

## ناحیه‌بندی سواحل جنوبی دریای خزر براساس شواهد مورفودینامیک رسوبی

همایون خوشروان<sup>۱\*</sup>، سمیه روحانی‌زاده<sup>۲</sup>، جواد ملک<sup>۳</sup> و قاسم نژادقلی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دکتری تخصصی زمین‌شناسی، رئیس مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، موسسه تحقیقات آب، ساری، ایران

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد رسوب‌شناسی، کارشناس پژوهشی مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ساری، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد مهندسی عمران، مربی پژوهشی موسسه تحقیقات آب، ساری، ایران

<sup>۴</sup> کارشناس ارشد فیزیک دریا، کارشناس پژوهشی مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ساری، ایران

(دریافت: ۱۰/۲۷/۸۸، پذیرش نهایی: ۸۹/۷/۲۸)

### چکیده

ناحیه‌بندی سواحل جنوبی دریای خزر به لحاظ صفات مورفودینامیک رسوبی بخش کم‌ترفای دریایی و خشک ساحلی هدف اصلی این تحقیق است. پس از جمع‌آوری اطلاعات و پردازش اولیه آنها، با آشنایی لازم با منطقه مورد بررسی، محورهای اندازه‌گیری ساحلی انتخاب شد. با اجرای عملیات میدانی مشخصات ساختار هندسی، عوارض مورفودینامیکی و ساختارهای رسوبی بستر دریا مورد پایش قرار گرفت. در مجموع با بررسی تعداد ۴۸ نمونه رسوبی برداشت شده از محدوده ساحلی در شش ایستگاه اندازه‌گیری (میانکاله، سرخورد، نشتارود، انزلی، تالش و آستارا) و با اجرای عملیات آزمایشگاهی و پردازش‌های لازم روی داده‌های به‌دست آمده در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی مشخص شد که سواحل جنوبی دریای خزر به لحاظ مورفودینامیک رسوبی به سه گروه سواحل فرسایشی، حد واسط و رسوب‌گذاری فعال ناحیه‌بندی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مورفودینامیک، ناحیه‌بندی، رسوب، دریای خزر

## Caspian Sea southern coasts zoning on the basis of sedimentary morphodynamic indicators

Khoshrovan, H.<sup>1</sup>, Rohanizadeh, S.<sup>2</sup>, Malek, J.<sup>3</sup> and Nejadgholi, Gh.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD in marine geology and Head of the Caspian Sea Research and Study Center, academic member of Water Research Institute, Sari, Iran

<sup>2</sup> M.Sc. in civil engineering and academic member of Water Research Institute, Sari, Iran

<sup>3</sup> M.Sc. in sedimentology, research member of the Caspian Sea Research and Study Center, Sari, Iran

<sup>4</sup> M.Sc. in marine physics, research member of the Caspian Sea Research and Study Center, Sari, Iran

(Received: 17 Jan 2010, Accepted: 20 Oct 2010)

### Abstract

In this research work the classification of the southern coasts of the Caspian Sea is performed using sedimentary and morphodynamic indices. This includes field study of morphodynamic characteristics of the shore structures. Field measurements include in situ samplings of sediments and actual observations of structures on site. These field activities were done along six transects in the dry coastal zones of Miankaleh, Sorkhrood, Nashtaroud, Anzali, Talesh and Astarra regions. The sediments samples were taken from sea bed along 6 transects in these regions. About 48 sediment samples were taken directly as well as photographic observations of sea floor structures, using research diving facilities. The sediments were taken to the laboratory in order to find their materials and particle sizes. The sediment characteristics from all transects found by this method and observational data using direct photographic observations of morphodynamic structures were analyzed and presented on GIS maps. The GIS media can interactively acquire data from Excel files and help the analysis of the acquired results as tables and graphs. Results of the analyses show that different parts of these areas response differently to the hydrodynamic forces considering rapid sea level changes of the Caspian Sea in recent

years. The results indicate that the beach area in these regions can be divided into 3 types regarding different flow regime conditions. Namely, low flow regime in the eastern part of the Caspian Sea Southern coast (accretion beach), transition regime in the central part of Mazandaran and Gilan Provinces (intermediate beach) and high flow regime for the western part of Mazandaran coastal area (erosion beach).

**Key words:** Morphodynamic, Zoning, Sediment, Caspian Sea

## ۱ مقدمه

هیدرودینامیکی و شکل‌گیری عوارض مورفودینامیکی و توزیع ذرات رسوبی در مناطق ساحلی در حکم متغیرهای تابع آن در منطقه مورد بررسی از ویژگی‌های متفاوتی برخوردار است. بنابراین موارد پیش گفته به منزله مهم‌ترین وظیفه پژوهش حاضر است. نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی اولیه در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهد که رسوبات به‌جای مانده متعلق به عصر کواترنری دریای خزر معرف عملکرد دوره‌های نوسانی متعدد سطح تراز آب دریا به‌صورت فازهای پیشرونده و پسرونده است (پالوسکا و دیکنز، ۱۳۷۱). همچنین مشخص شد که وضعیت رسوبات از نظر جنس و ترکیب رسوبی در محدود ساحلی آستارا تا گمیشان دارای رژیم رسوبی متنوع با ساختار ریخت‌شناسی متمایزی است (قانقرمه، ۱۳۸۷) ادامه بررسی در این مورد مشخص کرد که این منطقه از نظر خصوصیات ریخت‌شناسی ساحلی به پنج ناحیه ریخت‌شناختی (شکل ۱) قابل طبقه‌بندی کردن است (پالوسکا و دیکنز، ۱۳۷۱). همچنین نتایج حاصل از سامانه درجه‌بندی شدت آسیب‌پذیری سواحل جنوبی دریای خزر مشخص ساخت که سواحل مشرف به استان گیلان در محدوده بندر انزلی و بخش سواحل غربی مازندران در ناحیه ما بین نور تا رامسر مخاطرات فرسایشی زیادی دارد (خوشروان، ۱۳۸۰). بنابراین با استناد به مطالب مزبور درمی‌یابیم که منطقه مورد بررسی به‌لحاظ خصوصیات مورفودینامیک رسوبی قابل طبقه‌بندی است و بهره‌گیری از نتایج این پژوهش می‌تواند کمک بسزایی در ارزیابی عکس‌العمل فیزیکی مناطق ساحلی در مقابل نیروهای

معمولاً حفاظت بهینه از سواحل مبتنی به شناخت کامل و جامع خصوصیات هیدرودینامیکی و عوارض حاصل از آنها در مناطق ساحلی است. همچنین برنامه‌ریزی بهینه برای مقابله با بحران‌های ساحلی و مخاطرات طبیعی با تعیین اولویت‌ها و ضرورت‌های کارشناسی به منظور شناخت و طبقه‌بندی کردن سواحل به‌لحاظ میزان آسیب‌پذیری همراه است. بنابراین شناسایی وضعیت سواحل جنوبی دریای خزر به‌لحاظ ویژگی‌های فرسایش‌پذیری و رسوب‌گذاری برای تعیین مناطق حساس و ناپایدار در مقابل نواحی رسوبی فعال و پایدار به‌منزله مسئله اصلی این پژوهش است. افزایش سطح تراز آب دریای خزر طی ۳۰ سال اخیر به میزان ۲/۵ متر طی سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۷ مشکلات بسیار عمده‌ای را برای کاربری‌ها و جوامع انسانی حاشیه دریای خزر به‌وجود آورد. در حقیقت توسعه نیروهای هیدرودینامیکی دریا به‌صورت امواج فرساینده و جریان‌های ساحلی ناشی از آن با پیشروی آب دریا در محدوده اراضی خشک ساحلی، شرایط شدت آسیب‌پذیری فرسایشی مناطق ساحلی را افزایش داد (خوشروان، ۱۳۸۴). بنابراین نوسان‌های سطح تراز آب، امواج و جریان‌های ساحلی به‌منزله عوامل موثر بر فرسایش‌پذیری مناطق ساحلی دریای خزر محسوب می‌شوند و عکس‌العمل ساختاری سواحل با توجه به ماهیت رسوب‌شناختی و ساختار فیزیکی متفاوت، عامل بسیار مهمی در میزان شدت ناپایداری است. بررسی وضعیت کنونی سواحل دریای خزر موید تفاوت شدت آسیب‌پذیری آن در مناطق گوناگون است و تاثیر نیروهای

