بررسی اثرات مونسون بر مشخصه‌های بافتی رسوبات بخش ایرانی فلات قاره شمال دریای عمان (خلیج چابهار تا پسابندر)

محمد آفرین[1*]، پیمان رضائی[2]، محمدعلی حمزه[3] و سیده اکرم جویباری[4]

۱- دانشجوی دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه هرمزگان و کارشناس پژوهشی ایستگاه پژوهش و فناوری اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، چابهار، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳- استادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، ایستگاه پژوهش و فناوری اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، بندرعباس، ایران

۴- دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

نویسنده مسئول: **Afarin.m@inio.ac.ir**

دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۶

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

در این پژوهش، تاثیر پدیده مونسون بر مشخصه‌های بافتی رسوبات سواحل ایرانی دریای عمان بررسی گردید. بدین منظور از ۱۳ ایستگاه نمونه‌برداری‌های لازم بر اساس استانداردهای رسوب‌شناسی دریایی انجام شد. بررسی میزان اندازه ذرات در نمونه‌های پیش و پس از وقوع مونسون نشان داد که بافت این رسوبات ماسه، ماسه‌رسی، رس‌ماسه‌ای و رس می‌باشد. آنالیز دانه‌بندی نشان داد مقدار ماسه و رس در نمونه‌های پیش از مونسون ایستگاه‌های کم عمق و نزدیک به ساحل به ترتیب بین ۴۳ تا ۹۷ و صفر تا ۲۷ درصد متغیر است. این مقادیر در ایستگاه‌های ژرف و دور از ساحل به ترتیب بین ۸ الی ۴۵ و ۵۴ الی ۸۲ درصد در تغییر است. مقادیر ماسه و رس در نمونه‌های پس از مونسون ایستگاه‌های کم ژرفا و نزدیک به ساحل به ترتیب بین ۶۸ تا ۹۶ درصد و صفر تا ۱۳ درصد و در ایستگاه‌های ژرف و دور از ساحل در نمونه‌های پس از مونسون بین ۸ تا ۲۲ درصد و ۵۸ تا ۸۶ درصد در نوسان است. میزان مواد آلی رسوبات در بیشتر ایستگاه‌های مطالعاتی بین ۱ تا ۳ درصد متغیر و در محدوده طبیعی بود. افزایش ماده آلی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی و بافت دانه ریز رسوبات می‌باشد و کاهش آن نیز می‌تواند ناشی از ورود پساب شور به محیط خلیج باشد. میزان کربنات کلسیم در رسوبات ارتباط نزدیکی با میزان ماسه موجود در رسوبات دارد. در ایستگاه‌های رمین و تیس که انرژی امواج در آن‌ها بیشتر از ایستگاه‌های داخل خلیج چابهار است، میزان کربنات کلسیم بیشتری داشته و برعکس میزان مواد آلی به دلیل رقیق‌شدگی حاصل از ورود رسوبات خشکی‌زاد بیشتر و زدایش رسوبات دانه‌ریز حاوی مواد آلی کمتر می‌باشد. جورشدگی نمونه‌ها از نوع متوسط- خوب بوده و نمونه رسوبات ایستگاه‌های کم ژرف نزدیک ساحل و ژرف دور از ساحل به ترتیب دارای کج‌شدگی منفی و مثبت بوده و شاخص کشیدگی در بیشتر نمونه‌ها از نوع بسیار کشیده است. با نفوذ بادهای موسمی اقیانوس هند به سواحل دریای عمان و به طبع آن وزش بادهای نسبتاً شدید با جهت جنوب باختری- شمال خاوری، موجب مواج شدن دریا در تابستان و باعث فرسایش نهشته‌های آواری درشت دانه تا ریزدانه نواحی ساحلی گردیده که یکی از منابع مهم رسوبات دریایی محدوده مطالعاتی هستند. این یافته‌ها تاکیدی است بر عملکرد پدیده مونسون بر ویژگی‌های بافتی رسوبات فلات قاره شمال دریای عمان.

واژگان کلیدی: مشخصه‌های فیزیکی، رسوب، مونسون، ساحل دریای عمان

۱- پیشگفتار

مطالعات بافتی رسوبات روشی مهم برای تعیین محیط رسوبی، فرآیندهای ته‌نشینی و نحوه‌ی حمل و نقل رسوبات است (فارل و همکاران، ۲۰۱۲؛ گان و همکاران، ۲۰۱۳؛ شتی و همکاران، ۲۰۲۱؛ قادر و همکاران، ۲۰۲۲). اصلی‌ترین ویژگی فیزیکی رسوبات، اندازه‌ی دانه می‌باشد. اندازه دانه تابعی از حداکثر سرعت جریان هنگام رسوب‌گذاری و مسافت حمل و نقل است، به گونه‌ای که تعیین مقدار دانه‌های درشت در رسوبات حتی به مقدار کم نیز برای تفسیر انرژی محیط اهمیت فراوان دارد (سیوتسکی و میلیمان، ۲۰۰۷؛ داس و همکاران، ۲۰۲۳). بررسی و تعیین نسبت ذرات ماسه‌ای به گلی نیز اهمیت دارد و میزان انرژی برای خارج‌سازی ذرات ریز از محیط هنگام رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد (ازیدان و همکاران،

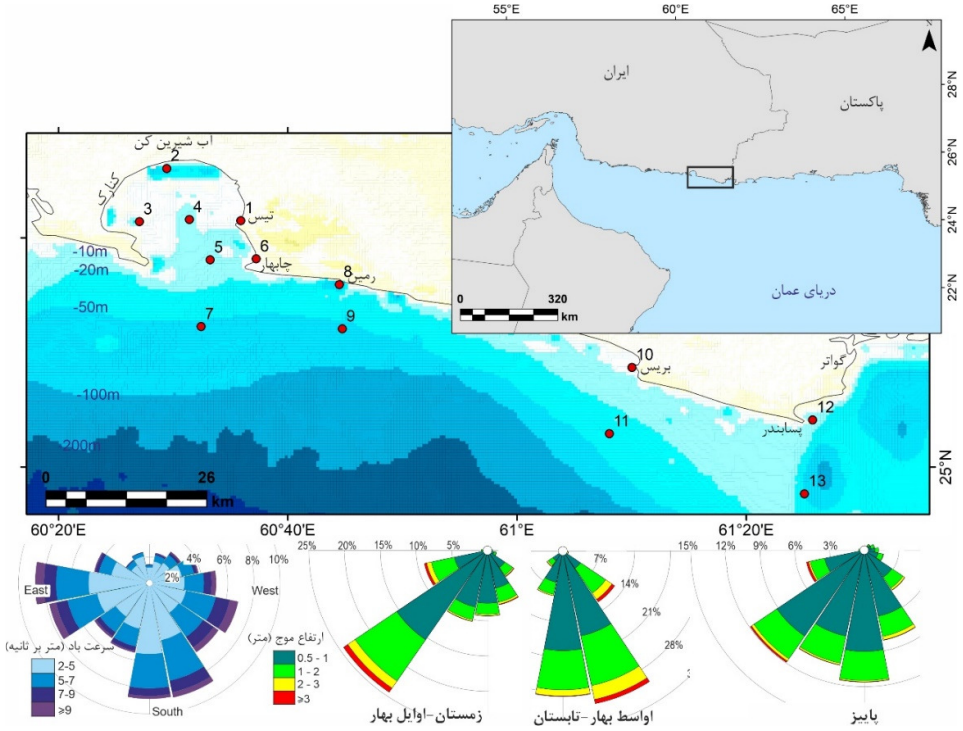
۲۰۲۱؛ شتی و همکاران، ۲۰۲۱). توزیع اندازهٔ ذرات در رسوبات به عوامل مختلفی از جمله سنگ منشأ، فرآیندهای هوازدگی، سایش و جورشدگی انتخابی آن‌ها هنگام حمل و نقل بستگی دارد (سنلدر و همکاران، ۲۰۱۱؛ یا و همکاران، ۲۰۲۱). ارزیابی کمی و کیفی بافتی رسوبات می‌تواند در درک و فهم محیط رسوب‌گذاری مؤثر باشد. دانه‌بندی یکی از ویژگی‌های اساسی و مهم ذرات رسوبی است که طی انتقال و فرسایش تحت تأثیر قرار می‌گیرد. از این‌رو، تحلیل اندازه‌ی دانه‌ها می‌تواند ابزاری مهم برای طبقه‌بندی محیط‌های رسوبی باشد (فولک و وارد، ۱۹۷۵؛ رابین و همکاران، ۲۰۲۲). انطباق بین مشخصه‌های اندازه و فرآیندهای حمل و نقل، سازوکارهای ته‌نشینی رسوبات ساحلی در محیط‌های رسوبی کهن و عهد حاضر به شکل گسترده مطالعه شده است (فولک و وارد، ۱۹۷۵؛ مالوارز و همکاران، ۲۰۰۱؛ رامامهارنو و همکاران، ۲۰۰۳؛ رامانتان و همکاران، ۲۰۰۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۲۳). نوسان‌های فصلی مونسون اقیانوس هند به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای سامانهٔ اقلیمی جهان، شامل مونسون جنوب باختری (مونسون تابستانه) و مونسون جنوب خاوری (مونسون زمستانه) به ترتیب آسیای جنوب خاوری و آسیای جنوب باختری را تحت تأثیر باران‌های سیل‌آسا و امواج شدید خود قرار می‌دهد (سلمنس و همکاران، ۲۰۲۱؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۲). به عنوان نمونه، اثرات مونسون اقیانوس هند در سواحل مالزی شامل فرسایش ساحلی در زمان اوج فعالیت مونسون جنوب خاوری در زمستان و برافزودگی رسوبات ساحلی در زمان افول آن در تابستان است (میوسیک و همکاران، ۲۰۲۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۰). سامانه‌ی اقلیمی مونسون جنوب باختری از ویژگی‌های منحصر به فرد دریای عمان است که تأثیر زیادی بر خصوصیات محیطی و زیست بوم سواحل آن دارد (اسکات و مک‌کاری، ۲۰۰۱؛ آتریا و همکاران، ۲۰۲۲؛ تروت و همکاران، ۲۰۱۸). مونسون اقیانوس هند که محدوده‌ی اصلی فعالیت آن از سواحل مرزی ایران و پاکستان به سمت شبه قارهٔ هند است، همه ساله از اوایل خرداد تا اواخر شهریور سواحل منطقه‌ی چابهار را تحت تأثیر امواج قوی خود قرار می‌دهد (فاطیما و جمشید، ۲۰۲۰). بادهای موسمی حاصل از این پدیدهٔ اقلیمی با ایجاد امواج قوی موجب برداشتن رسوبات بستر و حمل آن به سمت مناطق آرام‌تر که در پناه موانع فیزیکی هستند می‌گردد (دوانگ، ۲۰۱۸؛ سنگپتا و همکاران، ۲۰۰۱). تنوع رسوبات آواری، شیمیایی، بیوشیمیایی و تأثیر آن‌ها بر سازه‌های ساحلی و پایداری سواحل، جابجایی خطوط ساحلی، عوامل زیست‌محیطی و تأثیر رسوبات بر حیات موجودات کف‌زی و فراوانی آن‌ها، شناخت رسوبات ساحلی این ناحیه را بسیار پر اهمیت می‌سازد. بنابراین، با توجه به نقش رسوبات و سرعت رسوب‌گذاری بر روی سازه‌های دریایی و نیز اهمیت رسوبات در حیات موجودات کف‌زی، بررسی رسوب‌شناسی و نحوه تجمع رسوبات در سواحل ایرانی دریای عمان و خلیج چابهار اطلاعات بسیار مفیدی در احداث و نگهداری سازه‌های ساحلی و دریایی و بعضاً تعیین منبع آلاینده‌های زیست‌محیطی در آینده ارائه خواهد نمود. تحقیقات اندکی در خصوص تاثیر مونسون بر رسوب‌شناسی رسوبات بستر سواحل ایرانی دریای عمان صورت گرفته است. از بارزترین این مطالعات می‌توان به ژئوشیمی زیست‌محیطی خلیج چابهار توسط مدیریت زمین‌شناسی دریایی سازمان زمین‌شناسی کشور (محمدی و همکاران، ۲۰۱۶)، بررسی ژئوشیمیایی رسوبات سواحل دریای عمان با استفاده از سامانه داده‌های جغرافیایی، توسط پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی ایران (حمزه و همکاران، ۲۰۱۴) بررسی شواهد رسوب‌شناسی رویداد سونامی در کرانه‌های مکران، بلوچستان (حق‌بین و همکاران، ۲۰۱۶)، طبقه‌بندی رسوب‌شناسی و ژئومورفولوژی سواحل چابهار تا گواتر (آفرین و همکاران، ۲۰۱۴) و بررسی اثرات مونسون بر رسوب‌شناسی رسوبات خلیج چابهار اشاره کرد (آفرین و همکاران، ۲۰۲۱). هدف اصلی این تحقیق بررسی نهشته‌های فلات قاره دریای عمان (محدوده بین خلیج چابهار تا پسابندر) و تاثیر پدیده مونسون بر مشخصات بافتی و تفسیر شرایط محیطی برای رسوب این نهشته‌ها در بازهٔ زمانی پیش از مونسون و پس از آن می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت زمین‌شناسی و شرایط محیطی

