی دارند و نمونه‌هایی که کانی‌های رسی فراوانی دارند اندیس کمتر از ۱ دارند و در نواحی با نرخ بالآمدگی خیلی کم و هوازدگی شیمیایی شدید تشکیل می‌شوند. نمونه‌هایی با میزان بالاتر از یک به احتمال زیاد رسوبات سیکل اول هستند و آن‌هایی که ICV کمتر از یک داشته، ممکن است رسوبات چرخه مجدد یا رسوبات به شدت هوازده از سیکل اول رسوبی باشند. میزان متوسط این اندیس در نهشته‌های خط ساحلی بوشهر ۲/۸ می‌باشد که نشان‌دهنده ترکیب نابالغ تا بلوغ متوسط رسوبات تشکیل دهنده خط ساحلی می‌باشد. در پژوهشی مشابه زارع‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) این اندیس را در سواحل بندرعباس ۱/۸۷ محاسبه کرده و ترکیب رسوبات ساحل خلیج‌فارس را نابالغ معرفی نموده که نشان‌دهنده غنی بودن رسوبات از کانی‌های سازنده‌های بالادست خود می‌باشد. این نتایج تاییدی بر هوازدگی شیمیایی متوسط

بر اساس نمودار (باتیا، ۱۹۸۳)، نهشته‌های خط ساحلی ساحل خلیج‌فارس در محدوده بندر بوشهر در جایگاه حاشیه فعال قاره‌ای قرار دارند (شکل ۸). پیش از این نیز زارع‌زاده (۲۰۱۷) و فرامرزی و همکاران (۲۰۱۵) جایگاه تکتونیکی رسوبات ساحل خلیج‌فارس را حاشیه فعال قاره‌ای و جزایر قوسی معرفی نمودند. همچنین جوکار و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی مشابه در جنوب باختر ایران و جلگه خوزستان جایگاه تکتونیکی این رسوبات را حاشیه فعال قاره‌ای معرفی نمودند. این مهم حاکی از مطابقت جایگاه تکتونیکی این نهشته‌ها با شرایط تکوین تکتونیکی زاگرس دارد.

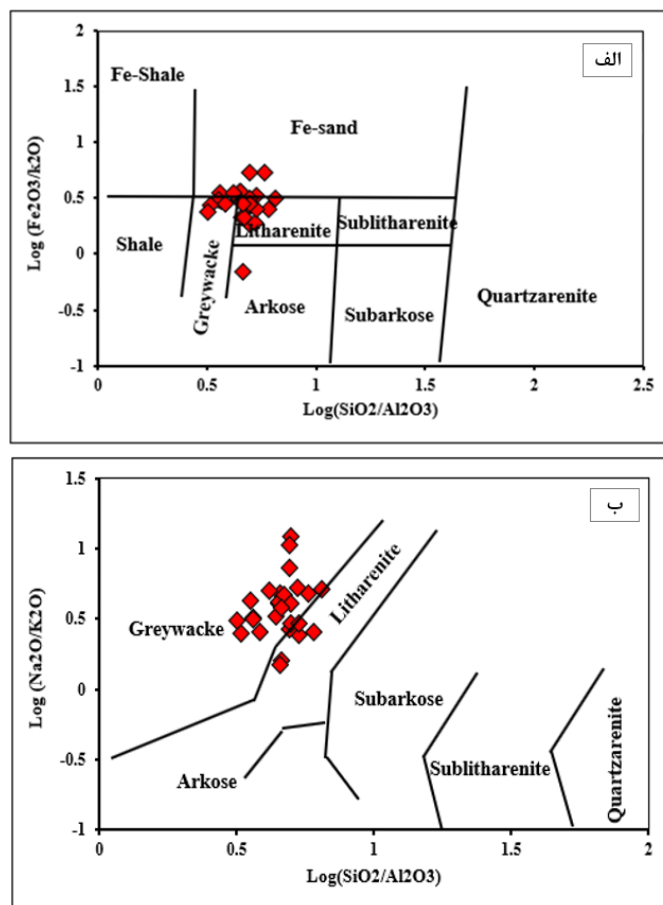
۴-۴- جورشدگی هیدرولیکی

جهت تعیین رسوبات مربوط به سیکل اول رسوبی یا رسوبات حاصل از چرخه مجدد رسوبی از اندیس تنوع ترکیبی بر اساس عناصر اصلی استفاده می‌شود:

