

الله
الرحمن
الرحيم



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب و محیط زیست

**"بررسی و پیش بینی تغییر و تحولات زبانه میانکاله بر اثر تغییرات سطح
تراز آب دریا"**

احسان ابراهیمی ششکی

استاد راهنما:

دکتر مهدی عجمی

استاد مشاور:

دکتر آزاده ولی پور

پایان نامه کارشناسی ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۶

شماره ثبت: ۲۶۲۸۱
تاریخ: ۱۷/۰۶/۹۶

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احسان ابراهیمی با شماره دانشجویی ۹۲۰۱۴۸۴ رشته مهندسی عمران گرایش سازه‌های دریایی تحت عنوان بررسی و پیش‌بینی تغییر و تحولات زیانه میانکاله بر اثر تغییرات سطح تراز آب دریا که در تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۰۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با امتیاز ۱۴..... درجه خوب) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر مهدی عجمی		
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور	دکتر آزاده ولی‌پور		
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محسن کرامتی		
۵- استاد ممتحن اول	دکتر احمد احمدی		
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر رامین امینی		

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر احمد احمدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می‌تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم با بوسه بر **دستان پدر**

به او که نمی‌دانم از بزرگی‌اش بگویم یا مردانگی، سخاوت، سکوت و مهربانی.

تقدیم به **مادر** مهربانم

مادرم هستی من زهستی توست تا هستم و هستی دارم دوست

تقدیم به **همسر** عزیزتر از جانم

که سایه مهربانش سایه‌سار زندگی‌م می‌باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود و در سایه همیاری و همدلی او به این منظور نائل شدم.

تقدیم به **برادران** گرانقدرم

که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و تکیه‌گاه من در مواجهه با مشکلات؛ و وجودشان مایه دلگرمی من می‌باشد.

تقدیم به **شهیدان** والامقام

که جان و مال خود را در حفظ و اعتلای این مرز و بوم فدا نموده و می‌نمایند.

شکر شایان نثار ایزد منان که در تمام مراحل زندگی، مرا قوت قلب بود و توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم.

از استاد فرهیخته و فرزانه سرکار خانم **دکتر آزاده ولی پور** که با نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند، صحیفه‌های سخن را علم‌پرور نمود و همواره راهنما و راهگشای بنده در اتمام و اکمال این پایان نامه بوده است، کمال تشکر را داشته و برای ایشان آرزوی سعادت و سربلندی می‌کنم.

*** معلما مقامت ز عرش برتر باد همیشه توسن اندیشه‌ات مظفر باد ***

از زحمات استاد گرانقدرم، جناب آقای **مهندس میثم بالی**، که راهنمایی‌ها و مساعدت‌های فکری ایشان راهگشای بسیاری از مشکلات موجود در پایان نامه بود، سپاس و قدردانی فراوان داشته و برای ایشان آرزوی موفقیت و سلامتی می‌کنم.

هم‌چنین از تمامی اساتید بزرگوار و دوستان عزیز که در انجام این رساله حقیر را یاری فرمودند کمال تشکر و امتنان را دارم از جمله دکتر محمدرضا غریب‌رضا، امین عربی جامخانه، سهیل عطایی حسن کیاده، امیرمحمد خاکپور و میلاد ساروزه رستمی.

در آخر نیز از صبوری‌ها و حمایت‌های بی‌دریغ **همسر عزیز** و فداکارم قدردانی کرده که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برابم بوده است.

تعهد نامه

اینجانب احسان ابراهیمی ششکی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران – سازه های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی و پیش بینی تغییر و تحولات زبانه میانکاله بر اثر تغییرات سطح تراز آب دریا تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

زبان‌ها عوارض ساحلی که از یک طرف به خشکی متصل بوده و از طرف دیگر به داخل دریا در جهت امواج غالب و جریانات کرانه راستا، با گذشت زمان رشد می‌کنند و معمولاً در انتهایشان در یک یا چند شاخه به سمت خشکی منحرف می‌شوند. از جمله بارزترین اینگونه زبان‌ها در آب‌های ایران، نوار باریک ماسه‌ای میانکاله می‌باشد که موجب شکل‌گیری خلیج گرگان شده است. هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی تغییر و تحولات سواحل زبانه میانکاله تحت تاثیر تغییرات تراز آب می‌باشد. به همین منظور نخست تئوری‌های تحلیلی مرتبط برای منطقه‌ی مورد نظر، بررسی و سپس نتایج از طریق مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. در مرحله بعدی با استفاده از مدل عددی مایک ۲۱ تاثیر تغییرات تراز آب بر بخش‌های مختلف زبانه میانکاله مورد ارزیابی واقع شد. نتیجه بررسی رابطه تجربی مطرح شده در این تحقیق، تغییرات ۱۱۰ متری خط ساحل را به ازای فرض تغییرات یک متری در تراز سطح آب نشان می‌دهد. همچنین نتایج به دست آمده از همانند سازی عددی حاکی از آن است که تغییرات خط ساحل در قسمت‌های مختلف سواحل میانکاله متناسب با شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر ساحل شامل ویژگی‌های موج و جریان و شرایط مورفودینامیکی حاکم بر هر بخش از زبانه میانکاله شامل جنس رسوبات، شکل بستر، شیب ساحل و تغییرات عمق تعادلی متفاوت است به طوریکه در بخش‌های شرقی در مجاورت دهانه خلیج میانکاله با کاهش تراز آب دریا شاهد پیشروی بیشتر خط ساحل به سمت دریا نسبت به بخش‌های شرقی و مرکزی خواهیم بود. همچنین بررسی حالت‌های مختلف حاکم بر ساحل در سه بخش غربی، میانی و شرقی با توجه به نتایج روابط تئوری و مدل‌سازی صورت گرفته حاکی از آن هست که حالت ساحل در تمامی بخش‌های سواحل میانکاله از نوع سواحل پراکنا می‌باشد به طوریکه از غرب به شرق، میزان پراکنایی ساحل افزایش می‌یابد که این مسئله به افزایش پیشروی خط ساحل با کاهش تراز آب دامن می‌زند.

کلیدواژه: زبانه میانکاله، رسوب‌گذاری، تغییرات خط ساحل، تغییرات تراز آب دریا، مایک ۲۱.

مقالات برگرفته از پایان نامه:

۱. ابراهیمی ا، عجمی م، ولی پور آ، (۱۳۹۶)، " بررسی اثر تغییرات تراز سطح آب دریای خزر بر خط ساحل زبانه میانکاله"، هفتمین همایش بین المللی صنایع فراساحل، دانشگاه صنعتی شریف.

۲. ابراهیمی ا، عجمی م، ولی پور آ، (۱۳۹۶)، " بررسی اثر تغییرات تراز آب دریا بر الگوی رسوب گذاری زبانه میانکاله"، هفتمین همایش بین المللی صنایع فراساحل، دانشگاه صنعتی شریف.

فهرست مطالب

فهرست شکل ها	م
فهرست جدول ها	ف
فهرست علامت های اختصاری	ص

فصل اول (مقدمه و کلیات)

۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ کلیات	۳
۱-۲-۱ زیانه	۳
۲-۲-۱ مورفولوژی سواحل	۵
۳-۱ سؤالات پژوهش	۵
۴-۱ ضرورت بررسی موضوع	۶
۵-۱ اهداف پژوهش	۶
۶-۱ روش تحقیق	۷
۷-۱ ساختار پایان نامه	۷

فصل دوم (مرور ادبیات فنی)

۱-۲ مطالعات انجام شده در خارج از کشور	۱۰
۲-۲ مطالعات انجام شده در داخل کشور	۱۲

فصل سوم (مفاهیم اولیه و معرفی منطقه)

۱۶	..... تقسیم‌بندی مناطق ساحلی
۱۸	..... فرآیندهای ساحلی
۲۰	..... امواج
۲۳	..... جریان های ساحلی
۲۴	..... ۱-۴-۳ جریان های عمود بر ساحل
۲۴	..... ۲-۴-۳ جریان های موازی با ساحل
۲۵	..... ۵-۳ مطالعات رسوب
۲۵	..... ۱-۵-۳ لزوم مطالعه رسوبات ساحلی در تعیین حالت‌های ساحل
۲۵	..... ۲-۵-۳ ماهیت طبیعی رسوبات ساحلی
۲۷	..... ۳-۵-۳ انتقال رسوبات توسط موج و جریان‌ها
۳۱	..... ۶-۳ آشنایی با مورفودینامیک سواحل
۳۱	..... ۱-۶-۳ بررسی تأثیر امواج در ایجاد عوارض مورفودینامیکی
۳۲	..... ۲-۶-۳ مهم‌ترین عوارض مورفودینامیک
۳۹	..... ۳-۶-۳ شیب ساحل
۴۱	..... ۴-۶-۳ ماهیت نوسانی سطح تراز آب دریا
۴۳	..... ۵-۶-۳ انواع سواحل
۵۱	..... ۷-۳ مشخصات عمومی زبانه میانکاله
۵۱	..... ۱-۷-۳ مقدمه
۵۱	..... ۲-۷-۳ حدود و موقعیت جغرافیایی
۵۲	..... ۳-۷-۳ مساحت
۵۳	..... ۴-۷-۳ ارتفاع
۵۳	..... ۸-۳ بررسی خصوصیات رسوبی منطقه مورد مطالعه

۵۳	..... منابع رسوبی ۱-۸-۳
۵۷	..... بررسی نرخ انتقال رسوب در منطقه مورد مطالعه ۲-۸-۳
۵۷	..... مقدمه ۱-۲-۸-۳
۵۷	..... بررسی کیفی روند انتقال رسوب در منطقه ۲-۲-۸-۳

فصل چهارم (تحلیل داده‌های موجود و مدل سازی)

۶۰	..... مقدمه ۱-۴
۶۰	..... بررسی انواع سواحل میانکاله با استفاده از روابط تئوری ۲-۴
۶۳	..... اندازه‌گیری پروفیل در محدوده سواحل میانکاله ۳-۴
۶۷	..... تغییرات تراز سطح آب ۴-۴
۶۷	..... مطالعات تاریخی ۱-۴-۴
۷۰	..... داده‌های اندازه‌گیری ۲-۴-۴
۷۲	..... اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در قالب پروژه پایش ۳-۴-۴
۷۲	..... اندازه‌گیری‌های دستگاه‌های ADCP ۴-۴-۴
۷۴	..... اندازه‌گیری‌های دستگاه‌های ترازسنجی ۵-۴-۴
۷۶	..... نتایج بررسی تغییرات تراز سطح آب در دریای خزر ۶-۴-۴
۷۷	..... بررسی تصاویر ماهواره‌ای ۵-۴
۷۹	..... روش‌های بررسی انتقال رسوب ۶-۴
۸۲	..... معرفی اجمالی مدل ریاضی مایک ۲۱ ۷-۴
۸۲	..... مازول مایک ۲۱/۳ ۱-۷-۴
۸۶	..... تعیین محدوده جغرافیایی در نرم افزار ۱-۷-۴
۸۷	..... بررسی مدل عددی ۸-۴

- ۹-۴ مدل‌سازی امواج ۹۱
- ۱۰-۴ برپایی مدل موج و جریان ۹۲
- ۱۱-۴ بررسی اثر کاهش تراز سطح آب بر انتقال رسوب ساحلی با استفاده از مدل عددی ۹۵
- ۱۲-۴ بررسی انواع سواحل میانکاله با استفاده از نتایج مدل‌سازی ۹۸
- ۱۳-۴ نتایج دسته‌بندی خط ساحلی زبانه میانکاله ۹۹

فصل پنجم (نتیجه‌گیری و پیشنهادات)

- ۱-۵ پیشگفتار ۱۰۲
- ۲-۵ بررسی تغییر و تحولات سواحل زبانه میانکاله بر اثر کاهش تراز آب با استفاده از روابط
تئوری و تصاویر ماهواره‌ای ۱۰۲
- ۳-۵ بررسی تغییر و تحولات سواحل زبانه میانکاله بر اثر کاهش تراز آب با استفاده از نتایج
مدل عددی ۱۰۳
- ۴-۵ نتیجه‌گیری ۱۰۳
- ۵-۵ پیشنهادات ۱۰۵

منابع و مراجع

- مراجع فارسی ۱۰۸
- مراجع انگلیسی ۱۱۲

فهرست شکل ها

فصل اول (مقدمه و کلیات)

- شکل ۱-۱ نمایی شماتیک از زبانه ۴
- شکل ۲-۱ زبانه‌ای در ایرلند جنوبی ۴
- شکل ۳-۱ زبانه هومر، واقع در نوک جنوبی شبه جزیره کنای، آلاسکا ۴

فصل دوم (مرور ادبیات فنی)

فصل سوم (منطقه مورد مطالعه)

- شکل ۱-۳ تقسیم‌بندی نواحی ساحلی ۱۶
- شکل ۲-۳ منطقه نزدیک ساحل ۱۷
- شکل ۳-۳ عوامل موثر بر تغییرات مورفولوژی ساحل ۲۰
- شکل ۴-۳ منطقه موج شکن ۲۱
- شکل ۵-۳ مدل شکست امواج ۲۲
- شکل ۶-۳ موجک‌های ماسه‌ای (راست) و تپه‌های ماسه‌ای (چپ) ۲۶
- شکل ۷-۳ نمایش نیمرخ‌های زمستانی و تابستانی ۲۸
- شکل ۸-۳ چگونگی شکل‌گیری جریان‌های موازی با ساحل در ناحیه کم‌ژرفای دریایی ۳۰
- شکل ۹-۳ تپه ماسه‌ای در ساحل میانکاله ۳۳
- شکل ۱۰-۳ نیمرخ عرضی ساحل برای حالت تابستانه و زمستانه ۳۴
- شکل ۱۱-۳ شاخک‌های ساحلی ۳۶
- شکل ۱۲-۳ موج نقش‌ها در سواحل ۳۶