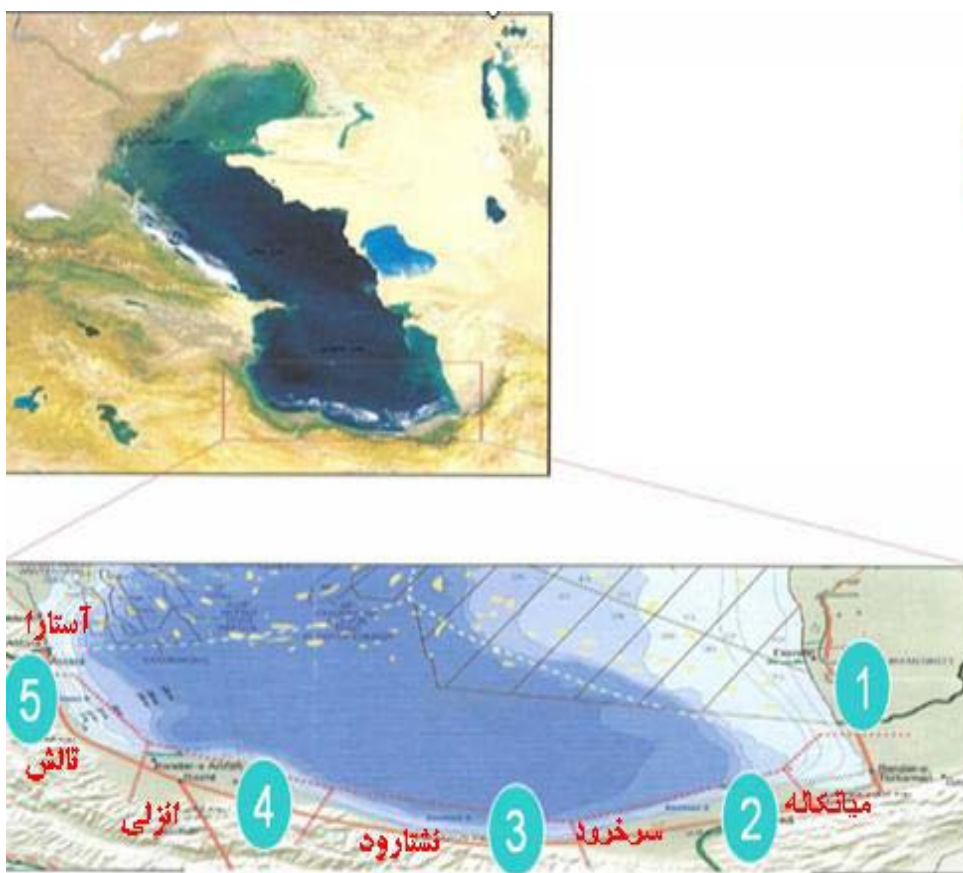
بخش غربی با تقاطع امتداد رشته کوه‌های قفقاز بزرگ و کوچک (جمهوری آذربایجان) و در ناحیه شرقی با جلگه پست بیابانی ترکمنستان قرابت دارد (شکل ۱). این حوضه آبی بسته پهناور، به لحاظ صفات ناهمواری و توپوگرافی بستر به سه بخش کم عمق شمالی، ناحیه گودال میانی و گودال جنوبی با ژرفای بیش از ۱۰۲۰ متر تقسیم می‌شود. بخش جنوبی دریای خزر که محل این پژوهش است در راستای عمود بر ساحل شامل: ارتفاعات شمالی البرز، بخش دامنه‌ای و تپه‌ماهورهای حاشیه‌ای، جلگه آبرفتی و نوار ماسه‌ای کرانه ساحلی و اعماق بستر دریا است (خوشروان، ۱۳۷۹). این منطقه در راستای طولی از منتهی الیه جنوب غرب تا جنوب شرقی به پنج ناحیه ریخت‌شناسی در محدوده مابین آستارا تا گمیشان محدود می‌شود (شکل ۱).

تنشی فرساینده دریا ایفا کند و مراکز تحقیقات راهبردی و مجامع تصمیم‌گیری برای اعمال روش‌های مدیریتی بهینه در امر کنترل بحران حاصل از نیروهای هیدرودینامیکی و مقابله با پیامدهای حاصل از آنها می‌توانند از نتایج این پژوهش استفاده بهینه کنند. بنابراین شناسایی و طبقه‌بندی کردن ساختارهای حاصل از فرایندهای ساحلی (عوارض مورفودینامیک رسوبی) و کنترل تغییرات ساختارهندسی سواحل جنوبی دریای خزر، هدف اصلی این تحقیق محسوب می‌شود.

## ۲ مواد و روش کار

### ۱-۲ منطقه مورد بررسی

دریای خزر واقع در منطقه شمالی فلات ایران (حاشیه ارتفاعات شمالی البرز) و بخش جنوبی صفحه روسیه، در



شکل ۱. پهنه‌های ریخت‌شناختی و محورهای اندازه‌گیری در منطقه مورد بررسی.

در حال حاضر بسیاری از کشورهای توسعه یافته دنیا به خصوص استرالیا و امریکا از شواهد مورفودینامیک رسوبی و ساختار هندسی سواحل برای ناحیه بندی هیدرو دینامیکی سواحل استفاده کرده اند (معتمد و امین سبحانی، ۱۳۴۹). در حقیقت در این روش می توان با بهره گیری از آثار به جای مانده از نیروهای محیطی، پی به ماهیت فیزیکی و نحوه عملکرد آنها برد. زیرا عوارض مورفودینامیکی حاصل کنش امواج و جریان های ساحلی و عکس العمل سواحل در مقابل این نیروها است. بنابراین مناطق ساحلی که دارای ساختار هندسی ضعیف و رسوبات کم مقاوم تر هستند، در مقابل نیروهای فرساینده آسیب پذیری بیشتری دارند و عوارض مورفودینامیکی حاصل در این مناطق گویای شرایط طبیعی ناپایدار آن است. نتایج حاصل از اعمال این روش در مناطق ساحلی، گواه خوبی برای یافتن اطلاعات مورد نیاز اولیه برای انتخاب ایستگاه های اندازه گیری و تعیین شبکه های پایش پارامترهای اقیانوس شناسی است. بنابراین در این تحقیق نیز با استفاده از شواهد مورفودینامیک رسوبی، سواحل جنوبی دریای خزر را مورد ناحیه بندی هیدرو دینامیکی قرار می دهیم.