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

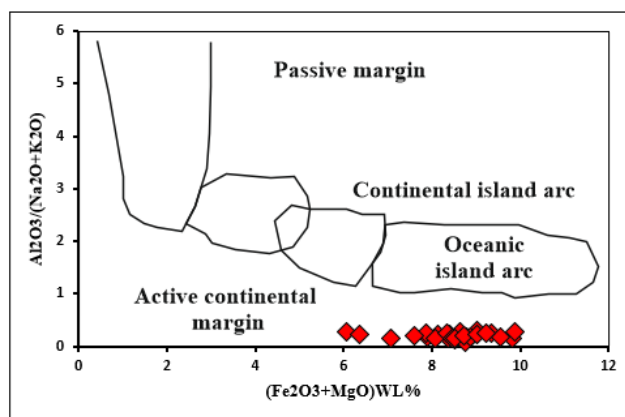
توجه‌ای را نسبت به افزایش بسیار اندک Th/Sc دارد (رحمان و سوزوکی، ۲۰۰۷). رسوبات خط ساحلی بندر بوشهر در این دیاگرام در محدوده چورشدگی ضعیف (تنوع ترکیبی) قرار گرفته‌اند (شکل ۹).

و نرخ بالآمدگی بالا در منطقه می‌باشد چورشدگی رسوبی و چرخه مجدد از طریق انطباق Th/Sc در مقابل Zr/Sc قابل مشاهده است (مکلنن، ۱۹۸۳). رسوبات چرخه اول انطباق مثبتی را بین این نسبت‌ها نشان می‌دهد در حالی که در رسوبات چرخه مجدد نسبت Zr/Sc افزایش قابل



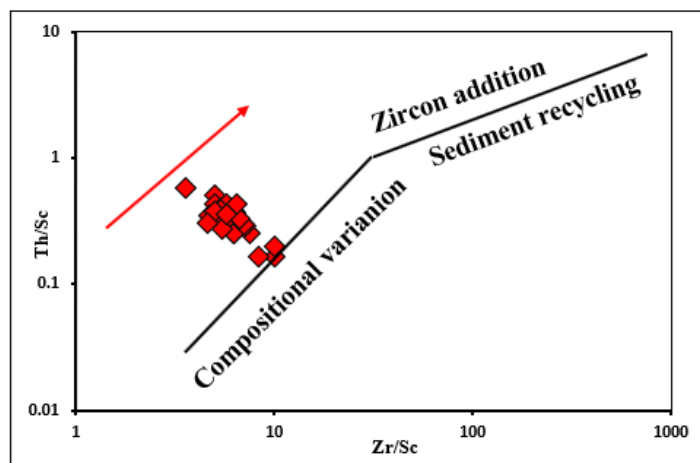
شکل ۷. الف) نمودار تعیین ترکیب سنگ‌شناسی $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ و ب) نمودار تعیین ترکیب سنگ‌شناسی $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ (هرون، ۱۹۸۸)

Fig. 7. A) Lithological composition determination diagram $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$, B) Lithological composition determination diagram $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ (Heron, 1988)



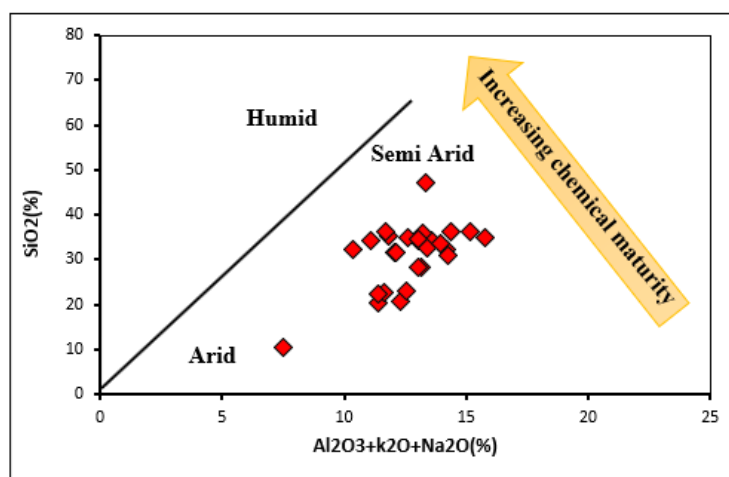
شکل ۸. نمودار تفکیک جایگاه‌های تکتونیکی برای رسوبات خط ساحلی بندر بوشهر (باتیا، ۱۹۸۳)