- شکل ۳-۱۳ ریپل‌های جریان در ساحل میانکاله ۳۷
- شکل ۳-۱۴ تراس‌های فرسایشی در ساحل غربی میانکاله ۳۷
- شکل ۳-۱۵ سد ماسه‌ای ایجاد شده در دهانه رودخانه در ایستگاه نور ۳۸
- شکل ۳-۱۶ بازسازی ریتم نوسانات سطح تراز آب دریای خزر در ۱۹۹۳-۱۹۲۹ ۴۲
- شکل ۳-۱۷ تغییرات سریع و کوتاه مدت سطح تراز آب دریای خزر در اثر گرمایش زمین ۴۲
- شکل ۳-۱۸ طرح تعریف شده از یک سیستم ساحلی موج‌چیره با انرژی بالا ۴۴
- شکل ۳-۱۹ سواحلی با حالت بازتابان ۴۵
- شکل ۳-۲۰ ویژگی‌های سواحل انعکاسی ۴۶
- شکل ۳-۲۱ یک سیستم ساحلی با انرژی متوسط و کانال‌های جریان برگشتی در سواحل شرق استرالیا ۴۷
- شکل ۳-۲۲ ویژگی‌های سواحل بینابینی ۴۸
- شکل ۳-۲۳ تصویر یک ساحل پراکنا در جنوب کالیفرنیا در مجاورت سن دیگو ۴۹
- شکل ۳-۲۴ ویژگی‌های سواحل استهلاکی ۴۹
- شکل ۳-۲۵ نیمرخ بخش عرضی و تغییر ساحل در حالت‌های مختلف پراکنا تا بازتابان در ۷ ساحل مختلف ۵۰
- شکل ۳-۲۶ نمای کلی زبانه میانکاله ۵۲
- شکل ۳-۲۷ سواحل ماسه‌ای زبانه میانکاله ۵۳
- شکل ۳-۲۸ منحنی دانه‌بندی رسوبات مقابل مصب نکارود ۵۵
- شکل ۳-۲۹ میانگین ماهیانه، حداکثر دبی و منحنی دبی-دبی رسوبی رودخانه نکارود ۵۵
- شکل ۳-۳۰ منحنی دانه‌بندی رسوبات محدوده ساحل شمالی شبه جزیره میانکاله ۵۶
- شکل ۳-۳۱ ساحل ماسه‌ای میانکاله ۵۷

فصل چهارم (تحلیل داده‌های موجود، مدل‌سازی و تفسیر نتایج)

- شکل ۴-۱ ناحیه بندی سواحل زبانه میانکاله ۶۰

- شکل ۴-۲ تصاویر مربوط به سواحل غربی میانکاله ۶۲
- شکل ۴-۳ تصویری از قسمت شرقی زبانه میانکاله..... ۶۳
- شکل ۴-۴ عکس العمل سواحل نسبت به تغییرات تراز سطح آب..... ۶۴
- شکل ۴-۵ برداشت‌های پروفیل در سواحل میانکاله و برای سه زمان..... ۶۵
- شکل ۴-۶ نمایی از موقعیت منطقه‌ای که اندازه‌گیری پروفیل انجام شده است..... ۶۶
- شکل ۴-۷ مقایسه پروفیل‌ها برای سه زمان ۶۶
- شکل ۴-۸ تغییرات تراز آب در طول ۱۰۰۰۰ سال اخیر ۶۸
- شکل ۴-۹ منحنی تراز آب دریای خزر بر اساس داده‌های اندازه‌گیرنده جزرومد ۱۸۵۰ تا ۲۰۰۰... ۶۹
- شکل ۴-۱۰ نقشه زبانه میانکاله در سال ۱۸۹۰..... ۶۹
- شکل ۴-۱۱ موقعیت ایستگاه‌های تراز سنجی ۷۱
- شکل ۴-۱۲ موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان ۷۱
- شکل ۴-۱۳ سری زمانی تراز سطح آب اندازه‌گیری شده در امیرآباد برای چند ماه نمونه ۷۴
- شکل ۴-۱۴ محل ایستگاه‌های ترازسنجی سواحل جنوبی دریای خزر ۷۴
- شکل ۴-۱۵ محل قرارگیری ترازسنج امیرآباد ۷۵
- شکل ۴-۱۶ سری زمانی تراز سطح آب اندازه‌گیری شده توسط ترازسنج امیرآباد برای چندماه نمونه... ۷۵
- شکل ۴-۱۷ پیش‌بینی تراز سطح آب دریای خزر ۷۶
- شکل ۴-۱۸ تغییرات خط ساحل در بازه زمانی ۲۰۱۳/۴/۲۹ تا ۲۰۱۶/۴/۶ ۷۷
- شکل ۴-۱۹ ساحل در سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۷۲، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۵ ۷۹
- شکل ۴-۲۰ مقایسه پیش‌بینی خط ساحل با رابطه پیشنهادی و مقدار واقعی خط ساحل در سال ۱۳۷۲..... ۷۹
- شکل ۴-۲۱ سیستم تصویر UTM برای ایران ۸۶
- شکل ۴-۲۲ موقعیت دو ایستگاه اندازه‌گیری موج در محدوده بندر امیرآباد ۸۷
- شکل ۴-۲۳ گل‌موج یک ماهه حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه امیرآباد (ایستگاه A) ۸۸

- شکل ۴-۲۴ گل موج یک‌ماهه حاصل اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه امیرآباد (ایستگاه B) ۸۸
- شکل ۴-۲۵ نمودار سری زمانی امواج و جهات موج برای ایستگاه‌های A و B ۸۹
- شکل ۴-۲۶ سری زمانی سرعت و جهت جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه B در عمق‌های مختلف برای یک ماه ۸۹
- شکل ۴-۲۷ سری‌زمانی سرعت و جهت جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه A در عمق‌های مختلف برای یک ماه ۹۰
- شکل ۴-۲۸ گل جریان اندازه‌گیری شده در عمق ایستگاه A ۹۰
- شکل ۴-۲۹ منطقه محلی انتخاب شده و وضعیت مش‌بندی ۹۲
- شکل ۴-۳۰ مقایسه امواج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای ایستگاه B ۹۳
- شکل ۴-۳۱ شبیه‌سازی جریان ناشی از شکست موج در منطقه میانکاله ۹۴
- شکل ۴-۳۲ الگوی جریان اطراف بندر (جریان غرب به شرق) ۹۴
- شکل ۴-۳۳ تشکیل گردابه در جلوی دهانه بندر صدرا و امیرآباد ۹۴
- شکل ۴-۳۴ مقاطع عرضی در نظر گرفته شده در مناطق سه‌گانه سواحل زبانه میانکاله ۹۵
- شکل ۴-۳۵ نمودار تراز بستر مربوط به نیمرخ‌های عرضی بخش‌های مختلف زبانه میانکاله در قبل از اجرای مدل (خط‌چین) و پس از اجرای مدل (خط توپر) ۹۶
- شکل ۴-۳۶ نمودار تغییرات تراز بستر مربوط به نیمرخ‌های عرضی بخش‌های مختلف زبانه میانکاله پس از اجرای مدل ۹۷
- شکل ۴-۳۷ نمودار تراز بستر و تغییرات تراز بستر مربوط به بخش غربی (خط یک)، بخش میانی (خط پنچ) و بخش شرقی (خط نه) در قبل از اجرای مدل (خط‌چین) و پس از اجرای مدل (خط توپر) ۹۸

فهرست جدول ها

فصل اول (مقدمه و کلیات)

فصل دوم (مرور ادبیات فنی)

فصل سوم (منطقه مورد مطالعه)

جدول ۱-۳ نوع شکست موج با استفاده از عدد ایریبارن..... ۲۳

فصل چهارم (مدل سازی و تفسیر نتایج)

جدول ۱-۴ اطلاعات مربوط به ویژگی های مورفودینامیکی و هیدرودینامیکی بخش های مختلف سواحل

زبانہ میانکالہ ۶۱

جدول ۲-۴ دستاوردهای زمین شناسی تغییرات تراز آب دریای خزر در طول دوره هولوسین ۷۰

جدول ۳-۴ مشخصات ایستگاه های ترازسنجی دریای خزر در قالب پروژه پایش دریای خزر..... ۷۲

جدول ۴-۴ مشخصات و موقعیت ایستگاه های ترازسنجی دریای خزر..... ۷۳

جدول ۵-۴ موقعیت و مشخصات ایستگاه دارای اندازه گیری میدانی در منطقه ۸۸

فهرست علامت های اختصاری

B	ارتفاع حداکثر بالاروی آب در اثر امواج
C	ضریب شزی
C	سرعت انتشار موج
C_g	سرعت گروهی موج
D_{50}	اندازه متوسط ذرات رسوبی بستر
E	طیف انرژی موج فرکانسی جهتی
E_r	نرخ پراکنایی انرژی جریان
f	فرکانس
f	ضریب اصطکاک باد
g	شتاب گرانش (ثقل) زمین
H	ارتفاع موج
H_0	ارتفاع موج آب عمیق
h	عمق آب
H_b	ارتفاع شکست موج
h_b	عمق شکست
$H_{B,Mean}$	میانگین ارتفاع امواج در ناحیه شکست
hc	عمق فعال رسوبی
I_2, I_1	انتگرال های انیشتین
$\dot{i}_{net.in}$ و $\dot{i}_{net.ex}$	جرم انتقال رسوب به سمت ساحل و به سمت دریا
k_s	زبری موثر بستر
L	طول موج

- L_o طول موج آب عمیق
- L_s فاصله خط ساحلی تا عمق فعال رسوبی
- m_s, β, α شیب بستر
- Q_w دبی رسوب
- Q_s دبی آب
- p دانسیته شار در جهت X
- p_a فشار هوا
- p_w جرم حجمی آب
- q دانسیته شار در جهت Y
- q_b نرخ انتقال بار بستر
- q_s نرخ انتقال بار معلق
- R میزان توسعه و یا فرسایش سواحل
- S میزان تغییرات تراز سطح آب
- S عبارت چشمه و چاه
- S_{in} انتقال انرژی از باد به سطح آب
- S_{nl} انتقال انرژی از یک فرکانس به فرکانس دیگر توسط اندرکنش غیرخطی امواج
- S_{dis} استهلاک انرژی موج در اثر پدیده سفیدک رأس موج
- S_{suf} استهلاک انرژی موج ناشی از شکست موج در ناحیه کم عمق
- s جرم مخصوص نسبی ذرات
- T زمان تناوب موج
- t زمان
- u سرعت متوسط عمقی در جهت X

- v سرعت متوسط عمقی در جهت y
- $U_{m.ex}$ نرخ ماکزیمم سرعت در ناحیه دور از ساحل
- $U_{m.in}$ نرخ ماکزیمم سرعت در ناحیه بر ساحل
- V_r نرخ سرعت
- w_f سرعت سقوط متناظر با قطر متوسط ذرات رسوبی
- w_s سرعت سقوط ذرات
- x, y مختصات دکارتی در حالت دو بعدی
- Ω پارامتر تعیین نوع ساحل
- K^* پارامتر پایداری ساحل
- ξ پارامتر تشابه شکست
- ζ تغییرات تراز سطح آب
- ξ عدد ایربارن
- τ_c تنش برشی بستر
- τ_{wc} تنش برشی میانگین بستر
- θ جهت انتشار امواج
- μ_r ضریب شکنج
- ρ وزن مخصوص آب

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱. مقدمه

اولین قدمی که جهت شناخت عوامل تأثیرگذار بر محیط‌های دریایی و نواحی ساحلی صورت می‌گیرد، تعیین الگوی امواج و جریان‌های آن منطقه می‌باشد. در مهندسی سواحل اثر امواج و جریان‌های دریایی در درجه اول اهمیت قرار دارند و عامل مهمی در تعیین هندسه و شکل سواحل محسوب می‌شوند. اهمیت موضوع فوق باعث شده که امروزه متخصصین امر در پی اجرای مدل‌های عددی بر روی حوزه‌های کوچک و وسیع آبی باشند.

در دریاهایی که با آب‌های آزاد ارتباطی ندارند معمولاً تنش باد و ورودی رودخانه‌ها از مهم‌ترین عوامل ایجادکننده جریان‌ها و امواج می‌باشند. جهت بررسی هیدرودینامیک در این دریاها معمولاً به بررسی مشخصه‌های امواج، جریان‌های ناشی از باد، جریان‌های ناشی از موج و در نهایت اثر متقابل آن‌ها روی پدیده انتقال رسوب می‌پردازند که در این پژوهش اثر تغییرات تراز آب دریا نیز در نظر گرفته خواهد شد.

در طول سالیان دراز اندرکنش فعالیت این نیروها باعث ایجاد تعادل در شکل خط ساحلی و مورفولوژی بستر دریا می‌گردد. در مکان‌هایی که عمق آب کمتر از نصف طول موج باشد بستر دریا با حرکت امواج برهم‌کنش می‌کند [۷۴]. انرژی آزاد شده این امواج باعث ایجاد امواج کوچک‌تر شده که این موج‌ها هم، زمانی که به آب کم‌عمق‌تر می‌رسند می‌شکنند. بنابراین محدوده شکست امواج نسبت به موضع‌نگاری بستر و شرایط امواج، می‌تواند متفاوت باشد. یکی از پدیده‌هایی که به واسطه شکست امواج در اغلب سواحل اتفاق می‌افتد، پدیده انتقال رسوب ساحلی بوده که در اثر آن مقادیر زیادی رسوب در طول سال جابجا می‌شود [۷].