از نظر زمین‌شناسی، گستره مورد مطالعه بخشی از محدوده مکران ساحلی است (شکل ۱). مکران ساحلی و ناحیه شمال آن یک لبه برافزایشی از رسوبات تغییر شکل یافته است که بازه زمانی از اواخر کرتاسه تا هولوسن می‌باشند و در یک حاشیه فرورانش اقیانوسی به سمت بالا رانده شده‌اند (قربانی، ۲۰۱۹). سواحل منطقه متشکل از

پادگانه‌های ساحلی- دریایی بوده که شامل مارن، گل‌سنگ، ماسه‌سنگ تا کنگلومرا و حاوی مقادیر زیادی پوسته‌های صدف هستند. واحدهای مارنی و گل‌سنگی تپه‌های ماهورهای کم ارتفاعی را در منطقه پدید آورده‌اند. نوع رسوبات و پوسته‌های صدفی بزرگ، محیط رسوبگذاری این واحدها را منطقه کم ژرفای دریا (نزدیک ساحل) با سن میوسن میانی-پسین معرفی می‌کند (آقانباتی، ۱۳۸۳). بخش بیشتر منطقه را رسوبات عهد حاضر ماسه و سیلت حاصل از فرسایش واحدهای کنگلومرایی، ماسه‌سنگی و گل‌سنگی تشکیل داده است.



شکل ۱. نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه (خلیج چابهار تا پسابندر) با نمایش ژرفای بستر و ایستگاه‌های نمونه‌برداری به همراه گلباد در طول سال و گلموج در زمان‌های مختلف سال زمان مونسون، پیش و بعد از آن (ساکت و اعتماد شهیدی، ۲۰۱۲).

Fig. 1. Map of the geographic location of the studied area (Chabahar Bay to Pasbandar) showing the depth of the bed and the sampling stations along with Golbad throughout the year and Golmoj at different times of the year during the monsoon, before and after it (Saket and Etemad-Shahidi 2012).

سواحل ایرانی دریای عمان دارای خلیج‌های متعددی است که حاصل عملکرد گسل‌های فعال منطقه است. این سواحل در محدوده‌ی چابهار تا گواتر را می‌توان در گروه دشت‌های کرانه‌ای[1] قرار داد (شاه‌حسینی و همکاران، ۲۰۱۸). که در آن یک جلگهٔ ساحلی توسط پشته‌های ماسه‌ای متوالی عمدتاً موازی با ساحل پوشیده شده که این پشته‌ها نیز توسط فروبوم‌هایی از هم جدا شده‌اند (سچفرس و همکاران، ۲۰۱۲). این ریخت‌شناسی نماد نواحی در حال بالاآمدگی تکتونیکی است. سواحل چابهار، رمین و بریس تا حدودی توسط سواحل بالاآمده دماغه‌ای شکل (دماغه کنارک و به میزان کمتر دماغه چابهار و بریس) در برابر امواج اقیانوسی و توفان‌های حاره‌ای محافظت می‌گردند (شاه‌حسینی و همکاران، ۲۰۱۸). سواحل مورد بررسی در زمرهٔ سواحل تحت تأثیر امواج قرار داده می‌شوند.

جریان رودخانه‌های فصلی به خلیج چابهار و گواتر در محدوده مورد مطالعه بصورت موقتی بوده و بندرت اتفاق می‌افتد. امروزه ورودی رسوبات به خلیج چابهار حاصل طغیان رودخانه‌های فصلی می‌باشد (شاه‌حسینی و همکاران، ۲۰۱۸). رسوبات وارده به خلیج گواتر به وسیله رودخانه فصلی باهوکلات حمل می‌شوند. در زمان بارندگی‌های شدید، بالادست بار رسوبی زیادی از فرسایش سازندهای ماسه‌سنگی و گل‌سنگی مکران بیرونی توسط خور باهوکلات و خلیج گواتر وارد دریای عمان می‌کند.

[1] Strand plain

۲-۲- امواج و جریان‌های دریایی

امواج یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر نحوه توزیع رسوبات و نیز ساخت‌ها و ریخت‌شناسی سواحل در خلیج چابهار هستند. امواج سواحل ایرانی دریای عمان در زمان‌های مختلف سال دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند که قدرت تخریبی و ارتفاع آن‌ها در داخل خلیج چابهار کمتر از سواحل باز دریای عمان است. این امواج بخصوص در تابستان در سواحل ماسه‌ای خلیج چابهار موجب گردشدگی، کرویت، جورشدگی و نیز بلوغ بافتی رسوبات ساحلی می‌گردند و در سواحل صخره‌ای با تخریب پرتگاه‌های ساحلی موجب پسروی سواحل و پیشروی آب دریا به سمت خشکی شده و در واقع نقش تخریب کننده دارند (ساکت و اعتماد شهیدی، ۲۰۱۲). شدیدترین امواج منطقه، امواج حاصل از مونسون جنوبی جنوب باختری هستند که بزرگی آن‌ها به سه متر می‌رسد (ساکت و اعتمادی، ۲۰۱۲؛ شاه‌حسینی و همکاران، ۲۰۱۸). در طی بازهٔ زمانی ۲۳ ساله منتهی به سال ۱۳۸۶ بادهای جنوب-جنوب باختری بیشترین شدت را در منطقه نشان می‌دهند (حدود ۹ متر بر ثانیه) (ساکت و اعتماد شهیدی، ۲۰۱۲). میانگین ماهانه‌ی انرژی امواج نشان می‌دهد قدرت امواج محدوده‌ی مورد بررسی از حدود ۱ تا ۲/۵ کیلووات بر متر در نوسان است که بیش‌ترین آن متعلق به محدوه‌ی زمانی مونسون و کم‌ترین آن مربوط به زمان پس از مونسون (پاییز) است. میانگین سالانه‌ی انرژی امواج ۲/۸ کیلووات بر متر است. بر اساس داده‌های شدت امواج، ساکت و اعتماد شهیدی (۲۰۱۲) تغییرات رژیم امواج منطقه را به سه دوره زمستان تا اواسط بهار، اواخر بهار و تابستان (بیش‌ترین انرژی امواج) و نهایتاً پاییز (دوره‌ی آرام) تقسیم‌بندی نمودند (شکل ۱). جهت حرکت امواج در فصول قبل از مونسون از سمت جنوب باختر است که با شروع مونسون به سمت جنوب و جنوب خاوری تغییر جهت می‌دهند و به ارتفاع امواج افزوده می‌شود.

با توجه به ریخت‌شناسی سواحل خلیج چابهار، نوسانات سطح آب به شکل جزر و مد در مناطق صخره‌ای که شیب بستر زیاد دارند، به گونه‌ی عمودی و تغییرات ارتفاعی می‌باشد و برعکس در باختر سواحل با عارضه نگاری ملایم این نوسانات به شکل افقی و جانبی دیده می‌شوند. طبق آمار سازمان نقشه‌برداری کشور کمینه و بیشینه جزر در بندر کنارک به ترتیب ۰/۷۱ و ۱/۴۱ متر و حداکثر و حداقل مد هم به ترتیب ۲/۸۱ و ۲/۱۱ متر می‌باشد. همچنین حداقل و حداکثر جزر در بندر چابهار به ترتیب ۰/۷۳ و ۱/۲۴ متر و حداکثر و حداقل مد هم به ترتیب ۲/۵۹ و ۲/۰۸ متر می‌باشد. بر این اساس، سواحل دریای عمان در محدوده خلیج چابهار، جزء سواحل با جزر و مد متوسط[1] قرار می‌گیرد (محمدی و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۳- روش مطالعه

۲-۳-۱- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از رسوبات گستره مورد مطالعه در ماه‌های خرداد و آذر ۱۳۹۸ طی دو مرحله‌ی پیش مونسون و پس مونسون از ۱۳ ایستگاه (تیس، آب شیرین کن، کنارک، مرکز خلیج، دهانهٔ خلیج، بهشتی، بیرون خلیج، رمین کم عمق، رمین عمقی، بریس کم عمق، بریس عمقی، پسابندر کم عمق و پسابندر عمقی) منطقهٔ زیر جزر و مدی و بخش شمالی فلات قاره دریای عمان و خلیج چابهار انجام شد (شکل ۱). نمونه‌ی رسوبات از هر ایستگاه با سه تکرار توسط گرب وان وین با سطح مقطع ۲۵۰ سانتی‌متر مربعی برداشته شد و در هر ایستگاه عمق برداشت رسوب و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها نیز ثبت گردید.

۲-۳-۲- مطالعات آزمایشگاهی

اندازه‌گیری قطر رسوبات: در این پژوهش برای نمایش ذرات بر روی نمودارهای فراوانی و محاسبه خصوصیات رسوب‌شناسی آن‌ها از روش پیشنهادی توسط کرومباین (۱۹۳۴) استفاده می‌شود که مقیاس آن بر حسب فی بوده و از رابطه $Ø=-\log_2 d$ محاسبه می‌شود.