Fig. 8. Tectonic site separation diagram for the sediments of the coastline of Bandar Bushehr (Bhatia, 1983)



شکل ۹. انطباق نسبت توریم به سزیم در مقابل زیرکن به سزیم به منظور تعیین نوع و جورشدگی رسوبات (مکلنن، ۲۰۰۱)

Fig. 9. Correspondence of Th/Sc vs. Zr/Sc ratio in order to determine the type and weathering of sediments (McLennan, 2001)



شکل ۱۰. نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار آب و هوایی ساتنر و داتا (۱۹۸۶)

Fig. 10. Samples studied in climate diagram (Suttner and Dutta, 1986)

مطالعه بر روی این دیاگرام نشان‌دهنده شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک با رسیدگی شیمیایی متوسط می‌باشد (شکل ۹). با توجه به قرارگیری خلیج‌فارس در منطقه اقلیمی خشک و احاطه شدن توسط سرزمین‌های گرم و خشک این نتیجه مورد تایید می‌باشد (ریجل و همکاران، ۲۰۱۰؛ پورسر و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین با توجه به تغییرات جهانی آب و هوایی در هولوسن، در هولوسن میانی (حدود ۵۵۰۰ سال) پیش شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک بر منطقه مورد مطالعه غالب شده است و سبخاها در سواحل گسترش یافته‌اند (جونز، ۲۰۱۱). این موضوع به وسیله نتایج زارع‌زاده (۲۰۱۷) در رسوبات ساحل بندرعباس و جوکار و همکاران (۲۰۲۲) در رسوبات جنوب باختر ایران می‌باشد.

۴-۵- هوازدگی

آب و هوا در میزان هوازدگی ناحیه منشاء موثر است، بنابراین با استفاده از ترکیب سنگ‌های آواری می‌توان میزان هوازدگی را تعیین کرد (بزرگر و همکاران، ۲۰۲۳). پیشینه هوازدگی سنگ‌های رسوبی دیرینه به وسیله بررسی روابط بین عناصر قلیایی و قلیایی خاکی بدست می‌آید (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲). شدت هوازدگی شیمیایی سنگ‌های منشاء عمدتاً بوسیله ترکیب سنگ منشاء، مدت زمان هوازدگی، شرایط آب و هوایی و سرعت بالآمدگی تکتونیکی ناحیه منشاء کنترل می‌شود (رونیکویس و کندی، ۱۹۸۷). نمودار درصد SiO_2 در برابر مجموع درصد کل $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ توسط داتا و ساتنر (۱۹۸۶) برای تعیین شرایط آب و هوایی در زمان رسوب‌گذاری سنگ‌های آواری ارائه شده است. پلات داده‌های مورد