## ۲-۳ انتخاب ایستگاه های اندازه گیری

معیار انتخاب ایستگاه های اندازه گیری براساس ماهیت ساختار هندسی مناطق ساحلی و رسوبات آنها در پهنه های پنج گانه ریخت شناسی (گلستان، مازندران مرکزی، غرب مازندران، گیلان مرکزی و غرب گیلان) بوده است. هریک از پهنه های مزبور به لحاظ وضعیت رسوبات ساحلی و شیب در ناحیه خشک ساحلی و کم ژرفای دریایی ویژگی های متفاوتی دارند (خوشروان، ۱۳۷۹). در حقیقت با انتخاب شش محور اندازه گیری دم ایستگاه های معرف در مناطق میانکاله (گلستان)، سرخورد (مازندران مرکزی)، نشتارود (غرب مازندران)، انزلی (گیلان مرکزی) و تالش

این منطقه به لحاظ اقلیمی دارای آب و هوای معتدل مدیترانه ای و خزری است و در طول سال با بادهای غالب با جهت شمالی، جنوبی و شمال غربی، جنوب شرقی و شمال شرقی، جنوب غربی تحت تاثیر قرار می گیرد (آل احمد، ۱۳۷۵). بنابراین رژیم غالب امواج ناشی از بادهای ساحلی با توجه به فراوانی بادهای بیشتر از جهت غرب به شرق و شمال غربی، جنوب شرقی و شمال شرقی، جنوب غربی برخوردار است و جریان های ساحلی ناشی از امواج مزبور نیز در این راستا ساحل را تحت تاثیر خود قرار می دهند (آل احمد، ۱۳۷۵). رودخانه های منتهی به سواحل جنوبی دریای خزر علی رغم تعداد زیاد و فراوانی، به لحاظ تامین آب دریای خزر و کنترل معادلات بیلان صرفاً ۵ درصد حجم آب این دریا را پوشش می دهند اما از نظر پتانسیل تامین رسوبات ساحلی دارای ارزش خوبی هستند (خوشروان، ۱۳۸۰). برای مثال میزان آوردهای رسوبی رودخانه های سفیدرود، گرگان رود نقش بسیار مهمی در توسعه دلتاهای شکل گرفته در سواحل مشرف به مصب آنها داشته است (خوشروان، ۱۳۸۰). نوسان های سریع آب دریای خزر تحت تاثیر عوامل اقلیمی و خروجی رودخانه های مهم آن کنترل می شود که سهم رودخانه ولگا در تغییرات آن بیشتر از سایر رودخانه های دیگر است (خوشروان، ۱۳۸۰). البته فعالیت های انتروپوژنیک و دخالت های انسانی شرایط گسترش آشفستگی های محیطی را در مناطق ساحلی که با ساخت و سازهای بندری، برداشت مصالح ماسه ای و ساخت کاربری های دیگر همراه است، افزایش داده و گاه موجب توسعه پیشروی آب دریای خزر به اراضی ساحلی حاشیه ای شده است. این حالت امروزه در محدوده بندر امیرآباد و سواحل مشرف به شهرهای ساحلی نور تا رامسر به خوبی مشاهده می شود (خوشروان، ۱۳۸۸).

## ۲-۲ منطق و روش تحقیق

جورشدگی شامل: کج‌شدگی (اسکینوس)، تیزشدگی (کورتیسس)، (انحراف معیار) نمونه‌های برداشت شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از آن با مقایسه خصوصیات بافتی رسوبات مورد بررسی در هر ایستگاه در نقاط عمقی مورد نمونه‌برداری و مقایسه کردن پارامترهای رسوبی هر عمق بستر از یک ایستگاه با اعماق مشابه خود در سایر ایستگاه‌های اندازه‌گیری دیگر وضعیت تغییرات توزیع ذرات رسوبی در سواحل جنوبی دریای خزر ارزیابی شد. براساس دینامیک ذرات رسوبی وضعیت تغییر رژیم جریان و سطح انرژی حوضه به‌صورت کیفی کنترل شد. مقایسه پارامترهای رسوبی مانند میانگین و میان و ارزیابی میزان انحراف معیار توزیع ذرات رسوبی موید نیروهای موثر در حمل و رسوب‌گذاری رسوبات است. به‌طوری‌که ذرات درشت‌دانه‌تر و با جورشدگی مناسب‌تر با جریان‌های قوی‌تر و پایدارتری حمل می‌شوند و در زمان آرامش حوضه نهشت می‌یابند. بنابراین اصل دینامیکی در فرایند نقل و انتقال مواد رسوبی می‌توان شرایط حوضه رسوبی را براساس نیروهای موثر ارزیابی کرد و با استفاده از ضرایب جورشدگی، مدت حضور جریان، تیزشدگی قدرت نیروهای تنشی حاصل از جریان‌های زیر بستر و از پارامتر کج‌شدگی، جهت حرکت مواد رسوبی را ردیابی کرد.

#### ۲-۶ پردازش داده‌ها و استحصال نتایج کلی تحقیق

آماده‌سازی، انتقال، ذخیره و طبقه‌بندی همه اطلاعات حاصل از برداشت‌های میدانی و فعالیت‌های آزمایشگاهی به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS با مشخصات دقیق مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های اندازه‌گیری و نقاط نمونه‌برداری در دستگاه متری UTM و ایجاد پل ارتباطی بین سامانه مزبور با نرم‌افزار اکسل (Excel) برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده اقدام دیگری است که در این مرحله انجام پذیرفت. پس از استخراج نتایج

و آستارا (غرب گیلان)، (شکل ۱) عوارض مورفودینامیک رسوبی و ساختار هندسی سواحل در بخش خشک و کم‌ژرفای دریایی آنها مورد پایش قرار گرفت.

#### ۲-۴ پایش و عملیات بسترشناسی

عملیات نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ساحلی در منطقه مورد بررسی در اسفندماه ۱۳۸۷ صورت گرفت. در این مرحله با استفاده از ادوات نقشه‌برداری (کمپاس، نیوو، تئودولیت) وضعیت امتداد و شیب خط ساحل و خصوصیات هندسی سایر بخش‌های ساحلی (ناحیه خاکریز، صورت ساحل، تپه‌های ماسه‌ای، بارهای رسوبی در ناحیه کم‌ژرفای دریایی و مانند آن) مورد پایش و کنترل ابزاری قرار گرفت (جدول ۱). سپس به موازات آن با کمک شناور تحقیقاتی وضعیت توپوگرافی بستر در شش محور تحقیقاتی یاد شده تا ژرفای ده متری دریا بررسی شد (شکل ۱). همچنین از رسوبات بخش خشک و کم‌ژرفای دریایی در اعماق (۱، ۲.۵، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر) با بهره‌مندی از تجهیزات غواصی نمونه‌برداری به‌صورت دست‌نخورده صورت گرفت. از ساختارهای رسوبی موجود در بستر دریا با کمک دستگاه‌های فیلم‌برداری زیر آب تصویربرداری شد و امتداد و جهت ساختارهای رسوبی با استفاده از قطب‌نما و جهت‌یاب‌های پیشرفته اندازه‌گیری شد. درنهایت وضعیت کیفی هر یک از ساختارهای رسوبی موجود در بستر مورد بررسی مستقیم قرار گرفت.