الک مرطوب و دانه‌بندی لیزری: نمونه رسوبات پس از آماده‌سازی، به روش الک مرطوب و توسط سامانهٔ الک شیکر با سری الک‌های منطبق با استاندارد MATEST به مدت متوسط ۳۰ دقیقه مورد آنالیز قرار گرفت (لویس و مک‌کونچی، ۱۹۹۴). در این روش تعداد ۶ الک با شماره‌های ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵۰، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۶۳ میلی‌متر به ترتیب از ریز به درشت (پایین به بالا) روی هم قرار داده شدند (ای‌اس‌تی‌ام، ۱۹۸۸؛ تاکر، ۱۹۸۸). ذرات گل عبوری از ریزترین الک (الک شماره ۶۳ میکرون) پس از ته‌نشینی و خروج آب اضافی، به وسیله دستگاه دانه‌بندی لیزری

[1] Mesotidal

Laser Particle Sizer 22 آنالیز شد (سیویتسکی، ۲۰۰۷؛ مرکوس، ۲۰۰۹؛ والسنگار، ۱۹۹۲). برای این کار، پس از جدایش ذرات در حمام اولتراسونیک و اضافه نمودن چند قطره ماده‌ی پراکنده کننده‌ی پیروفسفات سدیم ($Na_4P_2O_7$) با غلظت ۰/۵ درصد، مقادیر سیلت و رس، قطر این ذرات بر مبنای میکرون اندازه‌گیری شد. در پایان پس از تجزیه و تحلیل نمودارهای حاصله و تلفیق آن با نتایج دانه‌بندی به روش الک، مقادیر ماسه، سیلت و رس بر مبنای ۱۰۰ درصد محاسبه گردید (جدول ۱).

تعیین ماده آلی و محتوای کربنات کلسیم: ماده آلی با استفاده از روش سوزاندن توسط کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت تعیین شد. برای بدست آوردن کربنات کلسیم نیز نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره قرار داده شد (هیری و همکاران، ۲۰۰۱).

جدول ۱. مقادیر درصد نسبی ماسه، سیلت، رس، کربنات کلسیم و مواد آلی در نمونه‌ی رسوبات پیش از مونسون و پس از مونسون در ایستگاه‌های مورد مطالعه فلات قاره دریای عمان و خلیج چابهار

Table 1. The relative percentage values of sand, silt, clay, calcium carbonate and organic matter in pre-monsoon and post-monsoon sediment samples in the studied stations of the continental plateau of Oman Sea and Chabahar Bay

پیش مونسون	Station	Depth	Clay	Silt	Sand	$CaCO_3$	TOM	Mean	Median	Sorting	Kurtosis	Skewness
تیس	1	4.00	0.98	4.57	94.45	44.05	1.47	2.82	1.15	0.50	3.91	-0.50
آب شیرین کن	2	5.50	19.62	2.73	77.64	18.78	1.00	2.84	0.23	0.70	6.67	-0.55
کنارک	3	6.50	54.00	2.70	43.29	34.22	2.33	2.84	2.75	0.95	4.29	0.81
مرکز خلیج	4	12.5	27.12	2.55	70.37	16.07	1.50	2.83	0.58	0.75	4.22	1.00
دهانه خلیج	5	14.5	80.69	4.19	15.11	15.47	2.00	2.71	0.1	1.20	4.18	-0.54
بهشتی	6	5.50	18.27	1.07	80.73	41.37	2.17	2.80.	1.75	0.72	1.50	1.49
بیرون خلیج	7	65.0	82.24	9.69	8.07	14.58	4.00	5.13	0.15	1.00	2.33	1.00
رمین کم عمق	8	12.0	0.00	2.33	97.67	66.07	1.50	5.59	1.03	1.50	0.64	-0.52
رمین عمقی	9	60.0	78.79	9.48	11.72	15.47	3.08	5.27	0.29	1.25	1.85	0.72
بریس کم عمق	10	10.0	20.43	2.92	76.64	48.67	1.58	5.72	0.59	1.75	4.57	0.82
بریس عمقی	11	31.5	50.12	3.97	45.9	32.13	2.58	5.43	2.53	1.50	4.43	0.75
پسابندر کم عمق	12	9.00	27.9	1.55	70.54	25.89	1.08	5.52	2.22	1.50	4.26	-0.63
پسابندر عمقی	13	16.5	66.91	7.86	25.22	13.68	2.08	5.50	0.17	2.00	5.72	0.35
پس مونسون	**Station**	**Depth**	**Clay**	**Silt**	**Sand**	**$CaCO_3$**	**TOM**	**Mean**	**Median**	**Sorting**	**Kurtosis**	**Skewness**
تیس	1	4.00	0.00	4.00	96.00	49.4	1.42	1.63	0.36	0.50	5.18	-0.64
آب شیرین کن	2	5.50	0.00	8.50	91.50	18.15	1.00	2.07	0.09	0.75	7.75	-0.74
کنارک	3	6.50	62.79	3.51	33.69	25.29	3.92	2.03	1.3	0.70	5.74	0.70
مرکز خلیج	4	12.5	24.37	2.86	72.76	14.87	1.50	2.20	0.2	0.72	7.26	0.64
دهانه خلیج	5	14.5	69.14	8.13	22.71	14.28	3.42	2.05	0.07	1.00	3.00	0.82
بهشتی	6	5.50	17.19	2.03	80.78	38.39	2.58	2.05	0.76	0.72	2.65	-0.75
بیرون خلیج	7	65.0	86.27	5.11	8.61	13.39	5.08	1.91	0.09	0.95	3.40	0.82
رمین کم عمق	8	12.0	0.00	3.00	97.00	61.90	2.00	2.06	0.16	1.25	0.79	-0.74
رمین عمقی	9	60.0	84.22	4.63	11.13	15.47	7.17	1.85	0.14	1.00	2.47	0.80
بریس کم عمق	10	10.0	25.98	5.06	68.96	38.39	2.33	2.06	0.19	1.40	4.65	-0.43
بریس عمقی	11	31.5	58.22	5.05	36.72	21.12	3.33	2.05	1.20	1.20	3.63	0.62
پسابندر کم عمق	12	9.00	13.26	1.39	85.35	27.97	1.00	2.05	1.23	1.30	4.62	-0.49
پسابندر عمقی	13	16.5	59.96	7.13	32.89	12.50	1.50	2.01	0.08	1.75	3.21	0.87

۲-۳-۳- نام‌گذاری رسوبات و عملیات آماری

نام‌گذاری رسوبات به روش فولک (۱۹۸۰) انجام شد (شکل ۲). محاسبات مربوط به میانگین، انحراف معیار و رسم نمودارها و تنظیم جداول با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel انجام شد (جدول۱). به منظور درک بهتر نحوه‌ی توزیع ذرات رسوبی در نمونه‌های مورد مطالعه، نقشه توزیع ذرات رسوبی در ایستگاه‌های مختلف توسط نرم‌افزار ArcGIS 10 تهیه گردید (شکل ۴). در رسوب‌شناسی برای تعبیر و تفسیر شرایط رسوب‌گذاری از پارامترهای آماری استفاده می‌شود. بدین منظور پارامترهای جورشدگی،

کج‌شدگی و کشیدگی برای رسوبات مورد مطالعه محاسبه و با شاخص‌های ارائه شده توسط فولک (۱۹۸۰) مقایسه گردید. برای محاسبه جورشدگی، کج‌شدگی و کشیدگی از روش ترسیمی جامع فولک (۱۹۸۰)، به شرح روابط زیر استفاده شد و نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است.

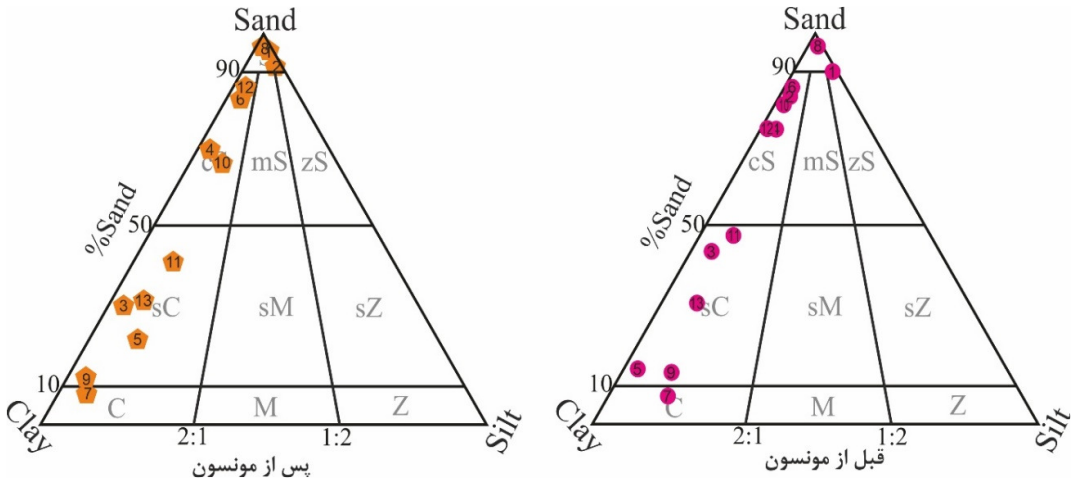
$$\partial I = \frac{Ø84 - Ø16}{4} + \frac{Ø95 - Ø5}{6.6}$$

$$SKI = \frac{Ø16+Ø84-2Ø50}{2(Ø84-Ø16)} + \frac{Ø5+Ø95-2Ø50}{2(Ø95-Ø5)}$$

$$KG = \frac{Ø95-Ø5}{2.44(Ø75-Ø25)}$$

۳- بحث

نتایج دانه‌سنجی، کلسیمتری و مواد آلی ۲۶ نمونه در سیزده ایستگاه (در دو مرحله پیش از مونسون و پس از مونسون) در جدول ۱ و شکل ۲ ارائه شده است. رسوبات در ایستگاه‌های کم ژرفاتر تیس، آب شیرین کن، مرکز خلیج، بهشتی، رمین کم ژرفا، بریس کم ژرفا و پسابندر کم ژرفا در پیش از مونسون و پس از آن عمدتاً ماسه‌ای بوده و ایستگاه‌های با ژرفای بیشتر شامل: کنارک، دهانه خلیج، بیرون خلیج، رمین ژرف ، بریس ژرف و پسابندر ژرف عمدتاً از ذرات رس تشکیل شده و ماسه و سیلت کمتری دارند.



شکل ۲. نام‌گذاری رسوبات مورد مطالعه به روش فولک (۱۹۸۰) و مقایسه انواع رسوب در ایستگاه‌های مختلف (پیش از مونسون و پس از مونسون).

Fig. 2. Naming of studied sediments according to Folk (1980) method and comparison of sediment types in different stations (pre-monsoon and post-monsoon).

۳-۱- نام‌گذاری رسوبات بر اساس اندازه ذرات

با توجه به دیاگرام مثلثی تقسیم‌بندی بافتی رسوبات آواری (فولک، ۱۹۸۰) چهار نوع رسوب شامل: ماسه، ماسه‌رسی، رس‌ماسه‌ای و رس به شرح زیر در محدوده مورد مطالعه شناسایی شد.

رس (C): شامل رسوبات شماره ۷ و ۹ هر دو در سواحل ژرف چابهار است که به ترتیب حاوی ۸۲ و ۷۸ درصد رس در زمان پیش از مونسون و ۸۶ و ۸۴ درصد درصد رس در زمان پش از مونسون هستند.

رس ماسه‌ای (sC): نمونه رسوبات شماره‌های ۳، ۵، ۱۱ و ۱۳ به ترتیب دارای ۵۴، ۸۰، ۵۰ و ۶۶ درصد رس و ۴۳، ۱۵، ۴۵ و ۲۵ درصد ماسه در زمان پیش از مونسون و مقادیر ۶۲، ۶۹، ۲۵ و ۵۹ درصد رس و ۳۳، ۲۲، ۶۸ و ۳۲ درصد ماسه در زمان پس از مونسون هستند. این نمونه‌ها مربوط به نواحی نسبتاً ژرف خلیج چابهار و بخش عمیق سواحل بریس و پسابندر هستند.