۵- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نهشته‌های خط ساحلی خلیج فارس در محدوده بندر بوشهر، عموماً (بیش از ۹۰ درصد) در اندازه ماسه و گراول می‌باشد. پارامترهای بافتی رسوبات نیز حاکی از این مهم است که جورشدگی ذرات عموماً متوسط و کج‌شدگی متقارن و یا به سمت ذرات ریز دانه است. این موضوع نشان‌دهنده وجود انرژی مداوم در ساحل می‌باشد که سبب شده عمده نهشته‌ها در اندازه ماسه باشند. نتایج ژئوشیمیایی اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد که اکسید SiO_2 بیشترین اکسید موجود در این نهشته‌ها می‌باشد. بررسی نمودار بهنجارسازی اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد که نهشته‌های مورد مطالعه نسبت به اکسید CaO غنی‌شدگی دارند و نسبت به اکسیدهای K_2O ، Na_2O ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، SiO_2 تهی‌شدگی می‌باشد. تهی‌شدگی و غنی‌شدگی این اکسیدها در ارتباط مستقیم با ترکیب کانی‌شناسی این نهشته و شرایط فیزیکی‌شیمیایی حاکم بر محیط‌رسوبی آن‌ها می‌باشد. بررسی روند همبستگی اکسید Al_2O_3 با اکسیدهای اصلی نشان‌دهنده همبستگی مثبت این اکسیدها باهم می‌باشد و تنها با اکسید CaO دارای همبستگی منفی است که این مهم به علت آبشویی کلسیم در طول هوازگی شیمیایی منطقه می‌باشد از سویی دیگر با توجه به اینکه منشا کلسیم در رسوبات مورد مطالعه می‌تواند شیمیایی و بیوژنیک (زیستی) باشد و منشا Al این رسوبات آواری است لذا ارتباط کم این دو اکسید قابل توجیه است. بررسی سنگ منشا و جایگاه تکتونیکی نهشته‌های ساحلی خلیج فارس در محدوده بندر بوشهر نشان‌دهنده لیترانایتی و گریوکی و جایگاه تکتونیکی حاشیه فعال قاره‌ای می‌باشد. جورشدگی هیدرولیکی نهشته‌های خط ساحلی خلیج فارس نشان‌دهنده ترکیب نابالغ تا بلوغ متوسط این رسوبات بوده که شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک با رسیدگی شیمیایی متوسط را نشان می‌دهند. تمامی این نتایج حاکی از شرایط مشابه تکتونیکی و آب و هوایی دیرینه بین رسوبات خط ساحلی خلیج فارس در محدوده بوشهر با زون ساختاری زاگرس در بالا دست این ساحل دارد که موید منشا بودن توالی‌های زاگرس برای رسوبات این ساحل می‌باشد.

References

- Afarin, M., rezaee, P., Hamzeh, M., & Jooybari, S. A (2024) Investigating the effects of monsoon on the textural characteristics of sediments in the Iranian part of the continental plateau of the North Sea of Oman (Chabahar BaytoPasbandar). *Applied Sedimentology*, 12 (23), (in persian).
- Bagheri, H (2017) Sedimentology an mineralogical characteristics of the coastal sediments in the southern part of the Caspian Sea (Iran). *Journal of Marine Science and Technology Rrsearch*, 11(4): 43- 60 . (in persian).
- Barzegar, M., Jafarzadeh, M., Najafzadeh, A., Khaleghi, F., & Mahari, R (2023) Petrography and geochemistry of Doroud formation sandstones in the Zal section, Eastern Azarbaijan: implication on provenance, tectonic setting and paleoweathering. *Applied Sedimentology*, 11(21): 62-78. (in persian).
- Bazzi, A. O., Boomeri, M., Rezaei, H (2014) Sedimentary and Geochemical Characterization of the Sediments of the Coast and Bed of Govatr Gulf, Southeastern Iran. *Journal of Oceanography*, 5 (18): 99-11. (in persian).
- Behbahani, R., Lak, R., Chanani, N., Hosseinyar, G (2014) Organic Geochemistry of Khowr-e-Mussa's Sediments and its Adjacent Marine Areas, Northwest of the Persian Gulf. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 23 (92): 55-67 (in persian).
- Bhat, N. A., Singh, B. P., Bhat, A. A., Nath, S., & Guha, D. B (2019) Application of geochemical mapping in unraveling paleoweathering and provenance of Karewa deposits of South Kashmir, NW Himalaya, India. *Journal of the Geological Society of India*, 93: 68-74. doi.org/10.1007/s12594-019-1124-x.
- Bhatia, M. R., & 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. doi.org/10.1007/BF00375292.
- Cai, D. W., Li, L. B., Zhu, Y. Q., & Ren, M. Q (2021) Behaviors of Major and Trace Elements in Soils Developed from Weathering Basalt in Western Guizhou, China. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 861 (7): 072006. IOP Publishing.
- Caracciolo, L (2020) Sediment generation and sediment routing systems from a quantitative provenance analysis perspective: Review, application and future development. *Earth-Science Reviews*, 209: 103226. doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103226.
- Afarin, M., Bumari, M., Mehboubi, A., Gergij, M., Hamzeh, M (2014) Sedimentology and geochemistry of detrital siliceous sediments