هم‌چنین ساخت سازه‌های دریایی باعث تغییر در جریان شده و سیر تغییرات طبیعی را به مخاطره می‌اندازد. مطالعات دقیق روی این مناطق راهی برای جلوگیری از تأثیرات منفی سازه‌های دریایی نیز خواهد بود.

دهانه‌ی ورودی خلیج گرگان در قسمت شرقی زبانه میانکاله که عرضی در حدود دو کیلومتر داشته و در کنار جزیره آشوراده قرار دارد، به شدت متأثر از این روند انتقال رسوب بوده و مسائل بسیاری از جمله عدم امکان تردد شناورها به بندر گز و ترکمن را به وجود آورده است.

با توجه به تغییرات تراز سطح آب دریا در چند سال گذشته، سواحل میانکاله در معرض تغییراتی از نظر هیدرودینامیکی و مورفولوژی قرار گرفته‌اند. البته قابل ذکر است که تراز آب این منطقه پایین‌تر از تراز سطح آب دریاهای آزاد است.

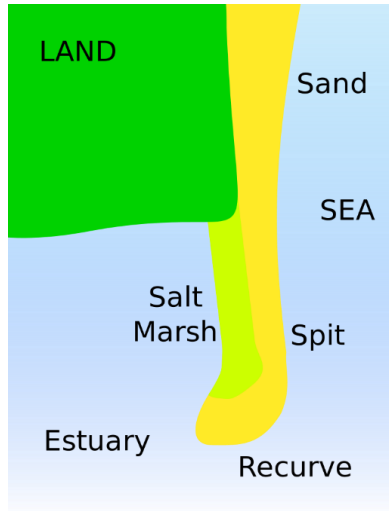
در واقع، فرآیندهای فرسایش، انتقال رسوب و رسوب‌گذاری توسط عوامل هیدرودینامیکی نظیر امواج و نوسانات تراز دریا از یک طرف و آورد رسوب رودخانه‌ای از سوی دیگر اهمیت خاصی به زبانه میانکاله داده است.

۱-۲. کلیات

۱-۲-۱. زبانه

زبانه‌ها سواحل هستند که از یک طرف به خشکی متصل بوده و از طرف دیگر در جهت امواج غالب و جریانات در طول ساحل ناشی از آن‌ها رشد می‌کنند و معمولاً در انتهایشان در یک یا چند شاخه به سمت خشکی منحرف می‌شوند. در مناطقی که دو یا چند دسته از امواج در جهات مختلف بر ساحل اثر کنند، انحرافات که در انتهای زبانه رخ می‌دهد بیشتر نمایانگر می‌شود. زبانه‌ها و انحرافات که در انتهای آن‌ها رخ می‌دهد به مرور زمان و در طی سالیان دراز رشد کرده و انحرافات آن‌ها تکرار می‌شود. ایجاد خلیج و رشد این زبانه‌ها تابع عوامل بزرگ‌مقیاس هیدرودینامیکی و زمین‌شناسی است اما در نهایت با رشد این زبانه‌ها خلیج‌هایی به وجود می‌آید که زمانی جزئی از دریا بوده‌اند و با رشد و نمو این زبانه‌ها به صورت خلیج مرتبط با دریا درآمده‌اند. برای تشکیل یک زبانه معمولاً رسوباتی که منشأ ساحلی دارند شرکت می‌کنند، همچنین ممکن است اجسام معلق ساحلی نیز در این شکل‌گیری شرکت کنند [۶۸].

شکل‌های (۱-۱) نمایی شماتیک از زبانه و شکل‌های (۲-۱) و (۳-۱) دو زبانه که با گذشت زمان به‌وجود آمده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهند.



شکل (۱-۱). نمایی شماتیک از زبانه، [۴۶]



شکل (۲-۱). زبانه‌ای در ایرلند جنوبی، [۵۱]



شکل (۳-۱). زبانه هومر، واقع در نوک جنوبی شبه جزیره کنای، آلاسکا، [۵۲]

بر اساس شرایط هیدرودینامیکی مختلف، ممکن است در بعضی مناطق زبانه‌هایی که ایجاد می‌شود مستقیم باشد که از جمله بارزترین اینگونه زبانه‌ها در آب‌های ایران، نوار دراز و باریک ماسه‌ای میانکاله می‌باشد که باعث ایجاد خلیج گرگان شده است که بررسی این تغییرات و همچنین مطالعه پدیده انتقال رسوب ساحلی در این منطقه مستلزم شناخت هیدرودینامیک امواج در این بخش از دریا می‌باشد. سواحل زبانه میانکاله تحت تأثیر امواج دریا و همچنین تغییرات تراز آب دریا می‌باشند. دهانه ورودی خلیج گرگان که تنها راه ورودی به این خلیج از سمت دریاست، تحت تأثیر روند انتقال رسوب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این پژوهش انتقال رسوب منطقه تحت اثر تغییرات تراز آب دریا با استفاده از مدل‌سازی عددی مورد مطالعه قرار گرفته و با توجه به نتایج حاصل، روند فرسایش و رسوب‌گذاری در منطقه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۲-۲. مورفولوژی ساحل

تغییرات مورفولوژی نتیجه مستقیم تغییرات در حمل و نقل رسوبات می‌باشد چه به لحاظ حجم و چه به لحاظ زمان. هنگامی که انتقال رسوبات کاهش می‌یابد ارتفاع بستر افزایش یافته و برعکس آن با افزایش انتقال فرسایش رخ می‌دهد. در نواحی ساحلی تغییرات مورفولوژیکی معمولاً سبب تغییرات موقعیت خط ساحلی می‌شود که این عامل یا به علت فرسایش یا رسوب‌گذاری رخ می‌دهد.

۱-۳. سؤالات پژوهش

۱. چه فرآیندها و پدیده‌هایی بر مورفولوژی زبانه میانکاله اثرگذارند؟
۲. سواحل میانکاله جزء کدام دسته از سواحل می‌باشند (پراکنا، میانی و یا انعکاسی)؟
۳. تغییرات تراز سطح آب دریا چه تأثیری بر الگوی رسوب‌گذاری یا فرسایش منطقه خواهد گذاشت؟

۴. تغییرات تراز سطح آب دریا چه تأثیری بر خط ساحل زبانه میانکاله خواهد گذاشت؟

۴-۱. ضرورت بررسی موضوع

تغییرات نسبی سطح آب دریا منجر به تغییرات هیدرودینامیکی و مورفولوژی منطقه شده و سبب تغییراتی در طول و عرض زبانه میانکاله می‌شود. حال اگر این تغییرات باعث شسته شدن رسوبات شود، طول زبانه افزایش می‌یابد، و به مرور زمان منجر به تنگ‌تر شدن و یا حتی بسته شدن دهانه ورودی خلیج گرگان می‌شود. از پیامدهای منفی این اتفاق، قطع ارتباط بندر ترکمن و گز با دریا، تبدیل شدن خلیج گرگان به مرداب و به خطر افتادن زندگی آبزیان و پرندگان موجود در این خلیج می‌باشد؛ اما در صورت انباشته شدن رسوبات منطقه، علاوه بر کاهش و یا از بین رفتن موارد ذکر شده در بالا، ضخامت زبانه میانکاله افزایش یافته و بر سواحل آن افزوده می‌شود. با بررسی این مطالب می‌توان راهکارهای جامع و کاملی برای حل مسائل و مشکلات ذکر شده و یا حتی کاربری بهینه از سواحل ایجاد شده در منطقه میانکاله، ارائه داد.

۵-۱. اهداف پژوهش

در این الگوی رسوب‌گذاری و جریان در سواحل زبانه میانکاله با توجه به پدیده‌هایی چون موج، جریان و تغییرات سطح آب دریا بررسی شده و پیرو آن، موارد زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- تأثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری سواحل زبانه میانکاله
- تأثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر تغییرات خط ساحلی زبانه میانکاله
- نوع سواحل منطقه مورد مطالعه به لحاظ پراکنایی، میانی و یا انعکاسی

۱-۶. روش تحقیق

در این پژوهش میزان تغییرات خط ساحلی در امتداد زبانه میانکاله بر اساس داده‌ها، تصاویر و نقشه‌های قدیمی‌تر بررسی و به شناسایی عوامل طبیعی تأثیرگذار از جمله جهت و مقدار سرعت باد، جهت و مقدار سرعت جریان، جهت و مقدار ارتفاع موج، تغییرات تراز سطح آب دریا و... پرداخته شده است. سپس با یک سری فرضیه‌پردازی‌های علمی و منطقی و براساس مستندات و تحقیقات گذشته، حالات مختلف اثرگذاری این عوامل بر زبانه میانکاله بررسی و در نرم افزار مایک ۲۱ مدل می‌شوند. در ادامه تغییرات هیدرودینامیک و مورفولوژیک منطقه مورد مطالعه به عنوان تابعی از امواج، جریان، تغییرات سطح آب و... ارزیابی و اندازه‌گیری می‌شود. و در نهایت با توجه به نتایج حاصل شده و بررسی آن‌ها، اهداف بیان شده به دست خواهند آمد.

۱-۷. ساختار پایان‌نامه

در فصل دوم، مروری بر مطالعات گذشته در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. در فصل سوم، ابتدا مطالعات رسوبات، جریان‌های ساحلی و خواص مورفودینامیکی دریای خزر بیان شده است. در ادامه انواع سواحل بررسی شده و مشخصات عمومی زبانه میانکاله معرفی شده و به بررسی تغییرات تراز آب دریا در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. در فصل چهارم نیز ابتدا رابطه‌ای تئوری جهت بررسی میزان پیشروی خط ساحل بر اثر کاهش تغییرات تراز آب دریا ارائه شده و سپس به معرفی نرم افزار مایک ۲۱ و ماژول مناسب برای مدل‌سازی پرداخته شده، در نهایت نتایج حاصل از مدل‌سازی تفسیر شده است. و در فصل پایانی نیز نتیجه‌گیری حاصل از انجام مطالعه و پیشنهادات ارائه شده است.

فصل دوم

مرور ادبیات فنی

۲-۱. مطالعات انجام شده در خارج از کشور

بروون^۲ (۱۹۶۲) اثر افزایش تراز آب دریا بر فرسایش ساحل را بررسی کرده و رابطه‌هایی برای آن ارائه نمود. وی بدین منظور صرفاً به اثر جابجایی رسوب عمود بر ساحل پرداخت و نحوه هماهنگ شدن پروفیل بستر با تراز جدید سطح آب را مطالعه کرد. او در سال‌های ۱۹۸۳، ۱۹۸۵ و ۱۹۸۸ شرایط به‌کارگیری و محدوده کاربرد رابطه خود را بیشتر مورد بررسی قرار داد.

شورتس^۳ (۱۹۶۷) با استفاده از تست‌های آزمایشگاهی و میدانی و همچنین با کمک نظریه بروون روابط جدیدی ارائه داده است که در آن افزایش سطح آب دریا به عنوان علت فرسایش ساحل معرفی شده، به‌صورتی که بخش فرسایش یافته در مقطع عرضی ساحل در انتهای پایینی بخش ساحلی قرار می‌گیرد به طوری که مقدار رسوبات فرسایش یافته و رسوب‌گذاری شده با هم برابرند.

ایورتس^۴ (۱۹۸۵) با تکیه بر رویکرد حفاظت سواحل، افزایش سطح آب دریا را از علل عقب نشینی ساحل معرفی کرده است. وی نشان داده است که افزایش سطح آب دریا حدود ۵۳ درصد عقب نشینی ساحل را باعث می‌شود. و واقع‌بینانه‌ترین روش برای حفاظت ساحل در برابر اثرات نسبی بالا آمدن سطح دریا را پر کردن سواحل از شن و ماسه می‌داند.

ون^۵ (۱۹۸۸) با مدل عددی مایک ۲۱ به بررسی امواج و در نهایت انتقال رسوب در سواحل مدیترانه پرداخته است. وی انتقال رسوب ناشی از امواج، جریان‌ها و ترکیب آن‌ها را در منطقه بررسی کرده است. کاپلین و همکاران^۶ (۱۹۹۵) دریای خزر را به عنوان یک آزمایشگاه طبیعی برای مطالعات الگوهای واکنش ساحلی معرفی کردند. آنها مورفولوژی ساحلی، شیب پایین در نزدیکی سواحل و همچنین تغییرات سطح آب را مهم‌ترین عوامل موثر بر پاسخ ساحلی دانسته‌اند.

2 Bruun

3 Schwartz

4 Everts

5 Van

6 Kaplin et al.

می‌یر^۷ (۱۹۹۹) به کمک مدل عددی مایک ۲۱ به بررسی تغییر خطوط ساحلی توسط جریان‌ها در سواحل مدیترانه پرداخته است و نرخ انتقال رسوب را با توجه به شدت جریان‌ها در مکان‌های مختلف محاسبه کرده است. این مطالعه اهمیت تغییرات توپوگرافی سطح آب را در مناطق ساحلی، جایی که اختلاف کوچک در تراز آب ممکن است انحرافات مشخصی را در مکان خط ساحلی سبب شود، نشان می‌دهد.

لیدرمن و همکاران^۸ (۲۰۰۰) به تاثیر افزایش سطح آب دریا بر فرسایش سواحل اشاره کرده‌اند، آن‌ها نشان داده‌اند یک رابطه مهم بین افزایش سطح آب دریا و فرسایش سواحل شنی وجود دارد. نرخ عقب نشینی خط ساحلی را به طور متوسط در حدود ۱۵۰ برابر افزایش سطح دریا برآورد کرده‌اند و تغییرات سطح آب دریا را تنها یکی از عوامل زیادی که باعث تغییرات طولی خط ساحل می‌شود، دانسته‌اند.