ماسه رسی (cS): شامل نمونه‌های شماره ۴، ۶، ۱۰ و ۱۲ متعلق به نواحی نزدیک ساحل خلیج چابهار و بریس و پسابندر (بجز شماره‌ی ۴ که مربوط به بخش مرکزی خلیج است) که در زمان پیش از مونسون به ترتیب ۷۰، ۸۰، ۷۶ و ۷۰ درصد ماسه و ۲۷، ۱۸، ۲۰ و ۲۷ درصد رس را شامل می‌شوند. همچنین در زمان پس از مونسون، ایستگاه‌های مذکور به ترتیب شامل: ۷۲، ۸۰، ۶۸ و ۸۵ درصد ماسه و ۲۴، ۱۷، ۲۵ و ۱۳ درصد رس هستند.

ماسه (S): با نمونه‌های شماره ۱، ۲ و ۸ معرفی می‌شود که متعلق به نواحی کم ژرفا نزدیک خلیج چابهار و رمین

هستند. ایستگاه تیس در زمان پیش از مونسون شامل ۹۵ درصد ماسه و ۵ درصد رس است که در زمان پس از مونسون این نسبت تغییر زیادی نمی‌کند (۹۶ به ۴ درصد). ایستگاه آب شیرین کن به ترتیب در زمان پیش مونسون و پس مونسون دارای ۹۱ و ۹۷ درصد ماسه است (جدول ۱، شکل ۲). نقشه توزیع مواد آلی[1] ایستگاه‌های مورد مطالعه مؤید رفتار معکوس بین مواد آلی و کربنات کلسیم است (شکل ۴). با افزایش اندازه ذرات میزان مواد آلی در رسوبات کاهش و کربنات کلسیم افزایش نشان می‌دهد؛ برعکس با کاهش اندازه ذرات رسوبی میزان کربنات کلسیم در رسوبات کاهش می‌یابد و به محتوی مواد آلی رسوبات افزوده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود، با دور شدن از ساحل، درصد رس و سیلت موجود در رسوبات افزایش یافته و میزان ماسه و کاهش نشان می‌دهد. دلیل این امر، قدرت زیاد امواج در نزدیک خط ساحلی است که موجب می‌شود ذرات دانه ریزتر (سیلت و رس) از داخل رسوبات شسته شده و به اعماق بیشتر نقل مکان نمایند و رسوبات دانه درشت‌تر بر جای بمانند. همچنین ذرات دانه ریزتر، که از نواحی ساحلی سرچشمه می‌گیرند، می‌توانند به صورت ذرات معلق تا فواصل بیشتری از ساحل انتقال یابند. باتوجه به تفاسیر ارائه شده مشخص گردید ایستگاه‌های مورد مطالعه به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند.

ایستگاه‌هایی که در فاصله بیشتری از ساحل قرار دارند، دارای ژرفای بیشتری داشته (۱۲ الی ۶۰ متر) و شامل ایستگاه‌های مرکز خلیج، دهانه خلیج، بیرون خلیج، رمین ژرف، بریس ژرف و پسابندر ژرف بوده که بطور عمده از ذرات دانه ریز تشکیل شده و دارای تیپ‌های رسوبی رس و رس ماسه‌ای هستند. نمونه‌های این ایستگاه‌ها بطور مشخصی از رس تشکیل شده‌اند. میزان ماسه و سیلت آن‌ها اندک است. جورشدگی متوسط تا خوب و کج‌شدگی مثبت دارند که گویای انرژی پایین محیط تشکیل آن‌ها بوده و تا حدودی دانه‌بندی و بافت رسوبی را تحت تأثیر قرار داده است (جدول ۱).

ایستگاه‌هایی که در نزدیکی ساحل قرار دارند، دارای ژرفای کمتری بوده (۵ الی ۱۲ متر) و ایستگاه‌های تیس، آب شیرین کن، کنارک، بهشتی، رمین کم ژرفا، بریس کم ژرفا و پسابندر کم ژرفا را شامل می‌شوند. این ایستگاه‌ها در هر دو بازه زمانی پیش و پس از مونسون به صورت عمده از ذرات دانه درشت ماسه‌ای تشکیل شده و دارای انواع رسوب ماسه و ماسه‌رسی هستند. جورشدگی خوب و کج‌شدگی منفی دارند که نشان دهنده رسوب‌گذاری در یک محیط آشفته و پرانرژی است. از طرفی کوارتز یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده این گروه از نمونه‌هاست که باعث گردیده تا جورشدگی نسبتاً خوبی داشته باشند؛ هرچند وجود خرده‌های اسکلتی و پوسته‌های صدف از میزان این جورشدگی به شدت کاسته است (جدول ۱). بر اساس نقشه‌های پراکندگی رسوبات مشاهده می‌گردد که بیشترین میزان دانه‌بندی مربوط به ذرات ماسه و رس است و با دور شدن از خط ساحلی میزان اجزای دانه ریز افزایش می‌یابد (شکل ۳). البته در برخی موارد، این تغییر دانه‌بندی با دور شدن از ساحل چندان مشهود نیست که دلیل آن فاصله نسبتاً کم نمونه‌ها از یکدیگر می‌باشد. میزان زیاد ذرات ماسه در رسوبات ایستگاه‌های کم عمق و نزدیک به ساحل، حاکی از جوان بودن و پویایی سواحل مکران است.

۳-۲- میزان کربنات کلسیم

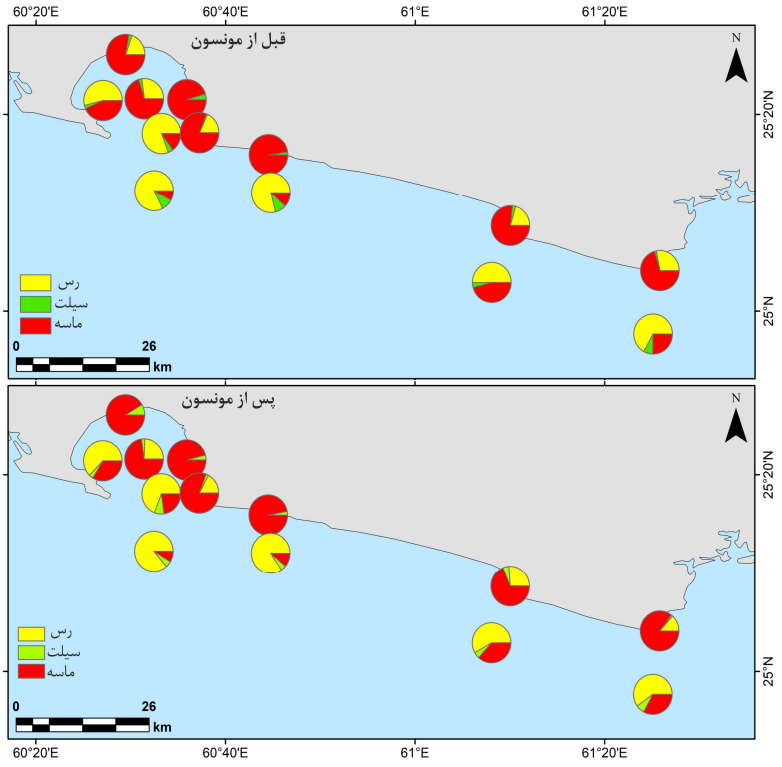
تغییرات مکانی درصد حجمی کربنات کلسیم در ایستگاه‌های کم ژرفا نزدیک ساحل و ایستگاه‌های ژرف دور از ساحل چشمگیر است. از دیدگاه زمانی و مکانی، درصد حجمی کربنات کلسیم در هر دو فصل پیش مونسون و پس از مونسون در ایستگاه‌های کم ژرفا و نزدیک ساحل بیشتر از ایستگاه‌های ژرف دور از ساحل است. میزان کربنات کلسیم در نمونه رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای همبستگی مثبت با مقدار ماسه موجود در این رسوبات است. در ۴ ایستگاه تیس، بهشتی، رمین و بریس میزان کربنات کلسیم از ایستگاه‌های دیگر بیشتر است که با افزایش درصد ماسه همراه است. بنظر می‌رسد بخش عمده میزان کربنات کلسیم بصورت خرده‌های صدفی در رسوبات حضور دارد که از این جهت همبستگی خوبی با ذرات دانه درشت دارد (شکل ۴).

۳-۳- میزان مواد آلی

بیش‌ترین مقدار مواد آلی در ایستگاه‌های بیرون خلیج، رمین و بریس ژرف در هر دو زمان پیش از مونسون و پس از مونسون و کم‌ترین مقدار آن در ایستگاه‌های پسابندر کم ژرفا، تیس و آب شیرین کن در هر دو دورهٔ زمانی مشاهده

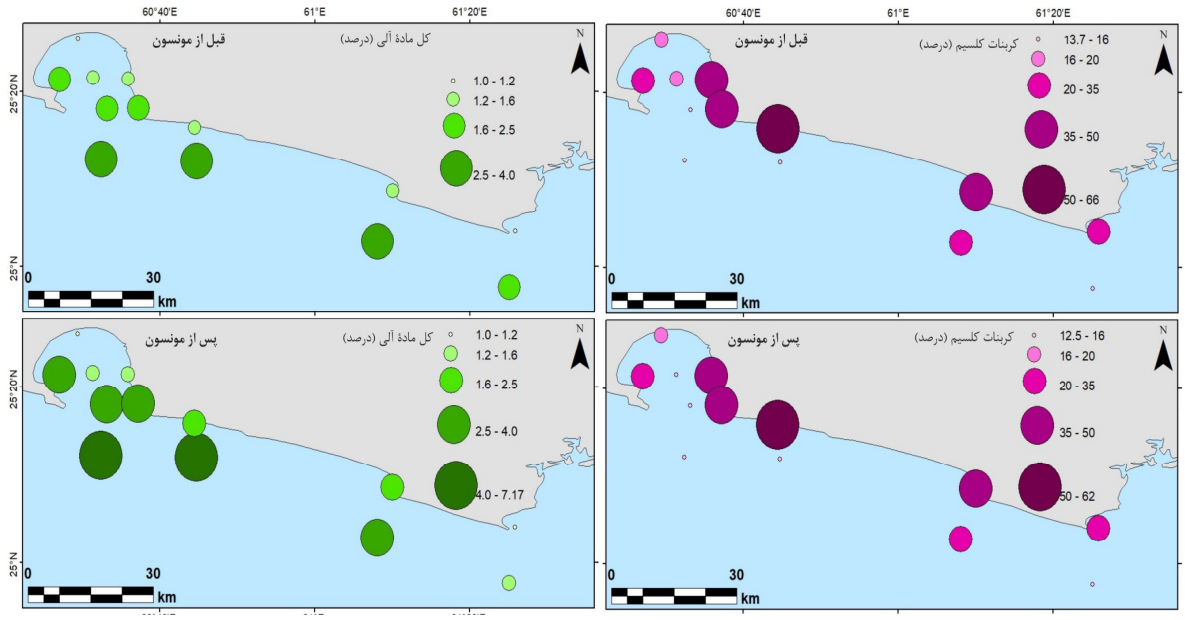
[1] Organic Matter

می‌شود. از طرفی، نمونه رسوبات ایستگاه‌های ژرف در هر دو فصل حاوی مقادیر بیش‌تری از مواد آلی نسبت به نمونه رسوبات ایستگاه‌های کم ژرفا نزدیک به ساحل است. تغییرات میزان مواد آلی عکس میزان کربنات کلسیم بوده و حاکی از تجمع آن در بافت دانه‌ریز است (شکل ۴).