- Herron, M. M (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58(5): 820-829.
- Hosseini Bizaki, S. R., Rabbani, A. R., Riyahi Bakhtiyari, A., & Cheraghi, M (2020) Assessing the Oil Pollution Trend in Surface Sediments along the Coastal Area of the Caspian Sea (Mazandaran Province). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(2): 427-436. doi: 10.22060/ceej.2018.14404.5647
- Hussein, M. L., & Al-Owaidi, M. R (2021) Major oxides study of the Euphrates River bed sediments from north Hilla to the Shatt Al-Arab at Basrah cities. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 790 (1): 012002. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/790/1/012002.
- Jeelani, G (2023) Understanding the provenance and depositional conditions of Triassic sedimentary rocks from the Spiti region, Tethys Himalaya, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 10 (9): 100154. doi.org/10.1016/j.jaesx.2023.100154 .
- Jokar, A., Kohansal Ghadimvand, N., Jahani, D., & Meshal, M (2022) Origin and study of geochemical properties of detrital sediments in southwestern Iran. *Quaternary Journal of Iran*, 7 (3, 4), 872-888. (in persian).
- Jones, M., Djamali, M., Stevens, L., Heyvaert, V., Askari, H., Norolahie, D., Weeks, L (2011) Mid Holocene environmental and climatic change in Iran. *Ancient Iran and its Neighbours*, Petrie C (ed). *Local Developments and Longrange Interactions in the 4 th Millenium BC*. British Institute for Persian Studies and Oxbow Books: Oxford, UK.
- Khazali, M (2021) An overview of Persian Gulf environmental pollutions. In *E3S Web of Conferences*, 325.
- Li, W., Qian, H., Xu, P., Hou, K., Qu, W., Ren, W., & Chen, Y (2023) Insights into mineralogical distribution mechanism and environmental significance from geochemical behavior of sediments in the Yellow River Basin, China. *Science of The Total Environment*, 903: 166278.
- Liu, Y., Liu, X., & Sun, Y (2021) QGrain: An open-source and easy-to-use software for the comprehensive analysis of grain size distributions. *Sedimentary geology*, 423: 105980.
- Maazallahi, M., Khanehbad, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., & Bajestani, M. S (2023) Provenance analysis and maturity of the Rayen River sediments in Central Iran: based on geochemical evidence. *Environmental Earth*
- Chougong, D. T., Bessa, A. Z. E., Nguetchoua, G., Yongue, R. F., Ntyam, S. C., & Armstrong-Altrin, J. S (2021) Mineralogy and geochemistry of Lobé River sediments, SW Cameroon: Implications for provenance and weathering. *Journal of African Earth Sciences*, 183: 104320. doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104320.
- 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.
- Faramarzi, N. S., Amini, S., Schmitt, A. K., Hassanzadeh, J., Borg, G., McKeegan, K., Razavi, S. M. H., Mortazavi, S. M (2015) Geochronology and geochemistry of rhyolites from Hormuz Island, southern Iran: A new record of Cadomian arc magmatism in the Hormuz Formation. *Lithos*, 236: 203-211. doi.org/10.1016/j.lithos.2015.08.017.
- Fattahi Bandpey, M., Hafezi Moghaddas, N., Ghafoori, M., Moussavi Harami, R., & Kazem Shiroodi, S (2021) Geological Engineering Studies of Marine Sediments, Northwestern Persian Gulf. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 14(1): 85-95. (in persian).
- Feng, Y., Xiao, X., Wang, E., Gao, P., Lu, C., Li, G., & Zhou, Q (2023) Origins of siliceous minerals and their influences on organic matter enrichment and reservoir physical properties of deep marine shale in the Sichuan Basin, South China. *Energy & Fuels*, 37(16), 11982-11995. doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c01702.
- Ghazban, F (2009) *Petroleum geology of the Persian Gulf*. Tehran University Press.
- Gholam Dokht Bandari, M., Rezaie, P (2015) Study of Some Heavy Metal Pollutions in the Hormuz Islands Coastal Sediments and Their Origin. *Journal of Oceanography*, 6 (22): 97-106 (in Persian).
- Ghorbani, M (2021) *The geology of Iran: tectonic, magmatism and metamorphism*. Springer International Publishing.
- Gresina, F., Farkas, B., Fábíán, S. Á., Szalai, Z., & Varga, G (2023) Morphological analysis of mineral grains from different sedimentary environments using automated static image analysis. *Sedimentary Geology*, 455: 106479. doi.org/10.1016/j.sedgeo.2023.106479.
- Grygar, T. M., Mach, K., Hron, K., Fačevicová, K., Martinez, M., Zeeden, C., & Schnabl, P (2020) Lithological correction of chemical weathering proxies based on K, Rb, and Mg contents for isolation of orbital signals in clastic sedimentary archives. *Sedimentary Geology*, 406: 105717. doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105717 .