#### ۲-۵ عملیات آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل داده‌های

##### رسوب‌شناختی

در آزمایشگاه پس از آماده‌سازی نمونه‌های رسوبی برداشت شده با اجرای آزمایش دانه‌بندی به روش خشک، پارامترهای رسوبی (قطر متوسط دانه‌های رسوبی، پنجاه درصد وزنی قطر ذرات رسوبی یا  $d_{50}$ ، ضرایب

به صورت نمودارها و جدول‌های توصیفی حاصل از پردازش سامانه اطلاعات جغرافیایی و با تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی آنها، وضعیت مورفودینامیک رسوبی ساختار هندسی سواحل در منطقه مورد بررسی ارزیابی شد.

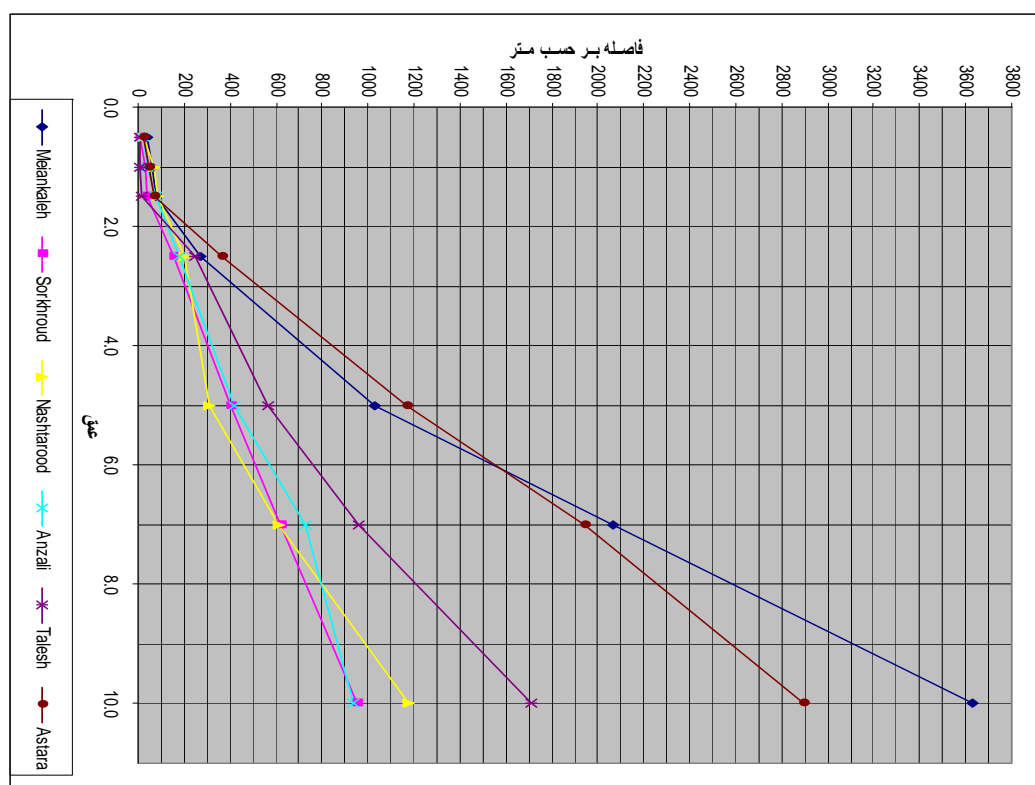
### ۳ نتایج

۳-۱ ساختار هندسی سواحل جنوبی دریای خزر  
 نتایج حاصل از اجرای عملیات اندازه‌گیری میدانی سواحل مورد بررسی گویای تغییرات خصوصیات ساختار هندسی ناحیه خشک ساحلی و بخش کم‌ژرفای دریایی در ناحیه بستر دریا در محدوده‌های عمقی متفاوت است. به طوری که در ناحیه خشک ساحلی بیشترین شیب خط ساحل در ناحیه ساحلی تالش و سرخورد و کمترین آن در مناطق آستارا و میانکاله برداشت شد (جدول ۱). پهنای ناحیه خاکریز ساحلی در محور میانکاله واجد بیشترین میزان بوده و منطقه ساحلی نشتارود فاقد خاکریز مشخص است و کمترین عرض خاکریز ساحلی در منطقه تالش و

آستارا تعیین شده است (جدول ۱). نیم‌رخ‌های هیدروگرافی برداشت شده از بستر ناحیه کم‌ژرفای دریایی نیز حاکی از شیب بسیار تند ساحل در ناحیه سرخورد، نشتارود و انزلی است و کم‌شیب‌ترین بستر دریا در سواحل میانکاله و آستارا مشخص شده است (شکل ۱). همچنین مشخص شد که سکوه‌های پُرشیب ساحلی در محدوده‌های عمقی گوناگونی در ایستگاه‌های مورد اندازه‌گیری مشاهده میشوند. به طوری که در ساحل میانکاله و آستارا این عارضه ساختاری در عمق بین ۱ تا ۲/۵ متری قرار دارد و در ساحل سرخورد، نشتارود و انزلی بین اعماق ۲/۵ تا ۵ متری و در تالش بین خط ساحل تا ژرفای ۲/۵ متری مشاهده می‌شود (شکل ۲). به لحاظ حضور تپه‌های زیر آبی یا بارهای رسوبی در بخش کم‌ژرفای دریایی در ساحل میانکاله، سرخورد، نشتارود، صرفاً یک پشته دریایی در ژرفای نیم متری مشاهده می‌شود (جدول ۱). اما در سواحل انزلی و تالش، تعداد دو پشته ماسه‌ای در اعماق نیم و دو متری حضور دارد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات هندسی ساختار هندسی بخش خشک ساحلی در بخش جنوبی دریای خزر.

نام ایستگاه	شیب خط ساحل (درجه)	طول خاکریز (m)	طول صورت ساحل (m)	وضعیت تپه‌های ماسه‌ای	وضعیت پشته‌های ماسه‌ای
میانکاله	۵	۱۰۰	۱۵	توسعه‌یافته	یک پشته در عمق ۰/۵ متر
سرخورد	۱۰	۶۰	۸	فاقد تپه مشخص و فرسایش انسانی	یک پشته در عمق ۰/۵ متر
نشتارود	۷	۱۰	۸	بدون تپه ماسه‌ای	یک پشته در عمق ۰/۵ متر
انزلی	۵	۲۰	۷	فاقد تپه مشخص و فرسایش انسانی	یک پشته در عمق ۰/۵ متر و پشته دیگر در عمق ۲ متر
تالش	۹	۲۰	۷	بدون تپه ماسه‌ای	یک پشته در عمق ۰/۵ متر و پشته دیگر در عمق ۲ متر
آستارا	۷	۲۰	۷	بدون تپه ماسه‌ای	یک پشته در عمق ۰/۵ متر



شکل ۲. وضعیت توپوگرافی بستر در محورهای اندازه‌گیری.