شکل ۳. توزیع مکانی ماسه، سیلت و رس در ایستگاه‌های مورد مطالعه (پیش و پس از مونسون)

Fig. 3. Spatial distribution of sand, silt and clay in the studied stations (before and after monsoon)



شکل ۴. نقشه توزیع کربنات کلسیم و مواد آلی در رسوبات دریایی سواحل و فلات قاره دریای عمان (پیش و پس از مونسون).

Fig. 4. Distribution map of calcium carbonate and organic matter in marine sediments of the coasts and continental plateau of Oman Sea (before and after monsoon.

۳-۴- جورشدگی و کج‌شدگی

در ایستگاه تیس، میزان جورشدگی متوسط خوب نمونه‌های قبل از مونسون به خوب در زمان پس از مونسون تغییر کرده است. این امر به دلیل شسته شدن ذرات دانه ریز سیلت و رس از رسوبات و غلبه‌ی رسوبات ماسه‌ای در زمان پس از مونسون است. این امر تا حدودی در ایستگاه‌های آب شیرین کن، مرکز خلیج، بهشتی، رمین کم ژرفا، بریس کم ژرفا و پسابندر کم ژرفا نیز نمایان است. اما در ایستگاه‌های کنارک، بیرون خلیج، رمین، بریس و پسابندر ژرف جورشدگی متوسط تا خوب نمونه‌ها در دو زمان پیش و پس از مونسون تغییر محسوسی نکرده که حاکی از اثر به نسبت کمتر امواج ناشی از مونسون بر این ایستگاه‌ها است که در فاصله دورتری از ساحل قرار گرفته‌اند. بر خلاف موارد قبل، در ایستگاه دهانه‌ی خلیج چابهار، جورشدگی متوسط رسوبات قبل از مونسون به پس از مونسون افزایش یافته است. دلیل این پدیده را می‌توان انتقال رسوبات دانه‌ریز ساحلی به این بخش در زمان پس از مونسون دانست که موجب اختلاط رسوبات ماسه‌ای و گلی در این ناحیه‌ی نسبتاً عمیق می‌گردد (آفرین و همکاران، ۲۰۲۱) از نظر کج‌شدگی رسوبات ایستگاه‌های کم ژرفا نزدیک به ساحل عمدتاً دارای کج‌شدگی منفی و حاوی ذرات دانه درشت ماسه‌ای بوده و در مقابل ایستگاه‌های ژرف که در فاصله دورتری از ساحل واقع شده‌اند بیشتر بافت گلی و رسی داشته و دارای ذرات رس فراوانی بوده و دارای منحنی به شدت کج شده می‌باشند (جدول۱، شکل‌های ۲ و ۳).

۳-۵- مورفوسکوپی اجزای رسوبی

در مباحث پیشین بسیاری از مشخصه‌های بافتی نهشته‌های سواحل شمالی دریای عمان در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شرح داده شد. شکل دانه یکی دیگر از ویژگی‌های بافتی بوده که نمادی از فرآیندهای حمل و نقل رسوب‌گذاری است (آزیدان و همکاران، ۲۰۲۱). در همین راستا تصاویر از شکل دانه‌های رسوبی مورد مطالعه در شکل ۵ دیده می‌شود. اشکال این رسوبات عمدتاً ماسه‌ای (ریز تا بسیار ریز) همراه با کمی سیلت و رس نشان دهنده جورشدگی نسبتاً بالای این ذرات است. با توجه به تصاویر مربوطه مشخص می‌شود که رسوبات منطقه مورد مطالعه در سواحل دریای عمان دارای جورشدگی نسبتاً خوبی هستند و اندازه دانه‌های آن‌ها در حد ماسه ریز تا خیلی ریز متغییر است و مقدار ذرات سیلت و رس آن‌ها بسیار ناچیز است. این مطلب در مورد نمونه رسوب متعلق به تپه‌های ماسه‌ای پشت ساحلی[1] نیز صادق است میزان گردشدگی در مورد این نمونه‌ها در حد متوسط است (حمزه و همکاران، ۲۰۱۴). نمونه‌هایی که در مناطق دورتر از خط ساحلی و در ایستگاه‌های عمقی برداشته شده‌اند به دلیل وجود مقادیر متغییری از رس، سیلت و ماسه جورشدگی کمتری دارند. همانطور که در تصاویر مشهود است نمونه‌های رسوبی متعلق به ایستگاه‌های دور از ساحل پسابندر، بریس، رمین و دهانه خلیج ریزدانه‌تر می‌باشند. در کل به جز نمونه‌های ۲، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ که دارای جورشدگی و گردشدگی نسبتاً زیادی می‌باشند، میزان گردشدگی و جورشدگی دیگر رسوبات در حد متوسط تا ضعیف می‌باشد (شکل ۵). تصاویر گرفته شده از رسوبات دانه‌بندی شده توسط روش الک تر حاکی از یکسان بودن اندازه دانه‌ها می‌باشد. نکته قابل توجه، حضور مقدار فراوان پوسته‌های صدفی و روزن‌داران (به خصوص خانواده شواژرینیده[2]) در این نمونه‌ها است.

۳-۶- رسوب‌شناسی سواحل گستره مورد مطالعه

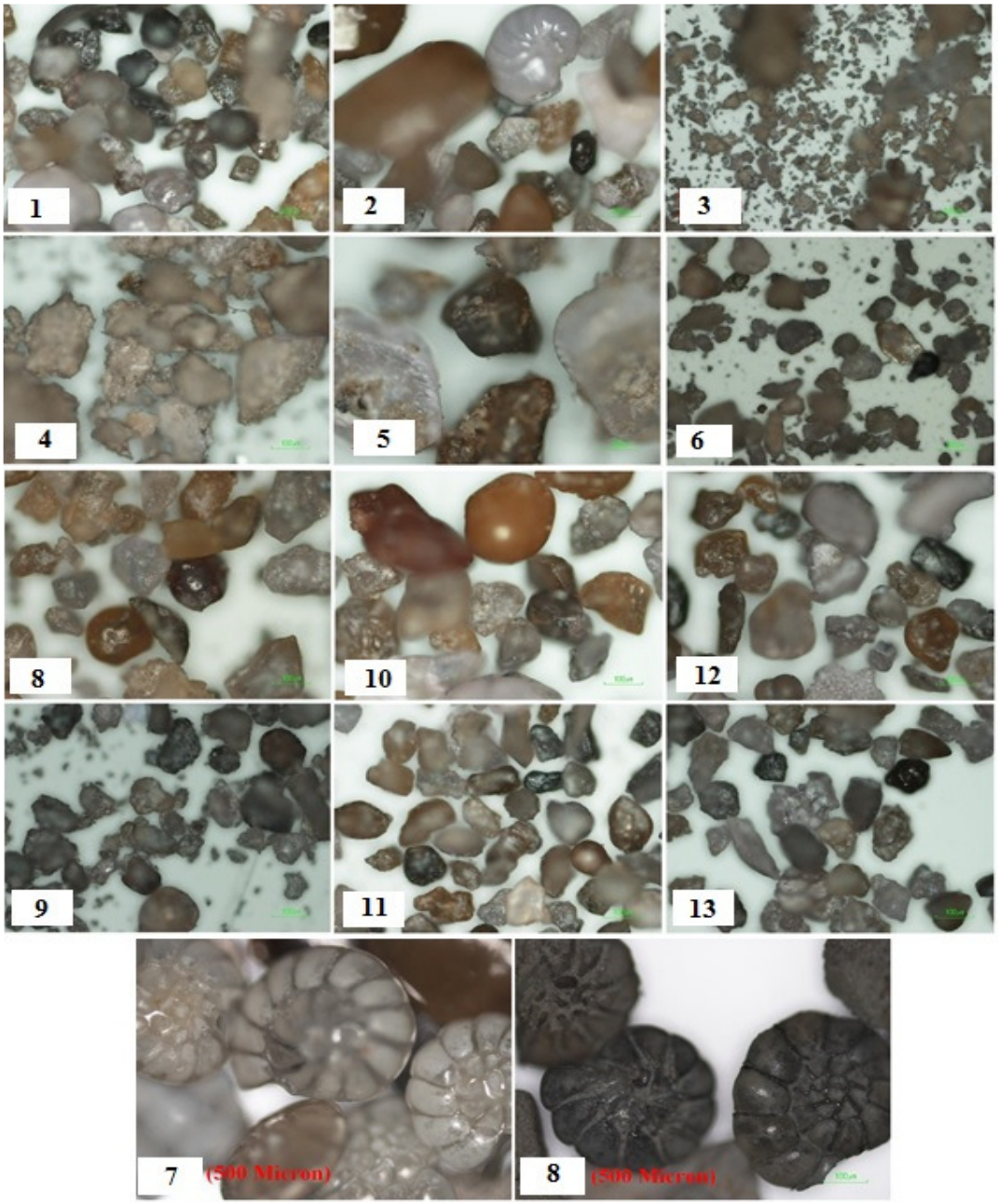
سواحل را می‌توان بر اساس نوع رسوبات آن‌ها تقسیم‌بندی نمود. بر این اساس سه نوع ساحل قابل شناسایی است که در محدوده مورد بررسی، هر سه نوع ساحل قابل مشاهده است. این سواحل عبارتند از: سواحل سنگی (صخره‌ای)، سواحل ماسه‌ای و سواحل گلی.

سواحل صخره‌ای[3]: این سواحل در مناطقی بوجود می‌آیند که در خط ساحلی، سازندهای سنگی سخت در تماس مستقیم با آب دریا قرار داشته و این سواحل با صخره‌ها، سکوها و پرتگاه‌هایی مشخص می‌شوند که در اثر امواج، دائماً در حال فروریزش هستند. دانه‌های رسوبی در این سواحل، اغلب در حد گراول (قطر بیش از ۲ میلی‌متر) قرار داشته و حاصل فرسایش صخره‌ها می‌باشند. شیب ساحل در این مناطق بیش از ۱۰ درجه است. این نوع سواحل در منطقه به دلیل بالاآمدگی سواحل مکران به وفور یافت

[1] Backshore sand dunes
[2] Schwagerinidae
[3] Rocky shores

می‌شوند. سواحل شهر چابهار، سواحل لیپار و همچنین بین بریس و پسابندر از نمونه‌های بارز این نوع سواحل در منطقه مورد مطالعه هستند (شکل ۶- الف).

سواحل ماسه‌ای[۴]: این سواحل نسبت سواحل سنگی تکامل یافته‌تر بوده و شیب کمتری دارند. اندازه بیشتر رسوبات این سواحل نیز در حد ماسه است. این سواحل در منطقه گسترش زیادی دارند. لازم به ذکر است که پهنای این سواحل در این ناحیه به دلیل فعال بودن خط ساحلی از لحاظ تکتونیکی، پهنای آن‌ها کم است و در فاصله چند متری از، سواحل صخره‌ای قدیمی‌تر پدیدار می‌شوند. این سواحل در داخل خلیج چابهار، بین رمین و لیپار و مناطقی بین لیپار و بریس دیده می‌شوند (شکل ۶- ب).