- Purser, B. H (Ed.) (2012) *The Persian Gulf: Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea*. Springer Science & Business Media.
- Rahman, M. A., Das, S. C., Pownceby, M. I., Tardio, J., Alam, M. S., & Zaman, M. N (2020) Geochemistry of recent Brahmaputra River sediments: provenance, tectonics, source area weathering and depositional environment. *Minerals*, 10(9): 813. doi.org/10.3390/min10090813.
- Rezaee, P., Khanehbad, M., Ezatifar, M., Jooybari, S. A., & Hosseini, K (2020) Facies analysis, sedimentation conditions and geochemistry of clastic deposits of Ashin formation (Late Ladinian-Early Carnian), Northeast of Nain, East of Central Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 14(3): 221-240. doi.org/10.30495/ijes.2021.685396.
- Riegl, B., Poiriez, A., Janson, X., Bergman, K. L (2010) The gulf: facies belts, physical, chemical, and biological parameters of sedimentation on a carbonate ramp, Carbonate Depositional Systems: Assessing Dimensions and Controlling Parameters. Springer, 145-213. doi.org/10.1007/978-90-481-9364-6_4.
- Sallam, O. R., Mira, H. I., Tohamy, A. M. E., & Abbas, A. E. A (2021) Mineralogy and geochemistry of uraniferous sandstones in fault zone, wadi El sahu area, southwestern sinai, Egypt: implications for provenance, weathering and tectonic setting. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 95(3): 830-845. doi.org/10.1111/1755-6724.14613.
- Suttner, L. J., & Dutta, P. K (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I, Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Research*, 56(3): 329-345.
- Tang, W., Song, Y., He, W., Tang, Y., Guo, X., Pe-Piper, G., & Chen, A (2023) Petrochemical and geochronological data of Permian-Lower Triassic clastic sedimentary rocks in the northwestern Junggar basin, NW China: Implications for provenance, tectonism and paleoclimate. *Marine and Petroleum Geology*, 148: 106027. doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.106027.
- Waldschläger, K., Brückner, M. Z., Almroth, B. C., Hackney, C. R., Adyel, T. M., Alimi, O. S., ... & Wu, N (2022) Learning from natural sediments to tackle microplastics challenges: a multidisciplinary perspective. *Earth-Science Reviews*, 228, 104021. doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104021.
- Wang, C., Chen, M., Qi, H., Intasen, W., & Kanchanapant, A (2020) Grain-size distribution of surface sediments in the chanthaburi coast, Thailand and implications for the sedimentary dynamic environment. *Journal of Marine Science and Sciences*, 82(3): 89. doi.org/10.1007/s12665-023-10763-z.
- McLennan, S. M (1994) Rare earth element geochemistry and the "tetrad" effect. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58 (9): 2025-2033. doi.org/10.1016/0016-7037(94)90282-8.
- McLennan, S. M (2001) Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2(4). doi.org/10.1029/2000GC000109.
- McLennan, S. M (1989) Rare earth elements in sedimentary rocks; influence of provenance and sedimentary processes. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 21: 169-200. doi.org/10.1515/9781501509032-010.
- Meissner, R., & Kern, H (2019) Continental crustal structure. *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, 1-7. doi.org/10.5194/se-12-1515-2021.
- Moafi Madani, S. A., Mosavi Harami, S. R., Naji, A., Rezaee, P (2023) Sedimentology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Deposits off the Coast of the Caspian Sea in Babolsar City. *Journal of Oceanography* 2023, 14 (54): 122-138.
- Mohammad, A., Murthy, P. B., Rao, E. N. D., & Prasad, H (2020) A study on textural characteristics, heavy mineral distribution and grain-microtextures of recent sediment in the coastal area between the Sarada and Gosthani rivers, east coast of India. *International Journal of Sediment Research*, 35(5): 484-503. doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.03.007.
- Mortazavi Mehrizi, M., Ashrafi, A., & Mirab Shabestari, G (2023) The application of petrography and geochemistry of ancient terrace sediments in determining the provenance and weathering rate, Birjand, South Khorasan. *Applied Sedimentology*, 11(22): 20-38. (in persian). doi.org/10.22084/psj.2022.26799.1368.
- Nesbitt, H., & Young, G. M (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *nature*, 299 (5885): 715-717. doi.org/10.1038/299715a0.
- Nkomo, N (2020) The nature of geochemical anomalies associated with the PGE mineralization in the Stella layered intrusion, North West province, South Africa.
- Ojo, O. J., Adepoju, S. A., Awe, A., & Adeoye, M. O (2021) Mineralogy and geochemistry of the sandstone facies of Campanian Lokoja formation in the Southern Bida basin, Nigeria: implications for provenance and weathering history. *Heliyon*, 7 (12). doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08564.