### ۲-۳ ارزیابی ساختارهای رسوبی بستر دریای خزر

مهم‌ترین ساختارهای رسوبی مشاهده شده در بستر دریا از اعماق بسیار کم تا ژرفای بیش از بیست متر در ایستگاه‌های مورد اندازه‌گیری شامل انواع ریپل مارک‌ها و سوراخ‌های حفاری شده با عوامل زیستی است. ساختار رسوبی ریپل مارک (Ripple mark) در مناطق گوناگون سواحل جنوبی به شکل‌های متفاوت و به اندازه‌های گوناگون مشاهده می‌شوند. آن‌ها معمولاً به اندازه‌های کوچک و بزرگ، متقارن و نامتقارن، پیوسته و ناپیوسته یافت می‌شوند (شکل ۳). در منطقه میانکاله محدوده آغاز ریپل مارک‌ها از ناحیه خط ساحل تا ژرفای ۵ متر بوده است. این ساختار رسوبی تا عمق ۱ متر به صورت موجک‌های کوچک و پس از آن به سوی اعماق بالاتر، به تدریج فاصله طول موج‌ها و دامنه آنها افزایش می‌یابد. امتداد این ریپل‌ها دارای راستای شمالی، جنوبی و یا

شمال غربی، جنوب شرقی است (جدول ۲). این ساختار رسوبی در ایستگاه سرخورد، نشتارود و انزلی تا اعماق بالاتر از ۱۵ متر ادامه می‌یابد و به تدریج در عمق ۲۰ متر محو می‌شود (جدول ۲). اما در ناحیه ساحلی تالش گسترش عمقی این عوارض تا ژرفای ۷ متر است. سوراخ‌های زیستی (Bioturbation) از دیگر ساختارهای نقش‌بسته روی رسوبات بستر دریای خزر هستند. نتایج حاصل از ارزیابی بستر مناطق ساحلی مورد بررسی از نظر توسعه عوارض مزبور، معرف گسترش و فراوانی آن‌ها در ناحیه ساحلی میانکاله و تالش از ژرفای ۵ متر به بالا است. این عوارض به شکل محدودتر در مناطق سرخورد، نشتارود و انزلی در ژرفای بیش از ۱۵ متر مشاهده می‌شوند و در اعماق بین ۲۰ تا ۳۰ متر به حداکثر فراوانی می‌رسند (شکل ۴).

جدول ۲. وضعیت مورفودینامیکی ساختارهای رسوبی بستر سواحل جنوبی دریای خزر.

نام ایستگاه	ریپل مارک‌های موجی (مقارن) متر	ریپل‌های جریان (نامقارن) متر	مگا ریپل‌ها (عمق) متر	محدوده حضور سوراخ‌های زیستی
میانکاله	۱-۰	۵-۱	ندارد	بیش از ۷ متر
سرخرود	ندارد	۱۰-۱	۱۵	بیش از ۲۰ متر
نشتارود	ندارد	۱۰-۱	۱۵	بیش از ۲۰ متر
انزلی	ندارد	۱۰-۱	۲۰-۱۵	بیش از ۳۰ متر
تالش	۵-۳	۱۰-۷	ندارد	بیش از ۱۰ متر
آستارا	ندارد	۵-۱	ندارد	بیش از ۷ متر

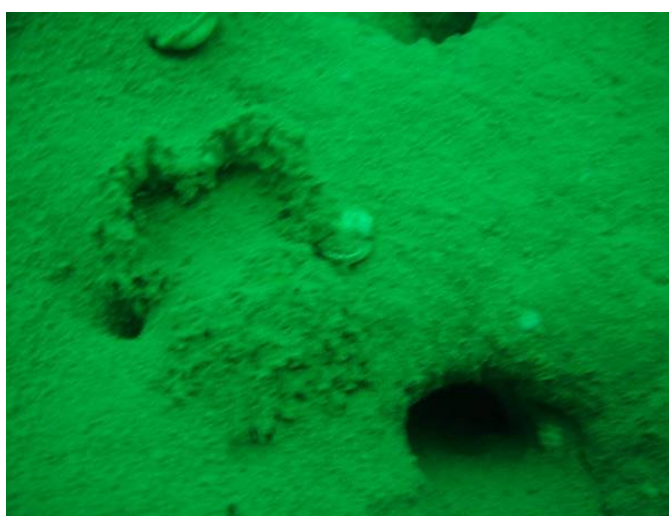


ب- ریپل‌های مقارن و پیوسته



الف- ریپل‌های نامقارن و ناپیوسته

شکل ۳. سیمای مورفودینامیکی ریپل مارک‌های بستر سواحل جنوبی دریای خزر.



شکل ۴. سوراخ‌های زیستی روی بستر دریای خزر در ژرفای ۲۵ متری ناحیه ساحلی نشتارود.



۳-۳ عوارض مورفو دینامیکی بخش خشک ساحلی مهم‌ترین عوارض مورفودینامیکی مورد شناسایی در منطقه مورد بررسی در پیرامون شش محور اندازه‌گیری ساحلی شامل: تراس‌های فرسایشی (Erosion terraces)، خلیج‌های فرسایشی (Erosion bay)، تاجک‌های ماسه‌ای (Beach cusps)، موجک‌های ماسه‌ای (Ripple marks) و بارهای رسوبی (Sediment bars) است (اشکال ۵ تا ۸). نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی روی این عوارض در جدول زیر آورده شده است (جدول ۳).

۳-۳ عوارض مورفو دینامیکی بخش خشک ساحلی مهم‌ترین عوارض مورفودینامیکی مورد شناسایی در منطقه مورد بررسی در پیرامون شش محور اندازه‌گیری ساحلی شامل: تراس‌های فرسایشی (Erosion terraces)، خلیج‌های فرسایشی (Erosion bay)، تاجک‌های ماسه‌ای (Beach cusps)، موجک‌های ماسه‌ای (Ripple marks) و بارهای رسوبی (Sediment bars) است (اشکال ۵ تا ۸). نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی روی این عوارض در جدول زیر آورده شده است (جدول ۳).

جدول ۳. وضعیت عوارض مورفودینامیکی در ناحیه بخش خشک ساحل.

نام ایستگاه	تاجک‌های ماسه‌ای	موجک‌های ماسه‌ای	تراس‌های فرسایشی	خلیج‌های فرسایشی	زبان‌های ماسه‌ای
میانکاله	سینوسی شکل منظم	جریانی غیر متقارن	کوتاه و توسعه‌نیافته (۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر)	ندارد	توسعه‌یافته
سرخرود	هلالی شکل با دامنه گسترده	ندارد	متوسط (۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر)	ندارد	ندارد
نشتارود	هلالی شکل با دامنه گسترده	ندارد	بزرگ و توسعه‌یافته (۱۵۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر)	توسعه‌یافته	ندارد
انزلی	بیضی گونه کشیده	ندارد	متوسط (۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر)	ندارد	ندارد
تالش	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
آستارا	سینوسی شکل منظم	موجی متقارن	کوتاه و توسعه‌نیافته (۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر)	ندارد	ندارد



میانکاله



بندر انزلی



نشتارود

شکل ۵. انواع تراس‌های فرسایشی در منطقه مورد بررسی.



خلیج فرسایشی در ساحل رامسر



زبان ماسه‌ای در ساحل میانکاله

شکل ۶. معرفی ساختارهای خلیج فرسایشی و زبان ماسه‌ای در منطقه مورد بررسی.



میانکاله (سینوسی شکل)



رامسر (هلالی شکل کشیده)

شکل ۷. انواع تاجک‌های ماسه‌ای در منطقه مورد بررسی.



ریپل‌های جریانی در محل کانال‌های حاشیه‌ای



ریپل‌های موجی در ناحیه صورت ساحل

شکل ۸. انواع موجک‌های ماسه‌ای در منطقه مورد بررسی.