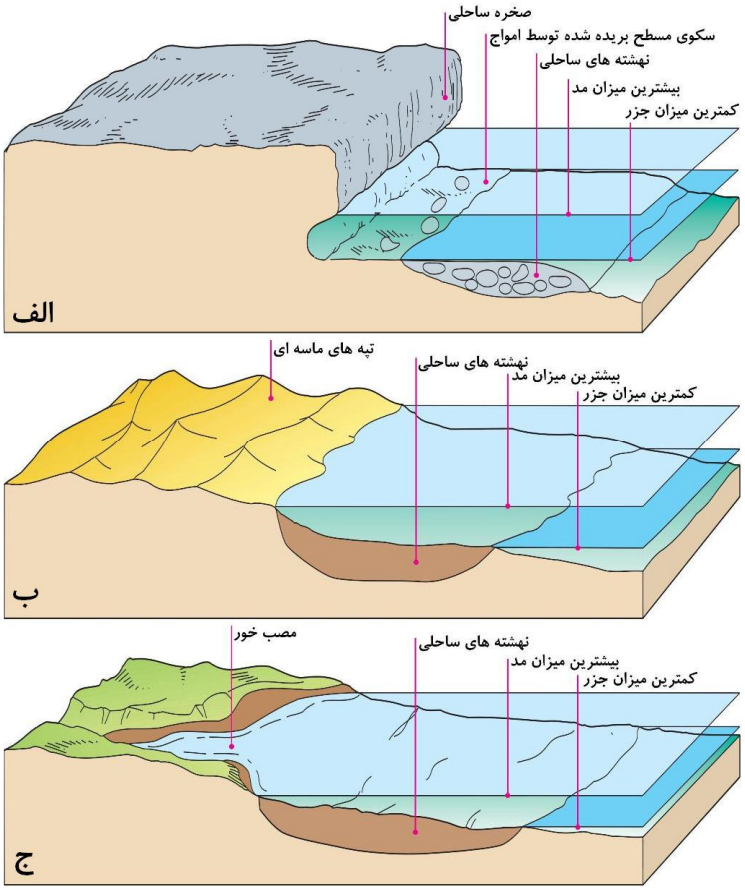


شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از نمونه رسوبات ایستگاه مختلف مطالعه شده سواحل و فلات قاره دریای عمان

Fig. 5. Microscopic images of sediment samples from different stations studied on the shores and plateaus of the Oman Sea.

[4] Sandy shores

سواحل گلی[1]: این سواحل اغلب در خلیج‌ها و خورها به چشم می‌خورند و اندازه دانه‌های رسوبی در آن‌ها در حد سیلت و رس می‌باشد. گسترش این سواحل در منطقه به نسبت دو نوع قبلی کمتر است. این سواحل در بخش‌هایی از خلیج چابهار و خلیج گواتر دیده می‌شوند که اغلب محل رویش جنگل‌های حرا[2] هستند. در کرانه اکثر این سواحل در محدوده مورد مطالعه تپه‌های ماسه‌ای دیده می‌شوند (شکل۶، ج). همانطور که انتظار می‌رود، بیش از ۹۸ درصد دانه‌های رسوبات تپه‌های ماسه بادی نزدیک سواحل ماسه‌ای منطقه، از نوع ماسه هستند. از این میان، اکثر اندازه دانه‌ها در حد ماسه متوسط (۰/۲۵ - ۰/۵ میلی‌متر) هستند. تپه‌های ماسه‌ای حاصل از این رسوبات، یکی از فراون‌ترین اشکال زمین ریخت‌شناسی نوار ساحلی منطقه هستند. رسوبات بستر رودخانه باهوکلات در محل تلاقی با خلیج گواتر از نوع گل می‌باشند که در آن‌ها نسبت سیلت به رس حدود ۶۰ به ۴۰ می‌باشد. در شکل ۷ موقعیت انواع مختلف سواحل منطقه از نظر نوع رسوبات مشخص شده است.



شکل۶. تقسیم‌بندی سواحل منطقه از نظر نوع بافت رسوب: الف) سواحل صخره‌ای؛ ب) سواحل ماسه‌ای و ج) سواحل گلی (لی و استوکس، ۲۰۰۶)

Fig. 6. Division of the beaches of the region according to the type of sediment texture: a) rocky beaches, b) sandy beaches, c) mud beaches (Lee and Stokes, 2006).

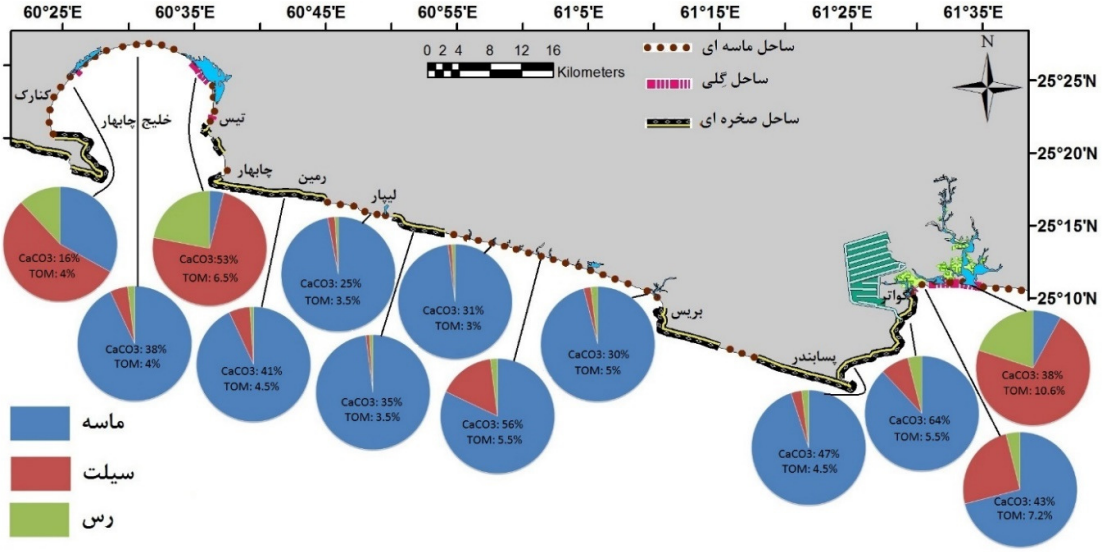
۳-۷- رسوب‌شناسی خورهای گستره مورد مطالعه

خورها یکی از محیط‌های رسوبی مهم در مناطق ساحلی می‌باشند. این محیط‌ها در حقیقت مصب رودخانه‌هایی هستند کـه در اثر بالاآمـدگی سطح آب دریا، از آب پر شده‌اند. از نظر نحوه تشکیل، انواع مختلفی از خورها وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها خورهای حاصل از سد ماسه‌ای[1]، خورهای تکتونیکی[2] و فیورد[3] می‌باشد. در منطقه، در مصب رودخانه‌های فصلی، تعداد زیادی از این خورها ایجاد شده

[1] Muddy shores
[2] Mangrove
[1] Bar-built estuary

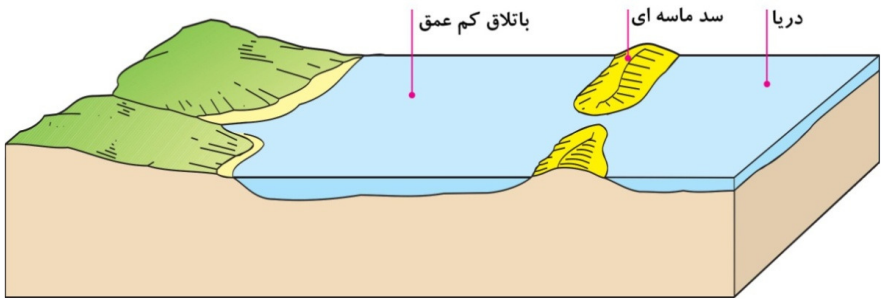
[2] -Tectonic estuary
[3] Fjord

که همگی از نوع سد ماسه‌ای هستند و بزرگ‌ترین و مهم‌ترین آن‌ها خور لیپار می‌باشد (شکل ۸). این نوع خورها در حقیقت باتلاق‌های[4] کم‌عمقی هستند که توسط یک سد ماسه‌ای که توسط عملکرد امواج ایجاد شده، از دریا جدا شده است (شکل ۷). در خور لیپار پس از مونسون تابستانی که قدرت امواج کاهش یافته و رسوب‌گذاری در ساحل افزایش می‌یابد، این سد ماسه‌ای ارتباط باتلاق را با دریا بطور کامل قطع نموده و در اثر تبخیر، موجب افزایش بسیار زیاد شوری آب آن می‌گردد. به دلیل رشد نوعی پلانکتون قرمز رنگ، آب آن برنگ صورتی می‌باشد و به همین دلیل به آن دریاچه صورتی می‌گویند (شکل ۸). خورهای موجود در خلیج گواتر که محیط رویش جنگل‌های حرا را فراهم نموده‌اند نیز از لحاظ مطالعات ژئوشیمیایی و زیست محیطی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارند. به دلیل خصوصیات منحصربفرد موجود در جنگل‌های حرا، گل‌های حرا دارای ظرفیت فوق‌العاده‌ای در تجمع آلاینده‌های ورودی به محیط‌های نزدیک ساحل می‌باشند (دنگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۲۱). رسوبات حرا اغلب در حد ماسه خیلی ریز تا سیلت بوده و معرف محیط‌های احیایی می‌باشند و بنابراین غنی از سولفید و مواد آلی هستند (جوزف و همکاران، ۲۰۲۲؛ کساری و همکاران، ۲۰۲۲). اغلب فلزات سنگین در محیط‌های احیایی نامحلولند و سریعاً جذب کلوئیدها می‌شوند (شی و همکاران، ۲۰۱۹؛ رضائی و همکاران، ۲۰۲۱). در نتیجه غلظت فلزات سنگین در این رسوبات ۵-۳ برابر میزان آن‌ها در آب دریای روی آن‌ها است (رضائی و همکاران، ۲۰۲۱).



شکل۷. موقعیت سواحل مختلف منطقه از نظر نوع رسوب

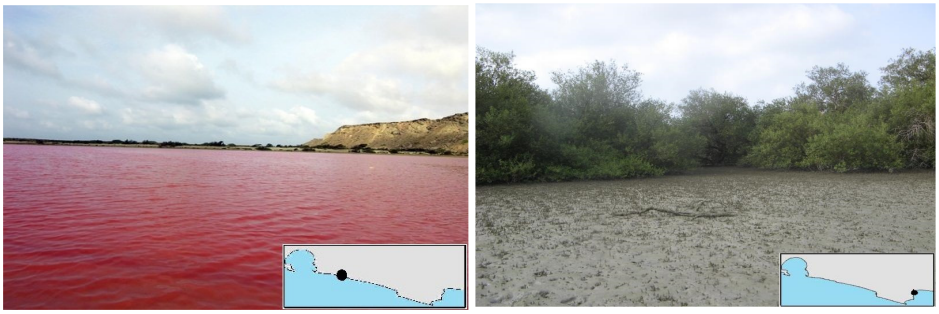
Fig. 7. Location of different beaches in the region in terms of sediment type



شکل ۸. ریخت‌شناسی خور حاصل از سد ماسه‌ای (لی و استوکس، ۲۰۰۶)

Fig. 8. Morphology of the estuary resulting from the sand dam (Lee and Stokes,2006)

[4] Lagoon



شکل ۹. خور گواتر (سمت راست) و خور یا دریاچه صورتی لیپار (سمت چپ)
Fig. 9. Goater estuary (right side) and Lipar Pink Lake estuary (left side)