کرونینبرگ و همکاران^۹ (۲۰۰۰) یک چرخه کامل از سطح دریای خزر را در طی ۶۵ سال بررسی کردند و طی آن تغییرات دینامیکی در امتداد سواحل دریای خزر را مورد مطالعه قرار دادند. براساس مطالعه آنها، دامنه تغییرات سطح دریا بین سال‌های ۱۹۲۹ تا ۱۹۹۵، بیش از سه متر بوده که این تغییرات تا سال ۱۹۹۷ روند افزایشی داشته و بعد از آن تا سال ۱۹۹۵ روند آن کاهشی بوده است.

روبرت نیکولز^{۱۰} (۲۰۱۰) افزایش سطح آب دریا و تاثیر آن بر مناطق ساحلی را مورد مطالعه قرار داد. وی بیان می‌دارد که سطح دریا در جهان در قرن بیستم افزایش یافته است و این روند به طور قطع تا قرن بیست و یکم و فراتر از آن به دلیل گرم شدن کره زمین ادامه خواهد داشت اما سرعت و شدت آن مشخص نخواهد بود.

کاکروودی^{۱۱} (۲۰۱۲) تغییرات سریع سطح آب دریا و تاثیر آن بر سواحل ایران از جمله زبانه میانکاله را مورد بررسی قرار داد. وی بیان داشته زبانه میانکاله شامل چندین جزیره بوده و با کاهش سطح آب بین

7 Meyer

8 Leatherman et al.

9 Kroonenberg et al.

10 Nicholls

11 Kakroodi

سال‌های ۱۹۲۹ تا ۱۹۷۷ زبانه گسترش یافته و جزایر توسط انتقال رسوب جانبی و تغییر سطح بستر به هم متصل شدند. در ادامه با افزایش سطح آب دریا ضخامت زبانه کاهش یافته و زبانه مجدداً به چندین بخش تبدیل شد. وی در بخش دیگری از تحقیق خود، به واکنش خط ساحلی به تغییرات سطح آب دریا در قرن بیستم در امتداد زبانه میانکاله پرداخته است و امواج، جریان‌های دریایی، مورفولوژی نزدیک ساحل و تغییرات سطح آب دریا از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در کنترل مورفولوژی ساحلی میانکاله معرفی کرده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد سواحل میانکاله دست‌خوش تغییرات به دلیل فعالیت‌های انسانی (احداث بنادر) شده است. این بنادر باعث جلوگیری از انتقال رسوب شده و با انسداد، باعث می‌شوند فرسایش شدید رخ دهد.

راناسینگه و کالاهان^{۱۲} (۲۰۱۲) با استفاده از مدل PCR پس‌روی ساحلی ناشی از SLR^{۱۳} را تخمین زده‌اند. آنها روش PCR را به عنوان روشی مناسب‌تر و قابل دفاع‌تر نسبت به روش بروون برای تعیین پس‌روی ساحلی با توجه به SLR جهت برنامه‌ریزی در قرن بیست و یکم و بعد از آن معرفی کرده‌اند.

۲-۲. مطالعات انجام شده در خارج از کشور

کیائی و کرمی خانیکی (۱۳۹۲) اثر تغییرات تراز آب بر الگوی جریان و انتقال رسوب در مصب‌ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها اثر تراز اولیه آب بر روی الگوی جریان و رسوب‌گذاری در مصب را با استفاده از مدل عددی مایک ۲۱ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با تغییر تراز آب، الگوی جریان و آهنگ رسوب‌گذاری تغییر نمی‌کند و فقط شدت آن را عوض می‌کند به طوری که، باعث تغییر مقدار رسوب‌گذاری در دهانه و ساحل می‌شود.

12 Ranasinghe & Callaghan
13 Sea Level Rise

لرستانی (۱۳۹۱) با شبیه سازی امواج و جریان های دریایی در نرم افزار مایک ۲۱، تأثیر هیدرودینامیک دریای خزر بر تغییرات خط ساحلی قاعده دلتای سفیدرود را مورد بررسی قرار داد. وی در این پژوهش، نحوه حرکت و تأثیر امواج ناشی از باد و جریان های دریایی محدوده قاعده دلتا را در بندر کیشهر بیان کرد. کمالیان و صفری (۱۳۹۱) مطالعه ای به منظور شناسایی تأثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر رفتار رسوب در اطراف بندر نوشهر و رسوب گذاری در دهانه های آن انجام داده اند. روند تغییرات خط ساحلی اطراف بندر و آمار سالانه لایروبی و هیدروگرافی های سالانه دهانه بندر مورد مطالعه قرار گرفته اند و رسوب ساحلی و مدل های دوبعدی بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که افزایش تراز آب دریا در طی سال های ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۴ مانع بروز مشکل رسوبی قابل توجه برای بندر بوده است. از طرف دیگر در سال هایی که کنارگذری رسوب از مقابل هد موج شکن برقرار بوده، کاهش تراز آب باعث شدت گرفتن کنارگذری رسوب شده است.

لرستانی و همکاران (۱۳۹۱) به شبیه سازی دینامیک امواج و انتقال ماسه در سواحل دریای خزر (محدوده خلیج گرگان) پرداختند. آنها با بررسی راستای امواج غالب و نحوه تولید جریان در امتداد ساحل به تأثیر آن بر توزیع ذرات ماسه در طول خط ساحلی پرداختند. برای دستیابی به این هدف، از داده های باد، امواج و نیز نقشه های توپوگرافی و عمق سنجی که ابزار و داده های اصلی پژوهش به شمار می روند، استفاده شده است. با توجه به راستا و فراوانی امواج، مدل سازی امواج در نرم افزار مایک ۲۱ انجام شد. در ادامه، داده های امواج برای تولید مدل جریان های موازی ساحل در منطقه شکست مورد استفاده قرار گرفتند و در نهایت، مدل سازی انتقال ماسه در خط ساحلی تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان می دهد که راستای غالب امواج از جهات شمال غرب، موجب توزیع و جابه جایی ماسه ها به سمت شرق شده است. شربتی (۱۳۹۰) شبیه سازی دوبعدی جریان دریایی خلیج گرگان در فصل تابستان را با استفاده از نرم افزار مایک ۲۱ برای محاسبه جریان، نوسان های سطح آب و مؤلفه های سرعت انجام داد. نتایج مدل بیان می کند که الگوی جریان، به واسطه تنش باد غالب، توپوگرافی بستر، ورودی و خروجی آب از تنها مرز باز مدل (دهانه آشوراده در بندر ترکمن) و احاطه شدن خلیج به وسیله زبانه میانکاله متأثر شده است.

یگانه بختیاری و محمدیان (۱۳۸۷) میزان دبی و علل انتقال رسوبات در نوار ساحلی جنوب دریای خزر مورد را مورد مطالعه قرار دادند. روش بررسی استفاده از مشاهده‌های بلندمدت خط ساحلی، آنالیزهای آماری خصوصیات باد و موج و همچنین بررسی خصوصیات رسوبات و سپس مدل‌سازی عددی تغییرات خط ساحلی بوده است. برای مدل‌سازی عددی تغییرات خط ساحلی از ماژول LITPACK استفاده شده است. نتایج حاکی از وجود یک رابطه مستقیم بین تغییرات تراز سطح آب دریا با میزان جابه‌جایی رسوبات کرانه‌ای و شرایط هیدرودینامیکی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

ارومیه‌ای (۱۳۸۷) به ارزیابی توان فرسایش‌پذیری و رسوب‌گذاری در محدوده بندر انزلی پرداخت و عوامل سنگ‌شناسی و پوشش گیاهی را در انتقال رسوب به منطقه، مهم‌تر از عوامل دیگر اعلام کرد. فلاح، کرمی خانیکی و لایقی (۱۳۸۵) به بررسی کارایی مدل م ۱۴ و مایک ۲۱ در شبیه‌سازی امواج دریای خزر پرداختند. برای این کار، ارتفاع موج عمده برای دو مدل در منطقه بندر انزلی به دست آمد و نتایج حاصل با داده‌های اندازه‌گیری شده به وسیله کشتی‌ها مقایسه شد. این مقایسه طی هفده روز، هم‌بستگی خوبی از نتایج دو مدل نشان داد و در اغلب اوقات، نتایج هر دو مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده یکسان بودند.

فلاح و همکاران (۱۳۸۳) به ارزیابی مدل‌های ریاضی مایک ۲۱ و م ۱۴ در شبیه‌سازی امواج دریای خزر پرداخته‌اند. در این تحقیق سعی شده است که کلیه اطلاعات از جمله هیدروگرافی بستر و اطلاعات باد به صورت یکسان در هر دو مدل تعریف گردند. در نهایت با رسم نمودارهای ارتفاع موج عمده در فصول مختلف و مقایسه آنها با داده‌های موج حاصل از باد ثبت شده بر روی کشتی‌ها چنین نتیجه گرفته شده است که بلندترین موج‌ها در دو مدل و نتایج حاصل از مشاهدات کشتی‌ها در زمان یکسانی رخ می‌دهند. اگرچه در بعضی اوقات تفاوت‌هایی نیز بین نتایج مدل‌ها و حاصل از مشاهدات کشتی‌ها، مشاهده می‌گردد.

فصل سوم

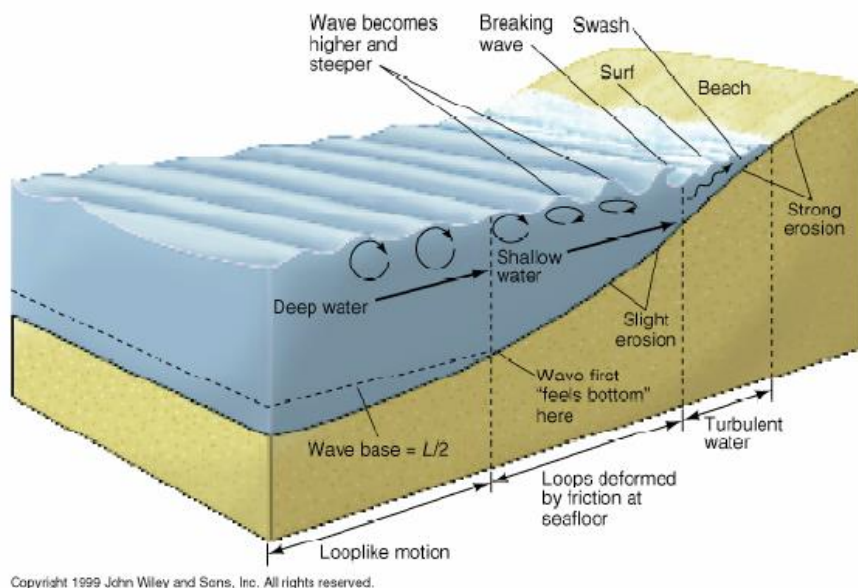
مفاهیم اولیه و معرفی منطقه

۳-۱. تقسیم‌بندی مناطق ساحلی

مناطق ساحلی براساس پدیده‌های مختلفی که در نواحی مختلف آن اتفاق می‌افتد. مطابق شکل (۳-۱) به ناحیه‌های فراساحل، ناحیه انتقالی و نزدیک ساحل تقسیم می‌شود.

❖ ناحیه فراساحل

ناحیه فراساحل به منطقه‌ای اطلاق می‌شود که به علت عمق زیاد در آن، امواج اندرکنشی با بستر دریا نداشته باشند و یا این اندرکنش بسیار محدود باشد. در حقیقت این ناحیه معمولاً از فاصله نسبتاً دوری از خط ساحلی در دریا آغاز و به سمت فلات قاره و اقیانوس‌های آزاد ادامه می‌یابد. در منطقه فراساحل به ندرت امواج می‌شکنند و در صورت شکست نیز به ندرت علت این امر، تاثیر بستر بر شکل موج است، بنابراین برای عمده امواج، منطقه فراساحل، در واقع ناحیه آب عمیق است.



شکل (۳-۱). تقسیم‌بندی نواحی ساحلی، [۸]

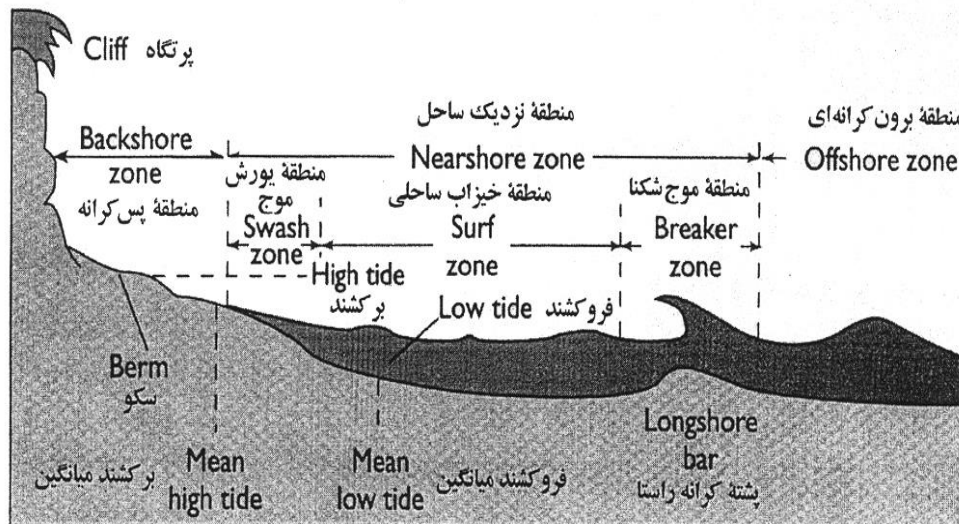
❖ ناحیه انتقالی

با نزدیک تر شدن امواج به ساحل، امواج سرانجام به ناحیه‌ای می‌رسند که اثر بستر دریا را احساس کرده و با بستر اندرکنش پیدا می‌کند، این ناحیه، ناحیه انتقالی نامیده می‌شود. ناحیه انتقالی تا جایی که

بسیاری از امواج تحت اثر کاهش عمق، به مقدار حدی در تیزی (نسبت ارتفاع به طول موج: H/L) رسیده و دچار شکست می‌شوند، ادامه می‌یابد. معمولاً بستر دریا در انتهای منطقه انتقالی از طرف ساحل دارای یک برآمدگی مشخص است که به آن پشته رسوبی گفته می‌شود. در حقیقت این پشته، مرز میان ناحیه انتقالی و ناحیه کم عمق برای اکثریت امواج منتشره می‌باشد.