که با افزایش عمق تا ژرفای ۱۰ متر به تدریج به ماسه‌های ریز دانه حاوی ذرات سیلتی تغییر رخساره می‌دهد. رسوبات بسیار ریزدانه سیلت رُسی در این منطقه از ژرفای بیش از ۲۰ متر نمایان می‌شوند. شرایط جورشدگی دانه‌های رسوبی در ژرفای بین ۲/۵ تا ۷ متر از شرایط بسیار خوبی برخوردار است. در ایستگاه ساحلی نشترود میزان آوردهای رسوبی درشت‌دانه از نوع ذرات شن و ریگ و گاهاً قلوه‌سنگ‌های کوچک حاصل از ورودی رودخانه در منطقه ساحلی روی رسوبات ناحیه خط ساحلی با ترکیب ماسه درشت تا متوسط‌دانه قابل توجه است. اما با افزایش عمق تا ژرفای ۱ متری درصد مواد درشت‌دانه کاهش می‌یابد و از قطر رسوبات ماسه‌ای تا اعماق بالای ۱۰ متر با پیوستگی رسوبی کاسته می‌شود. بهترین جورشدگی ذرات در ژرفای بین ۱ تا ۲/۵ متر و گاهی ۲/۵

### ۳-۴ تجزیه و تحلیل پارامترهای رسوبی در سواحل

#### جنوبی دریای خزر

نتایج حاصل از بررسی دانه‌بندی و توزیع ذرات رسوبی در ایستگاه میانکاله نشان می‌دهد که مواد رسوبی ماسه‌ای ریزدانه حاوی آوردهای رسوبی درشت‌دانه به صورت ناهمگن در خط ساحل نهشت یافته است. این حالت با کاهش قطر ذرات رسوبی و افزایش درصد مواد ریزدانه و افزایش میزان جورشدگی ذرات رسوبی تا ژرفای ۵ متر تداوم می‌یابد. درصد مواد رُسی در اعماق بیش از ۱۰ متر ناگهان رو به افزایش می‌گذارد و بدون حالت پیوستگی در آهنگ تغییر دانه‌بندی رسوبات و به‌طور ناگهانی رسوبات ریزدانه در ژرفای بالا نمایان می‌شود. در ایستگاه ساحلی سرخروود ترکیب مواد رسوبی در ناحیه ساحل از نوع ماسه‌های متوسط‌دانه حاوی ذرات پراکنده شن است

نیروهای طبیعی است که در حمل و نقل و رسوب گذاری آنها با قدرت متفاوت عمل کرده‌اند. ساختار هندسی مناطق ساحلی نیز از دیگر معیارهای مهم برای ناحیه‌بندی سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود. بنابراین با ساخت کامل از هریک از معیارهای یاد شده در منطقه مورد بررسی و انطباق نتایج داده‌های به‌دست آمده روی یکدیگر، می‌توان سواحل جنوبی دریای خزر را براساس شواهد مورفودینامیک رسوبی ناحیه‌بندی کرد. در زیر به جمع‌بندی و تعبیر و تفسیر نتایج پیش گفته می‌پردازیم.

#### ۴-۱ ساختار هندسی ساحل

براساس مقایسه نتایج حاصل از عملیات پایش و اندازه‌گیری خصوصیات هندسی ساختار فیزیکی سواحل در طول شش محور اندازه‌گیری، مشخص شد که منطقه مورد بررسی دارای تنوع ساختارهندسی ویژه‌ای است؛ به‌طوری‌که سواحل با شیب بسیار ملایم در بخش خشک ساحل و کم‌ژرفای دریایی در ناحیه جنوب شرقی در حد فاصل بین شهرهای گمی‌شان تا بندر ترکمن و ادامه آن تا بخش غربی سواحل میانکاله و همچنین در انتهایی‌ترین بخش پهنه غرب گیلان در ناحیه ساحلی آستارا حضور دارد. نوع ساحل‌های پُرشیب بیشتر در ناحیه ریخت‌شناختی غرب مازندران در نواحی مابین شهرهای ساحلی نور تا رامسر واقع است. سواحل با شیب ملایم در بخش خشک ساحل و شیب نسبتاً تند در بخش کم‌ژرفای دریایی در محدوده پهنه‌های ریخت‌شناختی مازندران مرکزی و گیلان مرکزی قرار دارند و بالاخره سواحل با شیب بسیار تند در بخش خشک ساحلی و شیب بسیار ملایم در بخش کم‌ژرفای دریایی در ناحیه مرکزی پهنه ریخت‌شناسی غرب گیلان یعنی در محدوده سواحل رضوانشهر تا تالش قرار گرفته است. به لحاظ پایداری ساختار هندسی بخش خشک ساحل، ناحیه میانکاله با خاکریز بسیار پهن، نسبت به عملکرد نیروهای فرساینده،

تا ۵ متر تعیین شده است. معمولاً رسوبات بسیار ریزدانه رُسی در ژرفای بالای ۳۰ متر در این منطقه مشاهده می‌شوند. در ایستگاه انزلی وضعیت مانند منطقه سرخورد با حضور ترکیب مواد ماسه‌ای ریز تا متوسط‌دانه در ناحیه خط ساحل است. با افزایش عمق تا ژرفای بالای ۱۵ متر ترکیب ماسه‌ای رسوبات تداوم می‌یابد و از آن به بعد تا ژرفای بیش از ۲۰ متر حالت تناوب و پیوستگی در تغییر دانه‌بندی رسوبات ماسه‌ای تا سیلت ماسه‌ای عمومیت می‌یابد. رسوبات بسیار ریزدانه رُسی از ژرفای بالای ۳۰ متر در این منطقه ظاهر می‌شوند. در ایستگاه تالش شرایط رسوبی در بخش کم‌ژرفای دریایی از اعماق بالای ۲/۵ متر کاملاً مشابه منطقه میان‌کاله است. اما در ناحیه خط ساحل تا ژرفای ۲/۵ متر ترکیب دانه‌بندی مواد رسوبی آشفستگی خاصی دارد، به‌طوری‌که رسوبات درشت‌دانه قلوه‌سنگی بزرگ در کنار ذرات شن و ماسه مخلوط شده است. در ایستگاه آستارا وضعیت دانه‌بندی رسوبات در ناحیه خط ساحل تا ژرفای ۲/۵ متر با ترکیب مواد ماسه‌ای ریزدانه حاوی ذرات رُسی است که از آن به بعد تا ژرفای بالای ۱۰ متر ذرات ماسه‌ای ریزدانه به‌طور ناگهانی به مواد رُسی تغییر رخساره می‌دهند.

#### ۴ بحث

برای تحقق هدف اصلی پژوهش که ناحیه‌بندی سواحل جنوبی دریای خزر است باید از شواهدی استفاده کنیم که تغییرات آنها در منطقه مورد بررسی معرف خوبی برای طبقه‌بندی مناطق ساحلی بخش جنوبی دریای خزر باشد. مهم‌ترین شواهد و عوامل برای آشنایی با رفتار و کنش نیروهای محیطی دریای خزر و نحوه عکس‌العمل رفتاری مناطق ساحلی در مقابل آنها، عوارض مورفودینامیکی هستند که روی رسوبات مناطق ساحلی نقش بسته‌اند. همچنین بررسی تغییر شکل صفات بافتی رسوبات در نواحی گوناگون منطقه مورد بررسی گویای ماهیت طبیعی

ساحل برآمده محدب پُرشیب و خاکریز پوشیده از گیاهان جنگلی و فاقد تپه‌های ماسه‌ای مشخص واقع در پهنه ریخت‌شناسی غرب گیلان (ایستگاه تالش).