- Engineering, 8 (4): 242.
doi.org/10.3390/jmse8040242.
- Wronkiewicz, D. J., & Condie, K. C (1987) Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(9): 2401-2416. doi.org/10.1016/0016-7037(87)90293-6.
- Zarezadeh, Z (2017) Sedimentology, mineralogy and geochemistry of the Persian Gulf mangrove forest deposits, west of Bandarabbas, PhD thesis in geology, Hormozgan University, 298p. (in persian)
- Zhao, W., Liu, L., Chen, J., & Ji, J (2019) Geochemical characterization of major elements in desert sediments and implications for the Chinese loess source. *Science China Earth Sciences*, 62: 1428-1440. doi.org/10.1007/s11430-018-9354-y.

Sedimentology and geochemistry of Persian Gulf coastline deposits in the area of Bushehr port

B. Kiani Shahvandi¹, A. Moghimi Kandelous^{2*}, M. Salavati² and S. Hakimi Asiabar²

1- Ph. D. student, Dept., of Geology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

2- Assist. Prof., Dept., of Geology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

* Ali.moghimi.ks@gmail.com

Received: 2024.5.18 Accepted: 2024.8.26

Abstract

The Persian Gulf is the most important aquatic ecosystem in West Asia and the Middle East region. The beach of this Gulf in Bushehr port is one of the most important recreational and commercial beaches in the country. In order to investigate the sedimentology and geochemistry of the Persian Gulf coastline deposits in the area of this port, 28 surface sediment samples were collected and grain size analysis and XRF geochemical analysis was done. The results showed that the sediments of this beach were sand with a small amount of gravel, which indicated continuous energy in this beach and the washing of mud particles. The geochemical results showed that the highest concentration of oxides were SiO₂ and CaO. Investigating the source rock and tectonic position of these deposits showed the primary composition of lite arenite and greywacke and the tectonic position of the active continental margin. Hydraulic melting also indicated the immature to medium maturity composition of these sediments, which indicate semi-arid weather conditions with medium chemical maturity. In general, the similarity of the tectonic conditions and ancient climate of these deposits with the Zagros sequence indicated the existence of Zagros as the main source of these deposits.