❖ منطقه نزدیک ساحل

امواج بعد از پشت سر گذاشتن ناحیه انتقالی با نزدیک شدن به خط ساحلی که توام با کاهش بیشتر عمق آب است می‌شکنند، از ناحیه شکست تا ساحل را منطقه نزدیک ساحل می‌نامند. امواج در این ناحیه دارای طیف گسترده‌ای از ارتفاع و طول موج می‌باشند، ولی بررسی‌های آماری نشان می‌دهد که برای درصد قابل توجهی از این امواج، منطقه شکست تقریباً مشابه است. در حد فاصل منطقه شکست امواج با خط ساحلی، فرآیندهای متنوعی عمدتاً بر اثر شکست امواج به وجود می‌آیند که بسیاری از پدیده‌های ساحلی از جمله فرسایش ساحل، ناشی از این فرآیندها می‌باشد (شکل ۲-۳).



شکل (۲-۳). منطقه نزدیک ساحل، [۷]

۳-۲. فرآیندهای ساحلی ۱۵

فرآیندهای ساحلی به پدیده‌های فیزیکی اطلاق می‌گردد که در اثر کنش نیروهای حاصل از وزش باد، امواج، جریان‌های ساحلی و جزر و مد در مناطق ساحلی بر روی رسوبات اعمال می‌شود. جهت آشنایی لازم با فرآیندهای ساحلی باید خصوصیات کلی هیدرودینامیکی دریا، هیدرولیکی رودخانه در محل مصب و دلتای آن و صفات رسوبات‌شناختی رسوبات نهشت‌یافته در مناطق ساحلی را مورد ارزیابی قرار دهیم. زیرا نقش فرآیندهای مذکور در تغییر شکل سیمای مورفولوژیک ساحلی و پدیده رسوب‌گذاری و فرسایش بسیار حائز اهمیت می‌باشد. مهمترین فاکتورهای محیطی در مناطق ساحلی شامل امواج، جریان‌های ساحلی، جزر و مد، طوفان‌های دریایی و مد دریا، وضعیت زمین‌شناسی ساحل از نظر نوع و میزان فراوانی رسوب ۱۶ و ساختار مورفولوژی ساحل و سایر عوامل دیگر نظیر فعالیت‌های انسانی و ارگانسیم‌های جانوری و گیاهی است که آنها در روند توسعه فرسایش مناطق ساحلی مؤثر واقع می‌شوند. در تجزیه و تحلیل فرآیندهای ساحلی، امواج باید از نظر مدل دینامیک حرکت، ارتفاع، پیرو و جهت چگونگی عملکرد آنها در ناحیه ساحلی و حرکت مواد رسوبی مورد بررسی قرار گیرند. زیرا در اقدامات مهندسی سواحل در مراحل مختلف تهیه نقشه، طراحی و ساخت، امواج موجب به‌هم‌خوردن و تغییرات کلی خط ساحلی و ناحیه ساحلی می‌شوند. اصولاً تغییرات در ناحیه ساحلی به دو دسته کوتاه و بلندمدت تقسیم می‌شود. در تغییرات کوتاه‌مدت معمولاً دوره عملکرد امواج و طوفان‌ها در فصول مختلف در جهات افقی و قائم پروفیل ساحل بررسی می‌شود و در دوره‌های بلندمدت فرآیند عدم تعادل بین ماسه‌های فرسایش‌یافته و تجمع یافته مورد مطالعه قرار می‌گیرد. معمولاً زاویه بین قله موج ۱۷ و خط ساحلی عامل تعیین‌کننده جهت جریان‌های موازی با ساحل می‌باشد و حمل رسوبات در ناحیه ساحلی به دو صورت یادشده انجام می‌شود. برای پاسخگویی به سئوالات مهمی که در مطالعات مهندسی سواحل مطرح

15 Coastal Processes

16 Sediment supply

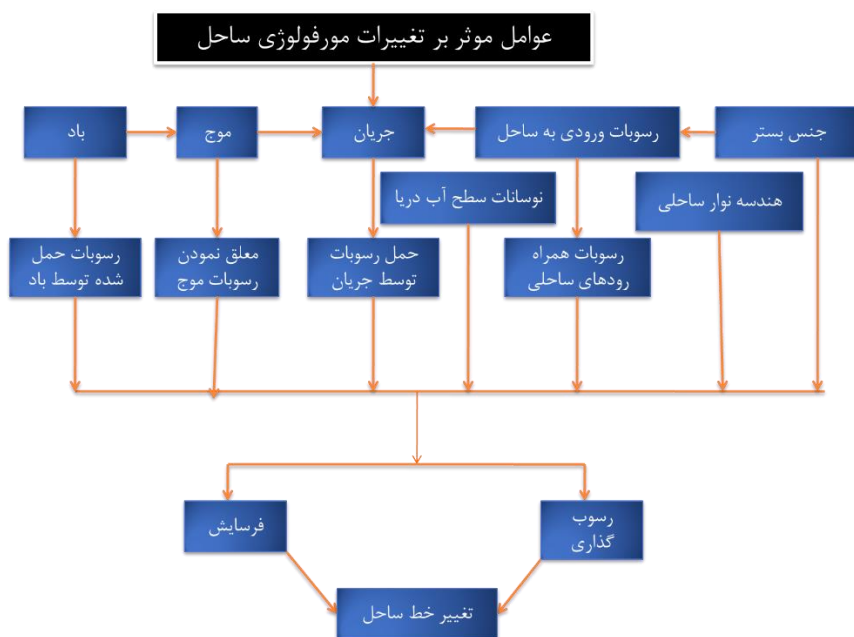
17 Crest of wave

می‌باشد باید وضعیت فرآیندهای ساحلی مورد مطالعه دقیق قرار گیرد. برای مثال جهت طراحی سازه‌هایی نظیر آبشکن ۱۸، اسکله ۱۹ و کانال کشتیرانی باید دانست که وضعیت حمل رسوبات به موازات ساحل چگونه است و یا نقل مکان خط ساحلی در پریودهای زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت به چه نحوی می‌باشد و جهت و اندازه نرخ حرکت رسوبات در راستای عمود بر ساحل مطالعه گردد. نوع شکل نیمرخ ساحلی بستگی به شیب امواج (نسبت ارتفاع امواج در آب عمیق H_0 بر طول موج آن L_0) دارد و ارتفاع امواج در تغییر شکل پروفیل‌های ساحلی نقش بسیار مؤثرتری را از خود ایفا می‌کند. فرسایش و رسوب‌گذاری از فرآیندهای بسیار مهم در مناطق ساحلی محسوب می‌شوند و انرژی حوضه در کنترل هر یک از آنها نقش بسیار با اهمیتی را دارا می‌باشد. معمولاً با بررسی پروفیل‌های ساحلی در زمان‌های مختلف می‌توان سرعت پدیده‌های یاد شده را تحت کنترل قرار داد که عموماً در فصول مختلف سال و بعد از دوره‌های طوفانی و در زمان آرامش دریا این نیمرخ‌ها تهیه گشته و با یکدیگر مقایسه می‌شوند و بر اساس نتایج حاصله وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در راستای عمود بر ساحل ارزیابی می‌گردد. عموماً تغییرات پروفیل‌های ساحلی در اثر فرآیندهای هیدرودینامیکی به سه پارامتر بستگی دارد. اول میزان انرژی و زاویه شکست امواج ۲۰، دوم میزان مواد رسوبی و سوم کنش بین امواج و رسوبات و فرآیندهای انتقال و حمل مواد رسوبی که معمولاً در پروفیل‌های ساحلی با افزایش شیب ناحیه ساحلی قطر دانه‌های رسوبی افزایش می‌یابد و اندازه دانه‌ها با شیب بستر نسبت مستقیم دارد. بنابراین در مطالعه مورفولوژی سواحل آشنائی با فاکتورهای محیطی و فرآیندهای فیزیکی مؤثر در مناطق ساحلی امری الزامی و بدیهی بوده که باید کلیه پارامترها دقیقاً مورد بررسی و ارزیابی کلی قرار گیرد تا نتایج حاصل از آن‌ها در برنامه‌های مطالعات مورفولوژیک ساحلی و مهندسی سواحل کارآمد باشند. در گراف شکل (۳-۳) عوامل طبیعی مؤثر بر تغییرات مورفولوژی ساحل و ارتباط آن‌ها نسبت به یکدیگر خلاصه شده است.

18 Groyne

19 Jetty

20 Steepness



شکل (۳-۳). عوامل موثر بر تغییرات مورفولوژی ساحل، [۸]

با توجه به گراف نشان داده شده در شکل (۳-۳)، تمامی عوامل موثر منجر به رسوب گذاری و یا فرسایش و در نهایت تغییر ساحل می شود. فرسایش در سواحل عمدتاً به پروسه انتقال رسوبات بیش از میزانی که توسط منابع رسوبی به آن وارد می گردد، اطلاق می شود. بنابراین علت فرسایش یک ساحل را در درازمدت باید در کاهش حجم رسوبات در قسمت مشخصی از ساحل جستجو کرد. برعکس علت رسوبگذاری در بخش دیگری از ساحل را در درازمدت باید در افزایش حجم رسوبات بعلاوه فرسایش بخش قبلی از ساحل بررسی گردد.

۳-۳. امواج

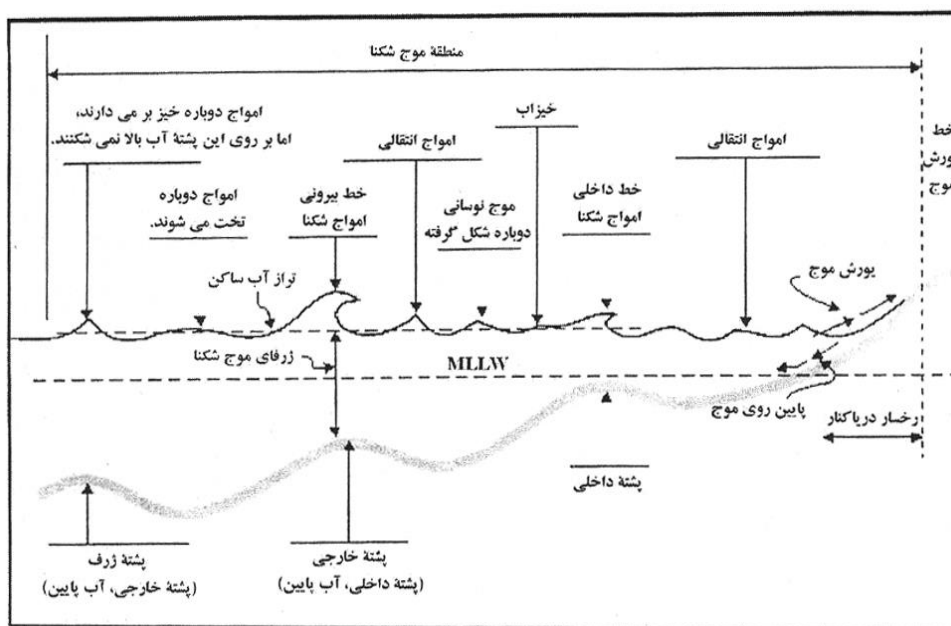
حرکت نوسانی ذرات آب را موج می نامیم. امواج از مهم ترین عوامل در تغییرات خط ساحل و تعیین حالت های ساحل خصوصاً در سواحل موج چیره اند. به همین علت شناخت آنها در هر منطقه ساحلی و نحوه آشنایی با نحوه رفتار آنها در شناخت سواحل بسیار مؤثر می باشد. وزش باد روی سطح توده های بزرگ آبی از جمله اقیانوس ها، دریا و دریاچه ها باعث شکل گیری امواجی در امتداد وزش باد می شود و با افزایش طول بادخیز انرژی موج افزایش می یابد. بخشی از امواج، به سوی کرانه ها حرکت می کنند. با

نزدیک شدن به ساحل و کاهش عمق آب، به تدریج بر اثر پدیده‌ی کم‌زرفایی، ارتفاع موج افزایش می‌یابد. در یک عمق مشخص، موجی با مشخصات معلوم ناپایدار می‌شود و می‌شکند. شکست موج، معمولاً با فروریختن در پای موج یا ایجاد ناحیه‌ی کف‌آلود مشخص می‌شود. این پدیده، باعث استهلاک انرژی و تبدیل آن به آشفتگی و کار در برابر اصطکاک بستر می‌شود.

معمولاً دو پارامتر ارتفاع موج شکنا و عمق شکست برای تعیین مشخصات موج شکنا به کار می‌روند.

ارتفاع موج شکنا (H_b): بیشینه‌ی ارتفاع موج در نقطه‌ی شکست برای یک موج منفرد یا میانگین ارتفاع یک سوم بالای یک گروه موج (که ارتفاع موج مشخصه نامیده می‌شود). در شکل (۳-۴) منطقه موج شکنا نشان داده شده است.