#### ۴-۲ ساختارهای رسوبی بستر دریا

تحقیقات قبلی نشان داده است که تغییر ساختار فیزیکی ریپل‌های ماسه‌ای از حالت متقارن و پیوسته به نامتقارن و منقطع بستگی تام به رژیم هیدرولیکی جریان‌های زیر بستر دریا دارد (پتیک، ۱۹۸۴ و شورت، ۱۹۹۹). به طوری که انواع بزرگ آنها (مگا ریپل‌ها) تحت تاثیر آستانه جریان بزرگ‌تری در سطوح ماسه‌ای به وجود می‌آیند و حالت‌های متقارن و پیوسته آنها تحت تاثیر امواج مرده و کم‌انرژی (Swell Wave) ایجاد می‌شود (پتیک، ۱۹۸۴). مشاهدات غواصی بستر دریا نشان می‌دهد که ریپل‌های متقارن و پیوسته در سواحل کم‌انرژی میانکاله و آستارا در ژرفای بین ۱ تا ۲/۵ متر حضور دارد. اما در سواحل پُرانرژی دیگر مانند نشتارود و انزلی و سرخورد، ریپل‌های ناپیوسته و نامتقارن در محدوده عمقی بین ۲ تا ۱۵ متر عمومیت می‌یابد. این مسئله موید تفاوت رژیم انرژی حوضه و سرعت آستانه جریان در مناطق یاد شده است. مقایسه جانمایی عمقی سوراخ‌های زیستی روی بستر دریا برای تعیین منطقه آرامش و کم‌انرژی، بسیار کار آمد است (پتیک، ۱۹۸۴). زیرا موجودات دریایی حفار که از نوع نرم‌تنان دوکفه‌ای و شکم‌پا هستند، صرفاً علاقه به زندگی در مناطق آرام و کم‌انرژی دارند که این نواحی باید از محدوده شکست امواج و جریان‌های تند زیرآبی فاصله داشته باشد. بنابراین مشاهده این عوارض در بستر دریا موید آغاز محدوده عمقی ناحیه دور از ساحل (offshore) است (پتیک، ۱۹۸۴). ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که سوراخ‌های زیستی در اعماق متفاوت در منطقه مورد بررسی ظاهر می‌شوند؛ به طوری که در ساحل لاریم و تالش آنها در ژرفای بیش از ۷ متر نمایان می‌شوند. اما

درحکم پایدارترین مناطق ساحلی خزر جنوبی است و ساحل منطقه نشتارود و تالش در بخش خشک ساحلی به‌منزله ناپایدارترین مناطق ساحلی با خاکریز بسیار محدود تعیین می‌شوند. تپه‌های ماسه‌ای درحکم سپرهای طبیعی محافظ مناطق پشت ساحلی صرفاً در منطقه میانکاله به‌صورت سالم و دست نخورده حضور دارند و در سایر مناطق به‌علت دخالت‌های انسانی و یا عوامل طبیعی از بین رفته‌اند. بنابراین شرایط حال حاضر سواحل جنوبی دریای خزر به‌لحاظ ناپایداری ساختاری به‌گونه‌ای است که سواحل بخش غرب مازندران (نور تا رامسر) نسبت به عملکرد نیروهای فرساینده حاصل از امواج، بسیار آسیب‌پذیرند و در مقابل، سواحل مشرف به منطقه میانکاله پایداری بسیار زیادی دارند و سایر مناطق مانند: سرخورد، انزلی، تالش و آستارا در حالت حدواسط قرار می‌گیرند. پس در یک جمع‌بندی کلی، سواحل جنوبی دریای خزر به‌لحاظ خصوصیت ساختار هندسی به شرح زیر طبقه بندی می‌شوند.

- ناحیه ساحلی با شیب تند در بخش خشک ساحل و کم‌ژرفای دریایی، فاقد خاکریز مشخص و با صفات فرسایشی، واقع در پهنه غرب مازندران در محدوده بین نوشهر تا رامسر (ایستگاه نشتارود).

- ناحیه ساحلی با شیب بسیار ملایم در بخش خشک و کم‌ژرفای ساحلی، خاکریز نسبتاً توسعه یافته و با رسوب‌گذاری فعال، واقع در شرق پهنه ریخت‌شناسی مازندران مرکزی (ایستگاه میانکاله).

- ناحیه ساحل با شیب نسبتاً ملایم در بخش خشک ساحل و شیب تند در ناحیه کم‌ژرفای دریایی دارای خاکریز مشخص ولی با پهنای کم، واقع در بخش مرکزی پهنه ریخت‌شناسی مازندران مرکزی و گیلان مرکزی (ایستگاه سرخورد و انزلی).

- ناحیه ساحل با شیب تند در بخش خشک ساحل و شیب بسیار ملایم در ناحیه کم‌ژرفای دریایی با ناحیه صورت

متفاوت نیروهای هیدرودینامیکی در سواحل جنوبی دریای خزر است. به گونه‌ای که عوارض مورفودینامیک فرسایشی نظیر: خلیج‌ها و تراس‌های فرسایشی و تاجک‌های ماسه‌ای هلالی‌شکل با دامنه بلند، صرفاً در مناطق ساحلی پویا و با سطح انرژی زیاد مانند: نواحی ساحلی مابین نور تا رامسر (ایستگاه نشتارود) به‌خوبی توسعه‌یافته است و عوارض مورفودینامیک حاصل از فرایندهای رسوب‌گذاری مانند: بارهای زبانه‌ای‌شکل ماسه‌ای و ریپل مارک‌های جریان‌ی و موجی‌شکل در سواحل پایدار منطقه میانکاله گسترش دارند. بنابراین، سواحل جنوبی دریای خزر براساس بزرگای نیروهای موثر بر شکل‌گیری عوارض مورفودینامیکی به انواعی به شرح زیر تقسیم می‌شود.

- ساحل با عوارض مورفودینامیکی حاصل از فرایند رسوب‌گذاری شامل بارهای رسوبی در ناحیه کم‌ژرفای دریایی و نزدیک به خط ساحل حاوی ریپل مارک‌های موجی و جریان‌ی در ناحیه صورت ساحل و تاجک‌های ماسه‌ای بسیار کوچک و سینوسی‌شکل (ایستگاه میانکاله).

- ساحل با عوارض مورفودینامیک حاصل از مجموع فرایندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری، واجد تاجک‌های ماسه‌ای کروی‌شکل نامنظم با دامنه متوسط، تراس‌های فرسایشی با ارتفاع متوسط (۵۰ سانتی‌متر) است (ایستگاه سرخورد و تالش).

- ساحل با عوارض مورفودینامیک فرسایشی بزرگ، دارای تاجک‌های ماسه‌ای بسیار بزرگ هلالی‌شکل و تراس‌های فرسایشی توسعه‌یافته (حداکثر ۱۸۰ سانتی‌متر) و با شکل‌گیری خلیج‌های فرسایشی در ناحیه خط ساحل (ایستگاه نشتارود).

در ساحل سرخورد گسترش آنها از ژرفای بیش از ۲۰ متر شروع می‌شود و در نشتارود و انزلی در اعماق بالای ۳۰ متر توسعه می‌یابد (جدول ۲). بنابراین محدوده کم‌انرژی حوضه رسوبی سواحل جنوبی دریای خزر و یا به عبارت دیگر ناحیه دور از ساحل در محدوده‌های عمقی گوناگون قرار دارد. به طوری که در سواحل پُرانرژی و فعالی چون نشتارود و انزلی این ناحیه در ژرفای بسیار زیاد قرار می‌گیرد. اما در سواحل کم‌انرژی و غیر فعال مانند آستارا و میانکاله در محدوده عمقی خیلی کم توسعه می‌یابد. بنابراین منطقه مورد بررسی براساس آنالیز ساختارهای رسوبی مستقر روی بستر دریا در سه گروه عمده به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود.