Keywords: Sedimentology, Geochemistry, Persian Gulf, Bushehr Port

Introduction

The most important factor that controls the amount of elements in clastic sediments is their origin, which is mainly transported as detrital materials, and shows the chemical characteristics of the origin. Clastic sediments with different source rocks that have been affected by weathering and erosion and finally sedimentation are deposited based on numerous physicochemical conditions.

Materials and methods

Sampling was done in a systematic way along the coast line of Bushehr Port. In this method, the number of 25 stations was determined at a distance of 1 km from each other. 5 samples were taken in each station, and before the analysis, these 5 samples are mixed together and one sample from each station is prepared for analysis. The reason for this is to reduce the error and increase the accuracy of the analyses. 27 surface sediment samples collected from the coast line of the Persian Gulf were subjected to grain size analysis and XRF analysis.

Discussion and results

Granulation studies on the collected samples showed the superiority of particles in the size of sand and gravel compared to mud. In all stations, the main texture of sediments is sand, and only in stations S13 to S20, gravel is added to the volume, which is influenced by the rocky coast in this area. The calculation of textural parameters of the sediments in the studied stations also indicated that the melting of the particles is generally average and the tilting is symmetrical or towards the fine particles. This indicates the presence of constant energy on the beach, which caused most of the deposits to be in the size of sand. Examining the normalization graph of the main oxides showed that the studied deposits are enriched with CaO oxide and depleted with SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, Na₂O and K₂O oxides (Figure 3). According to the diagram (Bhatia, 1983), the coastal deposits of the Persian Gulf coast in the area of Bushehr Port are located in the position of the active continental margin. According to these results, the tectonic location of the origin of the studied sediments is located in this location. Previously, Zarezadeh (2016) and Faramarzi et

al. (2015) introduced the tectonic position of the Persian Gulf coast sediments as active continental margin and arc islands. Similarly, Jokar et al. (1400) in a similar study in southwest Iran and Khuzestan Plain introduced the tectonic location of these sediments as active continental margin. This indicated that the tectonic position of these deposits matches the conditions of the tectonic development of Zagros. The plot of the studied data on the climate diagram showed semi-arid climate conditions with moderate chemical treatment. Considering the location of the Persian Gulf in the dry climate region and being surrounded by hot and dry lands, this result is confirmed. In addition, according to the global climate changes in the Holocene, in the middle Holocene about 5500 years ago, arid and semi-arid weather conditions prevailed in the studied area, and sabkhas spread in the coasts. This is similar to the results of Jokar et al. (2022) in the sediments of southwestern Iran.

Conclusion

The results of this research showed that the deposits of the Persian Gulf coastline in the area of Bushehr Port are generally (more than 90%) in the size of sand and gravel. The textural parameters of the sediments also indicated that the melting of the particles was generally average and the tilting was symmetrical or towards fine particles. This indicated the presence of constant energy on the beach, which caused most of the deposits to be in the size of sand. The geochemical results of the main oxides showed that SiO₂ oxide was the most abundant oxide in these deposits.

Examining the normalization graph of the main oxides showed that the studied deposits were enriched with CaO oxide and depleted with SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, Na₂O and K₂O oxides. The depletion and enrichment of these oxides were directly related to the mineralogical composition of this deposit and the physicochemical conditions governing their sedimentary environment. Examining the correlation trend of Al₂O₃ oxide with the main oxides showed a positive correlation between these oxides and only with CaO oxide, it had a negative correlation, which was important due to calcium leaching during the chemical weathering of the region, on the other hand, considering that the origin of calcium in the studied sediments can be chemical and biochemical and the origin of Al in these sediments is clastic, therefore; the low correlation between these two oxides can be justified. The investigation of the source rock and the tectonic position of the coastal deposits of the Persian Gulf in the area of Bushehr Port showed litharenitic and sub-litharenitic and the tectonic position of the continentally active margin. The hydraulic dissolution of the Persian Gulf coastline deposits showed the immature to medium maturity composition of these sediments, which indicated semi-arid climate conditions with moderate chemical maturity. All these results indicated similar tectonic and paleoclimatic conditions between the sediments of the Persian Gulf coastline in the area of Bushehr and the Zagros structural zone upstream of this coast, which confirmed the existence of Zagros sequences for the origin of the sediments of this coast.