عمق شکست (h_b): عمق آب در نقطه‌ی شکست



شکل (۳-۴). منطقه موج شکنا، [۷]

از نظر کیفی، شکست موج به یکی از صورت‌های شکل (۳-۵) رخ می‌دهد.

❖ شکست ریزشی ۲۱: تقارن نسبی، تشکیل ناحیه مخلوط آب و هوا (کفآلود) در نزدیکی تاج موج و

حرکت آن به سمت جلو با سرعت ظاهری موج، پخش آشفتگی از سطح به کف

❖ شکست شیرجه‌ای فروریز ۲۲: عدم تقارن موج، شیرجه بخشی از ذرات آب در پای موج جلویی

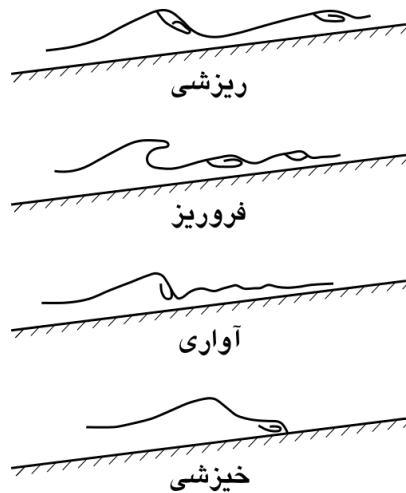
خود، آشفتگی در محل شیرجه، آشفتگی بیشتر در مقایسه با شکست ریزشی

❖ شکست غلتشی خیزشی ۲۳: به دلیل شیب زیاد بستر، پای موج ناپایدار می‌شود و یک ناحیه

کفآلود وسیع در مقابل سینه موج ایجاد می‌شود.

افزون بر سه نوع یاد شده، برخی از محققان، یک حالت انتقالی نیز میان شکست فروریز و شکست

خیزشی در نظر می‌گیرند که شکست انهدامی آواری ۲۴ نامیده می‌شود.



شکل (۳-۵). مدل شکست امواج، [۷]

نحوه‌ی شکستن موج، وابسته به طبیعت بستر و مشخصات موج است. برای نمایش این وابستگی، پارامتر

بی‌بعدی به نام عدد ایریبارن به صورت زیر تعریف می‌شود.

- 21 spilling
- 22 plunging
- 23 surging
- 24 collapsing

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

که در آن، α شیب بستر، H_0 ارتفاع موج در آب عمیق و L_0 طول موج در آب عمیق است. بر اساس این پارامتر، می‌توان انواع شکست موج را توصیف کرد. با توجه به جدول (۳-۱) و محاسبات انجام شده، امواج منطقه مورد مطالعه، از نوع ریزشی می‌باشد.

جدول (۳-۱): نوع شکست موج با استفاده از عدد ایربارن، [۱۵]

نوع شکست	عدد ایربارن	شیب بستر
شکست ریزشی	$\xi_0 < 0.4$	شیب بسیار ملایم
شکست فروریز	$0.5 < \xi_0 < 3.3$	شیب تند
شکست خیزشی	$3.3 < \xi_0$	شیب بسیار تند

۳-۴. جریان‌های ساحلی

جریان‌ها پدیده‌های فعال و تعیین‌کننده در نواحی ساحلی هستند. جریان‌های ساحلی می‌توانند ناشی از باد، جزر و مد و شکست امواج و یا در اثر زلزله (تسونامی) باشند. در سواحل باز، جریان‌هایی که توسط شکست امواج مایل ایجاد می‌شوند، عامل اصلی حاکم بر انتقال رسوبات محسوب می‌شوند. اگرچه بادهای قوی نیز می‌توانند منجر به ایجاد جریان‌های قوی در ناحیه شکست شوند. تلاطم ناشی از شکست موج، باعث به حرکت درآمدن و معلق شدن رسوبات (به دو شکل بار بستر و بار معلق) در ناحیه شکست می‌شود. سپس جریان‌های ساحلی در جهت موازی و عمود بر ساحل، این رسوبات را با خود منتقل

می‌کنند. به طور کلی نرخ انتقال رسوب، به طور مستقیم، وابسته به سرعت جریان است. تغییر سرعت جریان منجر به تغییر در غلظت رسوبات معلق می‌شود. افزایش سرعت جریان منجر به افزایش غلظت رسوب و در نتیجه فرسایش بستر می‌شود. هم‌چنین کاهش سرعت، باعث کم شدن غلظت و رسوب‌گذاری در بستر می‌شود؛ بنابراین، تغییرات سرعت جریان، در درازمدت منجر به تغییر شکل خط ساحلی و نیمرخ ساحلی می‌شود. این مجموعه جریان‌ها علاوه بر پتانسیل انتقال رسوب، بر الگوی پخش آلودگی در نواحی نزدیک ساحل نیز مؤثرند [۳۴].

۳-۴-۱. جریان‌های عمود بر ساحل ۲۵

برخلاف امواج موازی ساحل، تغییرات سرعت برای جریان عمود بر ساحل در راستای عمق، قابل صرف‌نظر کردن نیست. در راستای عمود بر ساحل تحت تأثیر امواج، انتقال جرم صورت می‌گیرد و این انتقال بین پای موج و تاج آن نیز انجام می‌شود. از آنجایی که انتقال جرم خالص در راستای عمود بر خط ساحلی رخ نمی‌دهد، انتقال جرم ناشی از حرکت موج، موجب تعادل میان بخش‌های بالایی (تاج) و زیرین (پای) موج و ایجاد جریان زیرسطحی می‌گردد [۳۴].

۳-۴-۲. جریان‌های موازی با ساحل ۲۶

جریان موازی ساحل یک فرایند جغرافیایی است که باعث انتقال رسوب در امتداد ساحل می‌شود. عامل اصلی ایجاد جریان‌های کرانه‌ای یا موازی ساحل، شکست امواج و تأثیر بادهای محلی است. شدیدترین مقدار این نوع جریان‌ها در بخش داخلی ناحیه شکست رخ می‌دهد و با دور شدن از ساحل به سرعت از شدت این نوع جریان‌ها کاسته می‌شود. بیشترین سرعت این جریان‌ها در خط شکست موج بوده و

25 Cross shore current

26 Long shore current

سرعت آن‌ها به طور متوسط $0/3$ متر بر ثانیه است. اگرچه سرعت این جریان‌ها کم است اما نقش مهمی در انتقال رسوبات دارند [۳۴].

۳-۵. مطالعات رسوب

۳-۵-۱. لزوم مطالعه رسوبات ساحلی در تعیین حالت‌های ساحل

یکی از پارامترهای مهم در زمینه بررسی انواع ساحل بررسی پارامتر سرعت ته نشینی رسوبات و در پی آن تعیین برخی ویژگی‌های رسوب از جمله d_{50} در اعماق مختلف ساحل می‌باشد. در راستای نیل به این هدف مطالعه ماهیت طبیعی و ویژگی‌های رسوبات و بررسی سایر ویژگی‌های رسوبات متناسب با روند افزایش یا کاهش شیب عمومی ساحل ضروری به نظر می‌رسد. رسوبات ساحل دارای تفاوت‌های بسیاری از لحاظ شکل، جنس، اندازه، ترکیب و دیگر ویژگی‌هایشان می‌باشند.

رسوبات براساس دسته‌بندی‌های مختلف و بر اساس ویژگی‌های متفاوتی از جمله اندازه قطرشان طبقه‌بندی می‌شوند که با توجه به مقادیر استاندارد مطرح شده در این دسته‌بندی‌ها در یکی از دسته‌های گراولی، قلوه سنگی، ماسه دانه درشت، ماسه دانه ریز، سیلیت و رس قرار می‌گیرند.

۳-۵-۲. ماهیت طبیعی رسوبات ساحلی

در مطالعات مورفولوژی سواحل رسوبات اهمیت بسیار زیادی دارند زیرا در بردارنده عوارض مورفودینامیکی خاص محیط تشکیل خود هستند و متخصصین با شناسایی ساختارهای ثبت‌شده در آن‌ها پی به نیروهایی خواهند برد که در ایجاد چنین پدیده‌هایی مؤثر واقع بوده‌اند. برای مثال می‌توان به رپل‌های موجی و یا جریان حاصل از عملکرد امواج و جریانات ساحلی بر روی رسوبات ناحیه کم‌عمق دریایی و یا تپه‌های ماسه‌ای اشاره نمود که این اشکال مؤید شدت، میزان انرژی و تداوم عملکرد نیروهای هیدرودینامیکی و نیروی حاصل از وزش باد می‌باشند (شکل ۳-۶).



شکل (۳-۶). موجک‌های ماسه‌ای (راست) و تپه‌های ماسه‌ای (چپ)، [۸]

هم‌چنین بررسی میزان رسوبات توأم با در نظر گرفتن دانه‌بندی آنها در راستای عمود بر ساحل و در جهت موازی با آن در تجزیه و تحلیل و بازسازی نوع جریانات ساحلی و دینامیک حرکت و انتقال رسوبات بسیار کارآمد است. ارزیابی میزان حساسیت سواحل در مقابل آسیب‌دیدگی و فرسایش حاصل از عوامل فرساینده بستگی تام به شناخت دقیق رسوبات از نظر جنس و ترکیب شیمیایی و دانه‌بندی آنها دارد که معمولاً در مطالعات مهندسی سواحل آنها را مورد بررسی قرار می‌دهند. عموماً رسوبات در مناطق ساحلی بسته به نوع محیط‌های رسوبی موجود تحت رخساره‌های رسوبی مختلف تشکیل می‌شوند که عمده‌ترین آنها شامل محیط‌های دریائی، دریاچه‌ای، حاشیه‌ای از نوع مرداب و لاگون‌های کناره‌ای رودخانه‌ای، دلتائی و گاهی جلگه‌های سیلابی است. هر یک از انواع محیط‌های یادشده دارای ترکیب رسوب‌شناختی خاص خود می‌باشد که پراکنش آنها در محدوده ساحلی چهره مورفولوژیک ویژه‌ای را ایجاد می‌نماید. در مطالعات مهندسی سواحل آشنائی با خصوصیات بافتی رسوبات جهت پی بردن به ماهیت نیروهای فرساینده امری الزامی است. مهم‌ترین خصوصیات بافتی رسوبات شامل:

❖ اندازه دانه‌های رسوبی ۲۷

در بررسی‌های میدانی اندازه ذرات رسوبی را در راستای پروفیل‌های عمود بر ساحل از ابتدای ناحیه

ساحل ۲۸ تا انتهای ناحیه شکست امواج ۲۹ مورد بررسی قرار می‌دهند. همچنین توزیع ذرات رسوبی در پهنه ساحلی و حجم رسوبات انباشت‌یافته در امتداد نیمرخ مذکور مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بررسی جوشدگی ذرات رسوبی و نحوه توزیع دانه‌ها در حجم رسوبات ساحلی که معمولاً توسط ارزیابی ضرایب رسوب‌شناختی نظیر انحراف معیار، کج‌شدگی، تیزشدگی از روی داده‌های عددی یا گرافیکی صورت می‌پذیرد. در تعبیر و تفسیر محیط رسوبگذاری و نیروهای هیدرودینامیکی مؤثر در انتقال رسوبات و سطح انرژی حوضه کاربرد دارد.

۳-۵-۳. انتقال رسوبات توسط موج و جریان‌ها

رسوبات علاوه بر اینکه توسط نیروی حاصل از امواج بر روی مناطق ساحلی تولید می‌شوند بلکه توسط رودخانه‌ها به محیط دریا آورده می‌شوند و پس از انتقال توسط جریان‌ها توزیع شده و یک خط ساحلی رسوبی مشخص را ایجاد می‌کنند و یا با انتقال به نواحی دور از ساحل در آنجا نهشت می‌یابند. فرآیند حمل و انتقال رسوبات توسط فرآیندهای متعددی که شامل انتقال مواد رسوبی عمود بر راستای ساحل ۳۰ و به موازات ساحل ۳۱ صورت می‌گیرد.

❖ انتقال رسوب عمود بر ساحل

انتقال رسوب عمود بر ساحل شامل انتقال رسوب به سمت فراساحل و انتقال رسوب به سمت ساحل می‌باشد. انتقال رسوب به سمت فراساحل در مواقع طوفانی رخ می‌دهد و مقیاس زمانی آن نسبت به انتقال رسوب به سمت ساحل کوچکتر است. انتقال رسوب به سمت فراساحل نسبت به حرکت رسوبات به سمت ساحل از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد زیرا ممکن است باعث فرسایش زمین‌های ساحلی و خسارت به سازه‌ها گردد. انتقال رسوب عمود بر ساحل به عوامل بسیاری بستگی دارد که از مهمترین آنها می‌توان به چگونگی پاسخ ساحل و تپه‌های ساحلی به طوفان‌ها و نیز تفاوت نیمرخ ساحلی موجود

28 Coastal area

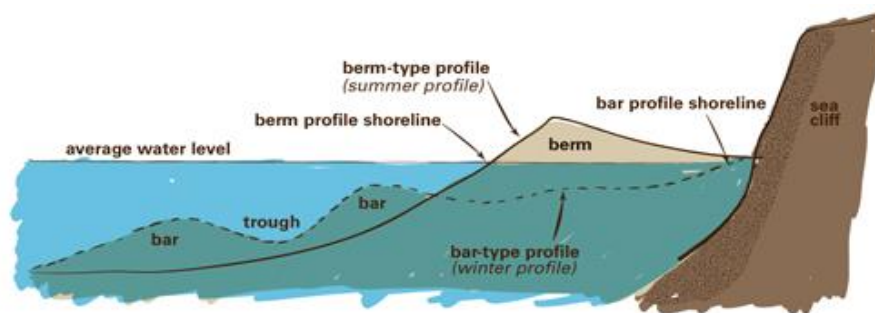
29 Surfzone

30 Cross shore sediment transport

31 Longshore sediment transport

با نیمرخ ساحلی متناظر با رژیم موج اشاره نمود. نیمرخ ساحلی نسبت به شرایط محیطی موجود (امواج و تراز آب) از خود واکنش داده و چنانچه این شرایط محیطی ثابت و پایدار باشند، نیمرخ ساحلی نسبتاً ثابت باقی می‌ماند (نیمرخ تعادلی).