- ساحل با حضور ریپل مارک‌های موجی‌شکل متقارن و پیوسته در عمق ۱ تا ۵ متر و وفور سوراخ‌های زیستی در ژرفای کمتر از ۷ متر در بستر دریا، با افزایش عمق حوضه تغییر دانه‌بندی رسوبات سریع و ناگهانی صورت می‌گیرد (ایستگاه میانکاله و آستارا و تالش).

- ساحل با حضور ریپل مارک‌های جریان‌ی ناپیوسته و نامتقارن در محدوده عمقی بین ۱ تا ۱۰ متر و توسعه سوراخ‌های زیستی در ژرفای بیشتر از ۱۰ متر با و با افزایش عمق حوضه تغییر دانه‌بندی رسوبات به صورت تدریجی صورت می‌پذیرد (ایستگاه سرخورد).

- ساحل با ریپل مارک‌های جریان‌ی نامتقارن و ناپیوسته در ژرفای بین ۲ تا ۱۵ متر و ریپل‌های بزرگ در عمق بیش از ۱۵ متر و حضور سوراخ‌های زیستی در ژرفای بیش از ۲۰ متر و با افزایش عمق حوضه تغییر دانه‌بندی رسوبات به صورت تدریجی و متناوب صورت می‌گیرد (ایستگاه نشتارود و انزلی).

#### ۴-۴ مقایسه شرایط دینامیک رسوبات ساحلی

بررسی ماهیت طبیعی رسوبات ساحلی ونحوه توزیع ذرات رسوبی در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که سواحل

#### ۴-۳ عوارض مورفودینامیک ناحیه خشک ساحلی

ارزیابی عوارض مورفودینامیکی موجود در ناحیه خشک ساحلی در محورهای اندازه‌گیری نیز نمایانگر عملکرد

مواد درشت‌دانه ماسه‌ای و گراولی در ناحیه خشک ساحل (ساحل نشتارود).

- سواحل غیرفعال و کم‌انرژی با رژیم رسوبی مواد ریزدانه ماسه‌ای در ناحیه خشک ساحل و در ناحیه کم‌ژرفای دریایی (میانکاله و آستارا).

- سواحل تعادلی یا فعال تا نیمه‌فعال پُرانرژی با رژیم رسوبی مواد متوسط تا ریزدانه ماسه‌ای در ناحیه خشک ساحل و در ناحیه کم‌ژرفای دریایی (ساحل انزلی و سرخورد).

### ۵ نتیجه‌گیری

با برهم‌نهی مجموع نتایج حاصل در سامانه اطلاعات جغرافیایی سواحل جنوبی دریای خزر مشخص می‌شود که منطقه مورد بررسی، به‌لحاظ مورفودینامیک رسوبی به سواحل فرسایشی (Erosion beach)، رسوبی (Accretion beach) و حد واسط (Intermediate beach) ناحیه‌بندی می‌شود. محورهای اندازه‌گیری نشتارود و انزلی از نوع سواحل فرسایشی است و ناحیه ساحلی سرخورد و تالش از نوع حد واسط و میانکاله، آستارا از نوع سواحل رسوبی فعال است.

### منابع

- آل احمد، ا.، ۱۳۷۵، بررسی پیشینه باد و امواج دریای خزر، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، فصلنامه علمی تحقیقات خزر، جلد سوم.
- پالوسکا و دیکنز (ترجمه شهرابی، م.)، ۱۳۷۱، زمین‌شناسی کوآترنر کرانه‌های دریای خزر، سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۶۰.
- خوشروان، ه.، ۱۳۷۹، پهنه‌بندی مورفولوژی سواحل جنوبی دریای خزر، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، گزارش داخلی.
- خوشروان، ه.، ۱۳۸۰، ارزیابی فرایندهای رسوبی و

جنوبی دریای خزر از رژیم یکنواخت رسوبی برخوردار نیست و رخساره‌های متفاوت رسوبی با ترکیب مواد آواری حاصل از فرسایش واحدهای سنگ‌چینه‌ای گوناگون با دانه‌بندی متفاوت در کرانه ساحلی نهشت یافته است. مقایسه منحنی توزیع نرمال و تجمعی ذرات رسوبی در طول هر محور اندازه‌گیری از میانکاله تا آستارا نمایانگر کاهش قطر ذرات رسوبی با افزایش عمق آب دریا است و افزایش ضریب یکنواختی دانه‌ها یا جورشدگی رسوبات با افزایش عمق آب در محدوده عمقی بین ۱ تا ۲/۵ متر و گاهی ۲/۵ تا ۵ متر در سواحل مورد بررسی مشاهده می‌شود. بنابراین نوع دانه‌بندی رسوبات از ذرات ریزدانه سیلت تا رُس سیلتی یا مواد ماسه‌ای ریز، متوسط و درشت‌دانه و گراول‌های ریگ و قلوه‌سنگ با اندازه‌های گوناگون، در منطقه مورد بررسی تغییر می‌کند. در حالت کلی در راستای شرق به غرب، قطر متوسط دانه‌های رسوبی در طول سواحل جنوبی دریای خزر افزایش می‌یابد. بنابراین اختلاف دانه‌بندی در توزیع ذرات رسوبی در طول هر محور اندازه‌گیری از بخش خشک ساحلی تا ناحیه عمیق دریایی، گویای ماهیت رژیم هیدرولیکی جریان‌هایی است که موجب حمل و رسوب‌گذاری مواد رسوبی شده‌اند و بر این اساس با مقایسه‌ای که بین رسوبات مربوط به اعماق مشابه در همه ایستگاه‌های اندازه‌گیری صورت پذیرفت، می‌توان سواحل جنوبی دریای خزر را به‌لحاظ ماهیت طبیعی رسوبات ساحلی به شرح زیر ناحیه‌بندی کرد.

- سواحل فعال و پُرانرژی در بخش کم‌ژرفای ساحلی و کم‌انرژی در ناحیه دور از ساحل با ترکیب رسوبی مواد دانه درشت ماسه‌ای و گراولی در ناحیه خشک ساحل و ترکیب ماسه‌ای دانه ریز در ناحیه کم‌ژرفای دریایی (ایستگاه تالش).

- سواحل فعال و پُرانرژی در ناحیه کم‌ژرفای دریایی با ترکیب ماسه‌ای دانه متوسط تا درشت‌دانه و رژیم رسوبی

مورفودینامیک مصب رودخانه‌های مهم منتهی به سواحل جنوبی دریای خزر، سازمان مدیریت منابع آب کشور، وزارت نیرو.

خوشروان، ه.، ۱۳۸۴، آسیب‌پذیری فرسایشی سواحل جنوبی دریای خزر، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، وزارت نیرو.

خوشروان، ه.، ۱۳۸۸، بررسی تغییرات مورفودینامیکی سواحل مشرف به بنادر اصلی سواحل جنوبی دریای خزر در اثر فعالیت‌های انسانی، مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی بنیاد سواحل مدیترانه، روسیه.

قانقرمه، ع.، ۱۳۸۷، مطالعه نوسانات سطح تراز آب دریای خزر، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، گزارش سالانه (سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷).

معتمد، ا. و امین سبحانی، ف.، ۱۳۴۹، بررسی رسوبات و مورفولوژی سواحل جنوبی دریای خزر.

Pethick, J., 1984, An introduction to coastal geomorphology, Hodder Arnold publication.

Short, D., 1999, Handbook of beach and shore face morphodynamics, University of Sydney.