۴- نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که رسوبات بخش ایرانی فلات قاره شمال دریای عمان از نوع ماسه، ماسه رسی، رس ماسه‌ای و رس می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که رسوبات ساحلی منطقه عموماً از نوع ماسه‌ای می‌باشند و بیش از ۷۰ درصد آن‌ها را ماسه تشکیل می‌دهد. در نمونه‌های محیط طبیعی دور از ساحل میزان ماسه کاسته می‌شود و میزان سیلت و سپس رس افزایش می‌یابد که دلیل آن کاهش قدرت امواج بستر در نواحی دور از ساحل است. در محیط‌های نزدیک اسکله‌ها و داخل محیط موج‌شکن‌ها به دلیل آرامش نسبی آب، رسوبات دانه ریزتر می‌شوند. نکته دیگر حضور رسوبات دانه ریز در سواحل کنارک می‌باشد که دلیل آن حضور دماغه کنارک است که به عنوان یک موج شکن عمل می‌نماید و مانع از تلاطم شدید آب در اثر امواج مونسون حاصل از بادهای جنوب غربی می‌گردد از سویی دیگر میزان اجزای دانه ریزتر در رسوبات ایستگاه‌های ژرف، بسیار بیش از رسوبات مناطق ساحلی و ایستگاه‌های کم ژرفا است. میزان متوسط رسوبات گلی (سیلت+رس) ایستگاه‌های عمقی پیش از مونسون و پس مونسون بیش از ۸۰ درصد می‌باشد این در حالی است که این مقدار برای نمونه‌های ایستگاه‌های نزدیک ساحل و کم ژرف کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد. دلیل افزایش میزان رس و سیلت در ایستگاه کنارک وجود موج شکن اسکله کنارک است که موجب می‌شود محیط آرامی داخل و پشت اسکله ایجاد شود و رسوبات دانه ریزتر توسط امواج شسته نشوند. نتایج همچنین نشان از دو منشا آواری و شیمیایی برای رسوبات بخش شمالی فلات قاره دریای عمان می‌باشد. ذرات ماسه‌ای دارای دو منشأ بیرون حوضه‌ای و درون حوضه‌ای هستند. ماسه‌های بیرون حوضه‌ای عمدتاً توسط رودخانه‌ها و از فرسایش رخنمون‌های ماسه‌سنگی مکران ساحلی وارد دریا شده‌اند. در نواحی ساحلی به دلیل قدرت بیشتر امواج به نسبت نواحی دور از ساحل، رسوبات با شدت و فراوانی بسیار بیشتری به حرکت در می‌آیند. این امر باعث افزایش میزان گردشدگی و جورشدگی آن‌ها می‌شود. در محدوده مورد مطالعه به دلیل حاکمیت پدیده اقلیمی مونسون در تابستان (تیر تا شهریور ماه) قدرت امواج دریا بسیار زیاد است و امواج رسوبات ساحلی را کاملاً شسته و به بخش‌های عمیق‌تر می‌برند. اما با خاتمه یافتن این دوره، به دلیل کاهش قدرت امواج، رسوبات ساحلی بصورت تپه‌هایی در امتداد ساحل نهشته می‌شوند. در نواحی ساحلی همچنین فرسایش سازندهای ساحلی موجب تشکیل حجم زیادی رسوب آورای می‌گردد که مهم‌ترین جزء سازنده رسوبات ساحلی به شمار می‌روند. الگوی پراکنش رسوبات ناحیه مورد مطالعه تحت تأثیر ریخت‌شناسی سواحل و سیستم‌های جوی حاکم بر منطقه است. مناطق ساحلی و فلات قاره تحت تأثیر سامانه آب و هوایی مونسون، امواج و جریان‌های دریایی حاصل از بادهای مونسون هستند. بعلاوه رودخانه‌ها در منطقه مکران و دریای عمان از عوامل اصلی فرسایش و رسوب‌گذاری به شمار می‌روند، که منجر به فرسایش ذرات دانه ریز سیلتی و رسی در نواحی بالادست شده و رسوبات را به مناطق ساحلی و دریایی منتقل می‌کنند. بخش عمده‌ای از سواحل منطقه مورد مطالعه از محدوده خلیج چابهار تا پسابندر از دریابارها و صخره‌های سنگی (پادگانه‌های دریایی) تشکیل شده است، برخورد امواج با این سواحل، باعث شکستن و فروافتادن قطعات بزرگ سنگی و فرسایش آن‌ها در اثر امواج می‌گردد که خاستگاه بخش دیگری از رسوبات منطقه فلات قاره

دریای عمان را می‌توان به فرسایش این قطعات سنگی تخریب شده در ساحل نسبت داد همچنین وزش باد نیز مقداری رسوب بادی دانه ریز از تپه های ماسه بادی سواحل را به فلات قاره منطقه مورد مطالعه انتقال می‌دهد. اما اثر تخریب و فرسایش سواحل سنگی و رسوبات انتقال یافته ناشی از وزش بادهای موسمی در مقایسه با رسوبات وارد شده توسط رودخانه‌های فصلی ناچیز است. در مجموع به نظر می‌رسد پژوهش‌های کامل کمی و کیفی برپایه مدل‌سازی‌های اقلیمی مرتبط با پدیده مونسون می‌تواند به درک هرچه بهتر این پدیده و تاثیر آن بر فرآیندهای رسوب‌شناسی فیزیکی و شیمیایی در این گستره از ایران منجر گردد.

References

Afarin, M., and Hamzeh, M. A (2021) The Effects of Monsoon waves on sedimentological characteristics in the Chabahar bay sediments. Applied Sedimentology, 9(18): 34-50. doi: 10.22084/psj.2021.23353.1267. (in Persian).

Afarin, M., Hamzeh, M. A., Negarestan, H (2015) Sedimentological and Geomorphological Classification of Chabahar Coastal Area (Chabahar-Gawater). Journal of the Persian Gulf (Marine Science), 6 (21): 51-63.

ASTM (1988) Designation D2216-80, Standard method for laboratory determination of water (moisture) content of soil, rock and soil-aggregate mixtures. In: 1988 Annual book of ASTM standards, Construction, soil and rock, building stones, geotextiles, 04.08: 4-262.

Athira, T. R., Nefla, A., Shifa, C. T., Shamna, H., Aarif, K. M., AlMaarofi, S. S., & Muzaffar, S. B (2022) The impact of long-term environmental change on zooplankton along the southwestern coast of India. Environmental Monitoring and Assessment, 194(4): 316. https://doi.org/10.1007/s10661-022-09921-w.

Azidane, H., Michel, B., Bouhaddioui, M. E., Haddout, S., Magrane, B., & Benmohammadi, A (2021) Grain size analysis and characterization of sedimentary environment along the Atlantic Coast, Kenitra (Morocco). Marine Georesources & Geotechnology, 39(5): 569-576.

Cheng, Z., Jalon-Rójas, I., Wang, X. H., & Liu, Y (2020) Impacts of land reclamation on sediment transport and sedimentary environment in a macro-tidal estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 242: 106861. doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106861.

Clemens, S. C., Yamamoto, M., Thirumalai, K., Giosan, L., Richey, J. N., Nilsson-Kerr, K., & McGrath, S. M (2021) Remote and local drivers of Pleistocene South Asian summer monsoon precipitation: A test for future predictions. Science Advances, 7(23): eabg3848. doi 10.1126/sciadv. abg3848.

Das, G. K (2023) Granulometry of Beach Sands. In Coastal Environments of India: A Coastal West Bengal Perspective (pp. 79-94). Cham: Springer International Publishing, 225p.

Deng, H., He, J., Feng, D., Zhao, Y., Sun, W., Yu, H., and Ge, C (2021) Microplastics pollution in mangrove ecosystems: a critical review of current knowledge and future directions. Science of the Total Environment, 753: 142041.

Duong, H. T (2018) Observation of monsoon and typhoon-driven hydro-morphodynamics at a tropical low-tide terraced beach: a case study at Nha Trang, Vietnam (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).

Farrell, E. J., Sherman, D. J., Ellis, J. T., and Li, B (2012) Vertical distribution of grain size for wind-blown sand, Aeolian Research, 51-61. doi.org/10.1016/j.aeolia.2012.03.003.

Fatima, D. Q., and Jamshed, A (2020) The political and economic significance of Indian Ocean: An analysis. South Asian Studies, 30(2).

Folk, R., L (1980) Petrology of sedimentary rocks. Austin, Tex., Hemphill Publishing, Co. 184p.

Ghadeer, S (2022) Grain size analysis and characterization of sedimentary environment of the surface sediments along the Syrian Coast, Umm al-Tuyour (Latakia). Marine Georesources & Geotechnology, 1-8. doi.org/10.1080/1064119X.2022.2152766.

Ghorbani, M (2019) Lithostratigraphy of Iran (p. 274). Cham: Springer,306p.

Guan, Q., Zhang, J., Wang, L., Pan, B., Gui, H., and Zhang, C (2013) Discussion of the relationship between dustfall grain size and the desert border, taking the southern border of the Tengger Desert and the southern dust deposit area as an example, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1-7.

Haghbin, M., Rezaei, K., Bayat, M., Rafiei, B., and Hashemi Ghasem Abady, A (2016) Tsunami event Sedimentology evidence in Makran coasts, Balouchestan. Applied Sedimentology, 4(7): 82-100. doi: 10.22084/psj.2016.1662 (in Persian).

Hamzeh, M. A., Beskeleh, G., and Habibi, P (2014) Geochemical investigation of the sediments of the coasts of Oman Sea using Geographical Information System (GIS), (first phase: Chabahar to Gwatar). National Research Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences. Code: 01-021-390 (in Persian).

Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G (2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results: Journal of

of Chabahar Bay, scale 1:50000. Internal report of the Geology and Mineral Exploration Organization of the country, Marine Geology Management, 87 p. (in Persian).

Ramamohanarao, T., Sairam, K., Venkateswararao, Y., Nagamalleswararao, B., and Viswanath, K (2003) Sedimentological characteristics and depositional environment of Upper Gondwana rocks in the Chintalapudi sub-basin of the Godavari valley, Andhra Pradesh, India, Journal of Asian Earth Sciences, 6: 691-703. doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00139-6.

Ramanathan, A. L., Rajkumar, K., Majumdar, J., Singh, G., Behera, P. N., Santra, S. C., and Chidambaram, S (2009) Textural characteristics of the surface sediments of a tropical mangrove sundarban ecosystem India, Indian Journal of Marine Sciences, 4: 397-403.

Rezaei, M., Kafaei, R., Mahmoodi, M., Sanati, A. M., Vakilabadi, D. R., Arfaeinia, H., ... and Boffito, D. C (2021) Heavy metals concentration in mangrove tissues and associated sediments and seawater from the north coast of Persian Gulf, Iran: Ecological and health risk assessment. Environmental nanotechnology, monitoring & management, 15: 100456. doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100456.

Rubin, D. M., Lapôtre, M. A. G., Stevens, A. W., Lamb, M. P., Fedo, C. M., Grotzinger, J. P., & Malin, M. C (2022) Ancient winds, waves, and atmosphere in Gale crater, Mars, inferred from sedimentary structures and wave modeling. Journal of Geophysical Research: Planets, 127(4): e2021JE007162. doi.org/10.1029/2021JE007162.

Saket, A., Etemad-Shahidi, A (2012) Wave energy potential along the northern coasts of the Gulf of Oman, Iran. Renewable Energy, 40: 90-97. doi.org/10.1016/j.renene.2011.09.024.

Scheffers, A., Engel, M., Scheffers, S., Squire, P., Kelletat, D (2012) Beach ridge systems, archives for Holocene coastal events? Prog. Phys. Geogr. 36: 5–37. doi.org/10.1177/030913331141954.

Schott, F. A., and McCreary, J. P (2001) The monsoon circulation of the Indian Ocean, Prog. Oceanogr., 51: 1– 123.