معمولاً تغییرات نیمرخ ساحلی یک دوره آرامش - طوفانی دارد. امواج بلند و تیز که معمولاً در فصل پاییز و زمستان (و گاهی بهار) رخ می‌دهند موجب انتقال مواد رسوبی از ساحل به سمت دریا (فراساحل) می‌شوند. این پدیده باعث فرسایش منطقه نزدیک ساحل شده و یک یا چند پشته ماسه‌ای نزدیک محل شکست امواج تشکیل می‌شود. امواج کوچکتر (با تیزی کمتر) که در تابستان (دوره آرامش) رخ می‌دهند، مواد رسوبی را به سمت ساحل باز می‌گردانند. در این دوره ارتفاع پشته‌های رسوبی کم شده و عرض ساحل افزایش می‌یابد (شکل ۳-۷). تغییرات محل رسوبات و موقعیت خط ساحلی در اثر تغییرات دوره‌ای آرامش - طوفانی می‌تواند چشم‌گیر باشد اما تغییرات خالص در طول چندین سال ممکن است ناچیز باشد. اگر نیمرخ میانگین ساحلی در جهت عمود بر ساحل تغییر نکند، به اصطلاح ساحل در تعادل دینامیکی قرار دارد.



شکل (۳-۷). نمایش نیمرخ‌های زمستانی و تابستانی، [۸]

اگر در شرایط محیطی موجود نیمرخ ساحلی به نیمرخ تعادلی نزدیک باشد، حرکت رسوبات در جهت عمود بر ساحل کم است. چنانچه شرایط محیطی تغییر کند، انتظار می‌رود میزان انتقال رسوب عمود بر ساحل زیاد شود تا با شرایط جدید به تعادل برسد. بنابراین نرخ انتقال رسوب عمود بر ساحل متناسب با اختلاف بین نیمرخ ساحلی موجود و نیمرخ تعادلی ناشی از شرایط جدید است. بنابراین، انتقال رسوب عمود بر ساحل بلافاصله پس از تغییر شرایط محیطی زیاد بوده و سپس به تدریج کمتر می‌شود. به

همین ترتیب تغییرات خط ساحلی به سرعت شروع شده و سپس سرعت آن کم می‌شود. نمونه‌ای از انتقال رسوب عمود بر ساحل، نیمرخ‌های تابستانه و زمستانه است که با تغییر شرایط آب و هوایی در تابستان و زمستان رخ می‌دهد.

به صورت سرانگشتی و تقریبی می‌توان از معیار زیر برای تعیین چگونگی انتقال رسوب عمود بر ساحل استفاده نمود:

اگر $H / w_f T = 1$ انتقال رسوب عمود بر ساحل وجود ندارد (نیمرخ تعادلی).

اگر $H / w_f T > 1$ حرکت رسوبات به سمت فراساحل و تشکیل پشته رسوبی (فرسایش نیمرخ ساحلی)

اگر $H / w_f T < 1$ حرکت رسوبات به سمت ساحل و تشکیل برم ساحلی (رسوبگذاری در نیمرخ ساحلی)

که در این روابط

$$w_f = \text{سرعت سقوط متناظر با قطر متوسط ذرات رسوبی } (D_{n50})$$

$$H = \text{ارتفاع موج}$$

$$T = \text{زمان تناوب موج}$$

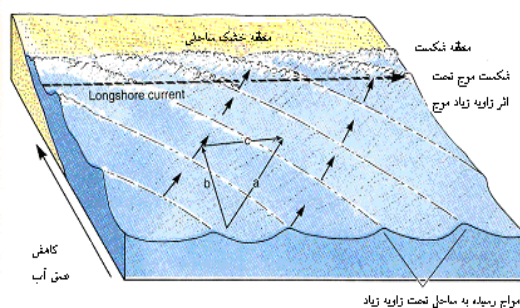
اگر رسوب‌هایی که به سمت فراساحل حرکت کرده‌اند، بازنگردند، ساحل دچار فرسایش شده و نیمرخ ساحلی به سمت ساحل حرکت می‌کند.

❖ انتقال رسوب موازی با ساحل

نوع دیگری از انتقال رسوب که ممکن است در یک ناحیه ساحلی رخ دهد، انتقال رسوب در جهت موازی ساحل یا انتقال رسوب کرانه‌ای است. وقتی امواج به طور اریب به ساحل نزدیک می‌شوند، انتقال کرانه‌ای رسوبات صورت می‌گیرد. عامل انتقال کرانه‌ای رسوبات جریان‌های موازی ساحل می‌باشند (شکل ۳-۸). مهم‌ترین عامل ایجاد کننده این جریان‌ها، شار مومنوم ناشی از امواج در حال شکست (تنش‌های

تشعشی) ۳۲ است که باعث ایجاد جریان‌های موازی ساحل و عمود بر ساحل می‌شود. جریان‌های کرانه‌ای ناشی از موج، به موازات ساحل بوده و در ناحیه شکست موج دارای بیشترین مقدار می‌باشند که با حرکت به سمت دریا به سرعت از مقدار آنها کاسته می‌شود. به طور میانگین مقدار جریان‌های موازی ساحل حدود $0/3$ متر بر ثانیه می‌باشد اما مقادیر بیش از ۱ متر بر ثانیه هم ممکن است هنگام طوفان رخ دهد. توزیع این جریان‌ها در عمق تقریباً ثابت است.

تعیین نرخ و چگونگی انتقال کرانه‌ای رسوبات از مهمترین جنبه‌های طراحی ساحلی می‌باشد. تخمین دقیق فرآیند معلق شدن رسوبات و آرایه یک رابطه کلی برای سرعت‌های کرانه‌ای امواج و نیز مقدار مصالح انتقال داده شده به دلیل عوامل مختلف تاثیرگذار بر این پدیده، بسیار مشکل می‌باشد. با این حال در مراجع مختلف روابطی برای محاسبه انتقال رسوب کرانه‌ای آرایه شده است. حتی اگر این روابط به خوبی واسنجی شده باشد، به دلیل اینکه پارامترهای دخیل در انتقال رسوب از جایی به جای دیگر متفاوت هستند، نمی‌توان با اطمینان از آنها استفاده نمود و بنابراین می‌بایست از مدل‌های عددی نیز استفاده کرد. برای استفاده از مدل‌های عددی باید اندازه‌گیری‌های دقیق از موج، جریان، پارامترهای رسوب و ساحل موجود باشد. حتی نرخ انتقال رسوب محاسبه شده با مدل‌های عددی نیز دارای عدم قطعیت زیادی است. به دلیل مشکل بودن برآورد نرخ انتقال رسوب، محاسبات به صورت احجام توده‌ای ۳۳ انجام می‌شود. در محاسبات توده‌ای انتقال رسوب، نرخ کلی انتقال رسوب کرانه‌ای به پارامترهای ساده قابل اندازه‌گیری ساحل و امواج مرتبط می‌شود.



شکل (۳-۸). چگونگی شکل‌گیری جریان‌های موازی با ساحل در ناحیه کم‌ژرفای دریائی، [۸]

32 Radiational stress
33 Bulk volume

۳-۶. آشنایی با مورفودینامیک سواحل

تقابل نیروهای محیطی حاصل از دریا با ساحل موجب شکل‌گیری شواهدی بر روی رسوبات پوشاننده ساحلی می‌گردد که اصطلاحاً به آن عوارض مورفودینامیکی می‌گویند. در حقیقت ارزیابی این ساختار شکلی و دینامیکی حاصل از امواج، جریان‌ها و نوسانات سطح تراز آب دریا بازگوکننده رفتار هیدرودینامیکی دریا بوده و به توسط آن می‌توان حوادث گذشته حوضه‌های رسوبی را بازسازی نمود. از جمله این عوارض می‌توان به تراس‌های فرسایشی^{۳۴}، خلیج‌های فرسایشی^{۳۵}، تاجک‌های ماسه‌ای^{۳۶}، موجک‌های ماسه‌ای^{۳۷} و بارهای رسوبی^{۳۸} اشاره کرد [۹].

۳-۶-۱. بررسی تأثیر امواج در ایجاد عوارض مورفودینامیکی

در اثر برخورد امواج با خط ساحلی، انرژی رسیده از موج بر ساحل موجب ایجاد تغییراتی در مقاطع و بخش‌های مختلف ساحلی می‌شود. این تغییرات ممکن است در مدت زمان کوتاه روی دهد، که به تغییرات فصلی حاصل از امواج و یا طوفان‌های احتمالی رخ داده در سواحل بستگی دارد و یا اینکه تغییرات طولانی مدت باشد که به تعادل بین ماسه‌های ورودی یا برداشته شده از سواحل بستگی دارد. به طور کلی، نیروهای هیدرودینامیکی دریا در دوره‌های زمانی کوتاه سبب تغییر شکل مورفولوژی سواحل می‌شوند اما تغییرات طولانی مدت که به صورت نوسانات سطح تراز آب دریا هستند به علت ماهیت طولانی مدت خود با سرعت کوتاه‌تر و تدریجاً بر روی مناطق ساحلی ظاهر می‌شوند و ساختار ریخت‌شناسی ساحل را دچار تغییر می‌کنند.

34 Erosion terraces
35 Erosion bay
36 Beach cusps
37 Ripple marks
38 Sediment bars

۳-۶-۲. مهم ترین عوارض مورفودینامیک

در نحوه شکل گیری عوارض مورفودینامیک باید به توپوگرافی سطح ساحل، جنس رسوبات، اثر حاصل از جزر و مد جریان ها و امواج و مراحل تأثیرپذیری ساحل از نیروهای حاصل از این پدیده ها در دینامیک انتقال رسوب توجه شود. در روند تشکیل عارضه مورفودینامیکی در سواحل به پارامترهای هندسی ساحل نیز باید توجه شود یعنی مورفودینامیک ساحل در واقع حاصل از اندرکنش امواج (جریان و جزرومد) با توپوگرافی ساحل است که طی مراحل تأثیر این عوامل هیدرودینامیکی تغییر ساختاری در توپوگرافی سواحل در نواحی مختلف آن مشاهده می شود. حاصل این فعل و انفعالات در خطوط ساحلی عوارض گوناگونی است که در زیر یک دسته بندی از آن ها ارائه شده است.

❖ تپه های ماسه ای ساحلی: تپه های ماسه ای در سواحل استان گلستان، به خصوص بر روی زبانه ماسه ای شبه جزیره میانکاله گسترده شده اند. دلیل توسعه آن ها در این نقاط وجود ذخیره بالای رسوبی، عدم چسبندگی بین رسوبات و رژیم باد در منطقه است. حداکثر ارتفاع این تپه ها ۳ متر که غالباً توسط پوشش گیاهی تثبیت شده اند. جهت توسعه آن ها تقریباً به موازات ساحل و از نظر مورفودینامیکی تپه ها به شکل عرضی ۳۹ گسترش یافته اند (شکل ۳-۹). اهمیت آن ها به عنوان ساختارهای حفاظت طبیعی در مقابل عوامل فرساینده مناطق ساحلی بسیار بالاست و می توان با توسعه و سازمان دهی و حتی با ایجاد آن ها با استفاده از روش های مصنوعی شرایط مناسبی را برای حفاظت ساحلی پدید آورد. به طور کلی ۷۶٪ سواحل جنوبی دریای خزر فاقد تپه های ماسه ای است که می توان دلیل آن را شرایط فیزیکی و ساختار کلی سواحل و همچنین توسعه فعالیت های انسانی و تخریب و ویرانی آن ها دانست. در واقع این تپه ها رشته های ساحلی و یا به قولی طناب ساحلی زیر آبی قدیمی دریای کاسپین است که در هنگام پیش روی دریا به سمت ساحل، رسوبات را از قسمت های عمیق تر دریا به سمت ساحل می آورد که در هنگام پس روی شروع به عقب کشیدن آن ها می کند و از آنجایی که

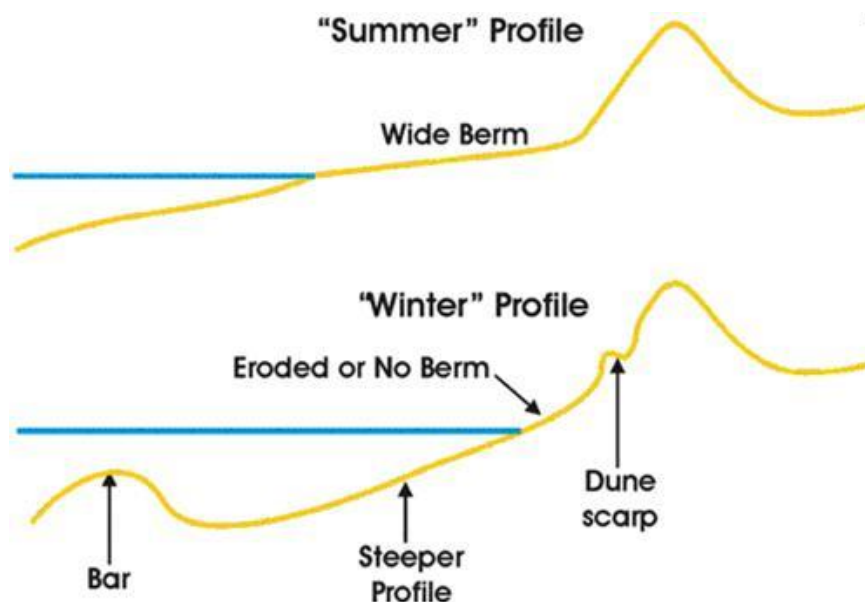
نیروی بازگشت قدرت کمتری دارند بیشتر رسوبات را بر جا گذاشته و بخش خشکی به صورت تپه‌های موازی ساحل به جای می‌مانند. نزدیکی این تپه‌ها به ساحل بیانگر آسیب‌پذیری کمتر در مقابل نوسانات آب دریا است.