Sengupta, D., R. Senan, and Goswami, B. N (2001) Origin of intraseasonal variability of circulation in the tropical central Indian Ocean, Geophys. Res. Lett, 28: 1267– 1270. doi.org/10.1029/2000GL012251.

Shah-Hosseini, M., Ghanavati, E., Morhange, C., Naderi Beni, A., Lahijani, H. A., Hamzeh, M. A (2018) The evolution of Chabahar beach ridge system in SE Iran in response to Holocene relative sea level changes. Geomorphology, 318: 139–147.

Paleolimnology, 25: 101-110. doi.org/10.1023/A:1008119611481.

Huang, Y., Xiao, X., Effiong, K., Xu, C., Su, Z., Hu, J., & Holmer, M (2021) New insights into the microplastic enrichment in the blue carbon ecosystem: evidence from seagrass meadows and mangrove forests in coastal South China Sea. Environmental Science & Technology, 55(8): 4804-4812. doi.org/10.1021/acs.est.0c07289.

Joseph, P., Nandan, S. B., Sreelekshmi, S., Jayachandran, P. R., Varghese, R., Preethy, C. M., and Adarsh, K. J (2021) Benthic biocoenosis: influence of edaphic factors in the tropical mangroves of Cochin, Southern India. Tropical Ecology, 62: 463-478. doi.org/10.1007/s42965-021-00162-5.

Keesari, T., Chidambaram, S., Pethaperumal, S., Kamaraj, P., Sharma, D. A., & Sinha, U. K (2022) Arsenic distribution in sediments of multi-tier sedimentary formation of coastal Pondicherry, India–Implications on groundwater quality. Marine Pollution Bulletin, 174: 113193. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113193.

Lee, G. and Stokes, J (2006) Marine science: an illustrated guide to science. Chelsea House, New York,512p.

Lewis, D. W., and Mc Conchie, D (1994) Analytical sedimentology, Chapman and Hall, London, UK, 197p.

Liu, F., Wang, B., Ouyang, Y., Wang, H., Qiao, S., Chen, G., and Dong, W (2022) Intraseasonal variability of global land monsoon precipitation and its recent trend. npj Climate and Atmospheric Science, 5(1): 30. doi.org/10.1038/s41612-022-00253-7.

Liu, J. P., Kuehl, S. A., Pierce, A. C., Williams, J., Blair, N. E., Harris, C., and Aye, Y. Y (2020) Fate of Ayeyarwady and Thanlwin rivers sediments in the Andaman Sea and Bay of Bengal. Marine Geology, 423: 106137. doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106137.

Malvarez, G. C., Cooper, J. A. G., & Jackson, D. W. T (2001) Relationships between wave-induced currents and sediment grain size on a sandy tidal-flat", Journal of Sedimentary Research, 5: 705-712. doi.org/10.1306/2DC40961-0E47-11D7-8643000102C1865D.

Merkus, H., G (2009) Particle Size Measurements: Fundamentals, Practice, Quality. Springer Netherlands, 534p.

Miocic, J. M., Sah, R., Chawchai, S., Surakiatchai, P., Choowong, M., & Preusser, F (2022) High resolution luminescence chronology of coastal dune deposits near Chumphon, Western Gulf of Thailand. Aeolian Research, 56: 100797. doi.org/10.1016/j.aeolia.2022.100797.

Mohammadi, A (2016) Investigation of sedimentology and sedimentary geochemistry

Shetty, A., & K. S. J (2021) Proxies for sediment transport patterns and environmental characteristics: A case study of Karnataka coast, India. Journal of Sedimentary Environments, 6: 107-120. doi.org/10.1007/s43217-020-00038-z.

Shi, C., Ding, H., Zan, Q., and Li, R (2019) Spatial variation and ecological risk assessment of heavy metals in mangrove sediments across China. Marine pollution bulletin, 143: 115-124. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.043.

Snelder, T. H., Lamouroux, N., & Pella, H (2011) Empirical modelling of large scale patterns in river bed surface grain size, Geomorphology, 3(4): 189-197.

Syvitski, J. P. M. & Milliman, J. D (2007) Geology, geography, and human battle for dominance over the delivery of fluvial sediment to the coastal ocean, Journal of Geology, 1: 1-19. doi.org/10.1086/509246.

Trott, C. B., Subrahmanyam, B., Chaigneau, A., & Delcroix, T (2018) Eddy tracking in the northwestern Indian Ocean during southwest monsoon regimes. Geophysical Research Letters, 45(13): 6594-6603. doi.org/10.1029/2018GL078381.

Valsangkar, A. J (1992) Principles, methods and applications of particle size analysis. Canadian Geotechnical Journal, 29 (6): 92-115.

Xu, N., Zhu, Z., Gao, W., Shao, D., Li, S., Zhu, Q., & Yang, Z (2023) Effects of waves, burial depth and material density on microplastic retention in coastal sediments. Science of The Total Environment, 864: 161093.

Yu, J., Ding, Y., & Cheng, H (2021) Sediment textural characteristics and spatial variability of embayed sandy beaches in the west Guangdong. Regional Studies in Marine Science, 45: 101801. doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101801.

Investigating the effects of monsoon on the textural characteristics of sediments sediments in the Iranian part of the continental plateau of the North Sea of Oman (Chabahar Bay to Pasbandar)

M. Afrin[1*], P. Rezaei[2], M. A. Hamzeh[3] and S. A. Jooybari[4]

1- Ph. D. student in Sedimentology and sedimentary petrology, University of Hormozgan and Research stuff, Research and Technology Station of Oceanography and Atmospheric Sciences, Chabahar, Iran
2- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
3- Assist. Prof., National Research Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences, Research and Technology Station of Oceanography and Atmospheric Sciences, Bandar Abbas, Iran
4- Ph. D in Sedimentology and sedimentary petrology, Dept., of Geology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

* **Afarin.m@inio.ac.ir**

Recieved: 2023.2.14 Accepted: 2023.4.26

Abstract

In this research, the effect of monsoon phenomenon on the textural characteristics of the sediments of Iranian coasts of the Oman Sea was investigated. For this purpose, necessary sampling was done from 13 stations based on marine sedimentological standards. According to the amounts of sand, silt and clay in the pre-monsoon and post-monsoon samples, the sedimentary types of sand, clayey sand, sandy clay and clay were identified in the studied stations. Granulometric analysis showed that the amount of sand and clay in pre-monsoon samples of shallow and near-shore stations (Tiss, Desalination, Center of the Bay, Ramin, Beris and Pasabandar) range from 43 to 97 and 0 – 27%, respectively. On the other hand, these values change between 8 – 45% and 54 - 82 % in deep and offshore stations, respectively. The amount of sand and clay in post-monsoon samples of shallow and near-shore stations vary between 68% - 96% and 0% - 13%, respectively. The amount of sand and clay in deep stations and far from the coast in post-monsoon samples fluctuates between 8-22% and 58-86%. The amount of organic matter in sediments varies between 1 and 3% in most of the studied stations and is within the normal range. This amount showed a slight increase in Konarak and Ramin stations due to human pollutants and fine-grained sedimentary texture. The low amount of organic matter in the desalination station can be caused by the inflow of more saline wastewater into the bay environment. The calcium carbonate content in the sediments is closely related to the amount of sand in the sediments. In Ramin and Tiss stations, where the waves are stronger than the Chabahar bay, they have more calcium carbonate, and on the contrary, the amount of organic matter is higher due to the dilution resulting from the entry of terrigenous sediments and carrying organic matter bearing Fine-grained sediments. The sorting of the samples is medium-good, and the sediment samples from the shallow stations near the coast and deep offshore have negative and positive skewness, respectively, and the elongation index in most of the samples is very elongated. Also, due to the intrusion of the Indian Ocean monsoon winds to the coasts of the Oman Sea in this region and the relatively strong southwest-northeast direction winds, it causes the sea to swell in the summer and erodes the sandstone geological formations of the coastal areas, which is one of the important sources of marine sediments in the study area. These findings emphasize the effect of the monsoon phenomenon on the textural characteristics of the continental plateau sediments of the North Sea of Oman.

Keywords: Physical Characteristics, Sediment, Monsoon, Coast of Oman

Introduction

Grain size is one of the basic and important characteristics of sediment particles affected during erosion and transport. Therefore, grain size analysis can be an important tool for classifying sedimentary environments. The seasonal fluctuations of the Indian Ocean monsoon as one of the most important components of the world's climate system, including the SW monsoon (summer monsoon) and the NE monsoon (winter monsoon) affect Southwest Asia through torrential rains and

strong waves. The SW monsoon climatic system is one of the unique features of the Oman Sea, which greatly impacts the environmental characteristics and ecosystem of Makran coasts. Monsoon-induced strong waves remove sediments from the bottom and transport them to calmer areas sheltered by natural and man-made barriers such as headlands and jetties. Evaluating the role of sediment accumulation /erosion on coastal infrastructures, and benthic organisms, is very useful for the construction and maintenance of the coastal environments along the Iranian Makran coasts. The main purpose of this study is the sedimentological analysis of the Oman Sea coasts (between Chabahar Bay and Pasabandar Port) and to assess the effect of the monsoon phenomenon on the textural characteristics of sediments in the pre- and post-monsoon period.

Material and Method

Sampling was conducted in May (pre-monsoon) and November (post-monsoon) 2019 from 13 stations subtidal area from Chabahar Bay to Pasabandar Port using a Van_veen grab. Samples were stored in polyethylene bags at -4°C before undergoing laboratory analyses. Subsamples of the air-dried sediments were homogenized to normalize for variations in grain size distribution. Wet sieving analysis separated six size fractions: >2 (gravel), 2–0.5 (coarse–very coarse sand), 0.5–0.25 (medium sand), 0.25–0.125 (fine sand), 0.25–0.063 (fine–very fine sand), <0.063 mm (silt+clay). Silt and clay subsamples were analyzed using a laser diffraction particle sizer. The organic matter and calcium carbonate content were measured by heating to 550°C (4 hr) and 900°C (2 hr) using a muffle furnace, respectively.

Results and discussion

The results show that the offshore sediments of the Iranian Makran coasts (depth: 10-65 m) consist of sand, clayey sand, sandy clay and clay. The coastal sediments of the region (depth: <10 m) are generally sandy and more than 70% of them are sand. In the offshore samples of the natural environment, the amount of sand decreases and the amount of silt and then clay increases, which is due to the decrease in the strength of the bottom. The average amount of mud (silt+clay) of offshore stations in pre- and post-monsoon is more than 80%, while this amount is less than 20% for the samples of near-shore and shallow stations. In the areas close to the harbours and inside the breakwaters, due to the relative calmness of the water, the grains become finer. Moreover, the presence of fine-grained sediments on the beaches of Konarak is due to the presence of the Konarak headland, which acts as a breakwater and prevents the penetration of strong monsoon waves.

Conclusions

The results show both terrigenous and chemical origins for the sediments of the study area. Sand particles have two origins outside the basin and inside the basin. The sands outside the basin have entered the sea mainly by rivers and from the erosion of Makran coastal sandstone outcrops. In the coastal areas, due to the greater power of the waves compared to the areas far from the coast, the sediments move with much more intensity and frequency. This causes an increase in their roundness and sorting. In the studied area, due to the dominance of the monsoon climatic phenomenon in summer (July to September), the strength of the waves is very high and the waves completely wash the coastal sediments and take them deeper offshore. In contrast, at the end of this period, due to the decrease in the strength of the waves, coastal sediments are deposited in the form of hills along the coast.