شکل (۳-۹). تپه ماسه‌ای در ساحل میانکاله

❖ نهشت و برداشت ۴۰: مقطع ساحلی در اثر انرژی رسیده از طوفان و امواج سهمگین فصول سرد سال ارتفاع آن‌ها کاهش می‌یابد زیرا امواج طوفانی باعث شست‌وشوی مواد ساحلی، ماسه‌ی و سنگی به سمت دریا می‌شوند و این پدیده یک سطح مقعر را در ساحل ایجاد می‌کند؛ اما در آب‌وهوای آرام‌تر امواج آرام‌تر که دارای قدرت جریان رو به ساحل قوی‌تری نسبت به جریان‌های روبه‌دریا هستند باعث انتقال ماسه و سنگ‌ها به سمت ساحل و بازسازی ساحل می‌شوند و در این دوره زمانی ساحل شکل محدبی به خود می‌گیرد. شکل (۳-۱۰) تناوب بین پدیده‌ی فرسایش در ساحل به‌وسیله‌ی امواج طوفانی و رسوب‌گذاری به‌وسیله‌ی امواج دوره‌ی آرام را نهشت و برداشت می‌گویند؛ که متضمن حرکت رسوبات به‌طرف ساحل یا فراساحل است. پدیده نهشت و برداشت در مدت‌زمانی چندروزه

تا چندساله اتفاق می‌افتد. از آنجاییکه معمولاً در فصل سرد سال، امواج طوفانی هستند. به همین علت کندن را مربوط به فصل سرد سال و پر کردن را مربوط به فصل گرم می‌دانند.



شکل (۳-۱۰). نیمرخ عرضی ساحل برای حالت تابستانه و زمستانه، [۸]

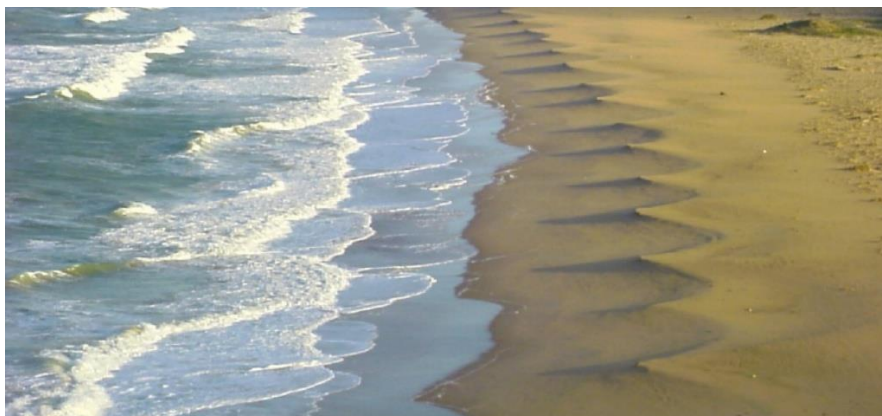
❖ سواحل بالا و پایین ۴۱: در یک ساحل با ترکیب ماسه‌ی دانه‌درشت و دانه‌ریز نیروهای حاصل از جریان‌های رو به ساحل و جریان‌های برگشتی موجب جور کردن دانه‌های رسوبی در جهت یک نیمرخ عمود بر ساحل می‌شود. بدین گونه یک مقطع با شیب تندتر شامل رسوبات ماسه‌ی دانه‌درشت در بالای ساحل و یک ناحیه با شیب ملایم‌تر باعث تجمع رسوبات ماسه‌ی دانه‌ریز تر در پایین ساحل می‌شود. معمولاً سواحل بالا از رسوبات دانه‌درشت تر پوشیده می‌شود و به‌خوبی از سواحل پایین قابل تشخیص است. این حالت در اثر کنش امواج طوفانی و عکس‌العمل گوناگون رسوبات دانه‌درشت تر به سمت بالای ساحل و رسوب‌گذاری در آنجا ایجاد شود؛ اما جریان‌های روبه‌دريا رسوبات ماسه‌ی ریزدانه‌تر را به خط ساحلی برمی‌گرداند و درنهایت سواحل بالا و پایین شکل می‌گیرد.

❖ چینه‌بندی ساحلی ۴۲: در دوره‌های طوفانی رسوبات دانه‌ریز در حجم رسوبات کنار دریا به‌وسیله‌ی مؤلفه‌ی روبه‌دریا، جریان‌های ساحلی به‌طرف دریا حرکت می‌کنند و ذرات درشت‌تر مثل رسوبات ماسه‌ی دانه‌درشت در ساحل بر جای خود می‌مانند اما در دوره‌ی آرامش با افزایش قدرت مؤلفه رو به ساحل جریان‌های رسوبات دانه‌ریز به سمت ساحل مشاهده می‌شود؛ که در این دوره زمانی ترمیم ساحل روی می‌دهد. در هر لایه رسوبات مشخص‌کننده فرآیند ساحلی که در گذشته حاکم بوده است. معمولاً در دوره‌های طوفانی جریان‌های قوی روبه‌دریا رسوبات دانه‌ریز را با خود به اعماق دریا برده و در مواقعی که حوضه واجد آرامش است جریان‌های رو به ساحل رسوبات را مجدداً به ناحیه خشک ساحلی برمی‌گرداند؛ بنابراین ضخامت مشخصی از رسوبات ترادف و تناوب رسوبات دانه‌درشت و دانه‌ریز مؤید دوره‌های نوسانی پدیده‌های هیدرودینامیکی دریا به‌صورت دوره‌های طوفانی و امواج مرده است.

❖ شاخک‌های ساحلی ۴۳: سطح سواحل به بخش‌های سنگی، شبه سنگی، ماسه‌ی دانه‌درشت، ماسه‌ی دانه‌ریز و ترکیبی از آن‌ها تقسیم می‌شود. امواج در برخورد با این سواحل در پهنه‌ی صورت ساحل آثار موجی شکل بر جای می‌گذارد که به آن قله‌های ساحلی گفته می‌شود. این شکل‌ها از مشخصات فیزیکی موج، شیب ساحل و جنس دانه‌بندی رسوبات کنار ساحل پیروی می‌کند. از شکل دماغه‌ها می‌توان به حدود شیب منطقه، کم‌ژرفای ساحلی، پهنای ناحیه شکست و میزان انرژی هیدرودینامیکی امواج رسیده به ساحل پی برد. بسته به فاصله نقطه شکست از خط ساحلی این دماغه‌ها اشکال مختلفی دارند (شکل ۳-۱۱).

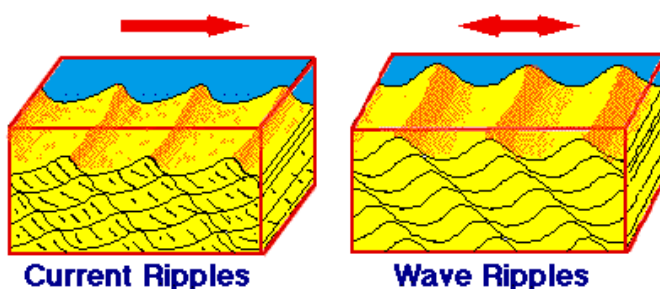
42 beach stratification

43 beach cusp



شکل (۳-۱۱). شاخک‌های ساحلی

❖ موج‌نقش ماسه‌ای ۴۴: در ناحیه داغ آب ساحلی که جنس رسوبات در صورت ساحل ماسه‌ی دانه‌ریز باشد (به همراه سیلت و رس) و انرژی هیدرودینامیک پیوسته و با شدت کم باشد تپه پشته ماسه‌های ریز به‌طور منظم به دنبال هم به وجود می‌آید که به آن‌ها ریپل مارک می‌گویند؛ و حاصل جریان رو به ساحل و پشت به ساحل یکسان است؛ و حضور آن مؤید شیب کم توپوگرافی بستر و کم انرژی بودن حوضه است. موج‌نقش‌های که در اثر فعل‌وانفعالات موج است شکل متقارنی دارند. موج‌نقش‌های نامتقارن در آب‌های کم‌عمق و تحت اثر موج شکسته شده در امتداد ساحل دیده می‌شوند که نشان‌دهنده جریان ضعیف در منطقه است (شکل ۳-۱۲ و ۳-۱۳).



شکل (۳-۱۲). موج‌نقش‌ها در سواحل، [۸]



شکل (۳-۱۳). ریپل مارک جریان‌ی در ساحل میانکاله

❖ تراس‌های فرسایشی: در سواحل ماسه‌ای، در اثر تغییر سطح آب دریا، تغییر رژیم هیدرولوژی دریا در فصول سرد و گرم سال تراس‌های رسوبی حاصل از فرسایش در کنار خطوط ساحلی مشاهده می‌شوند که با توجه به تغییر ارتفاع و فاصله آن از خط ساحلی در طی فصل گرم و سرد سال چگونگی برداشت یا آورد رسوبی از دریا مشخص می‌شود و تراذف و کنار هم قرارگیری ریتم‌های گوناگون رسوبی در کنار هم در تراس‌های رسوبی مؤید نوع رژیم غالب در سواحل موردنظر در دوره زمانی مذکور می‌باشند. در شکل (۳-۱۴) اندازه ارتفاع تراس‌ها نشان‌دهنده میزان فرسایش‌پذیری منطقه است [۱۵].



شکل (۳-۱۴). تراس‌های فرسایشی در ساحل غربی میانکاله

❖ بارهای رسوبی: در کنار ساحل در ناحیه صورت ساحل یا خاکریز ساحل در فصولی که توسعه جریان‌های ساحلی مشاهده می‌شود بارهای انباشته‌شده که از ریتم جریان‌های رسیده به ساحل پیروی می‌کند، در کنار ساحل حضور دارند (شکل ۳-۱۵). این قله‌های کوچک رسوبی حاوی رسوبات دانه‌درشت در قله و رسوبات دانه‌ریز در پای قله هستند؛ که نشان‌دهنده توسعه جریان‌های فراساحلی و شست‌وشوی رسوبات دانه‌ریز به سمت دریا است. بارهای رسوبی از اشکال مورفودینامیکی هستند که در ناحیه خشک ساحلی و بستر کم‌عمق دریایی در اثر فعالیت‌های هیدرودینامیکی ایجاد می‌شوند. میزان فرآوری رسوبی، مشخصات امواج، توپوگرافی بستر و نوع دانه‌بندی رسوبات در توسعه بارهای رسوبی نقش به‌سزایی را دارا می‌باشند. در سواحل جنوبی دریای کاسپین گسترش و تراکم بارهای رسوبی نواحی مختلف متفاوت است. به‌طور اعم امواج آرام دریا در زمان نسبتاً متداوم رسوبات را از ناحیه دور از ساحل با خود به حرکت درآورده و در ناحیه خشک ساحلی رسوب‌گذاری می‌نمایند. تداوم این فرآیند موجب نهشت ضخامت قابل‌توجهی از رسوبات در این قسمت از ساحل می‌گردد و در اثر آن بارهای رسوبی در ناحیه خاکریز ساحلی تشکیل می‌شود. در زمان وقوع طوفان‌های دریایی امواج قوی با برخورد با این عوارض، رسوبات را تحت فرسایش قرار می‌دهند و در جریان‌های برگشتی به سمت دریا آن‌ها را به نواحی عمیق‌تری حمل می‌کنند و در آنجا نهشت می‌نمایند و بدین ترتیب بارهای رسوبی دور از ساحل را تشکیل می‌دهند.



شکل (۳-۱۵). سد ماسه‌ای ایجاد شده در دهانه رودخانه در ایستگاه نور

۳-۶-۳. شیب ساحل

شیب ساحل به علت اختلاف در مقدار رسوبی که از خیزاب^{۴۵} و فروآب^{۴۶} موج به جا می‌ماند ایجاد می‌شود، در حالت کلی می‌توان گفت شیب ساحل بر اثر اختلافات در مقدار و جهت انتقال رسوبات خالص در عرض ساحل ایجاد می‌شود.

وجه ساحل^{۴۷} وقتی حالت تعادل دینامیکی دارد که شیب ساحل قادر به جبران پایین‌روی^{۴۸} ضعیف موج و در نتیجه قادر به جبران مقدار رسوبی که از سمت خشکی حرکت داده شده است، باشد.

در سواحلی با سنگ‌های آواری درشت دانه ایجاد شیب ساحل تا حدی نتیجه نفوذ سریع بالاروی^{۴۹} موج به سمت ساحل است و پایین‌روی فوق‌العاده ضعیف است.

در مقابل در سواحل ماسه‌ای اثر گرانشی ضعیفی در یک شیب ملایم در وجه ساحل برای جبران اختلاف اندک نرخ انتقال رسوب بین ناحیه برساحل^{۵۰} و دور از ساحل^{۵۱} کافی است. شیب ساحل تابعی از اندازه دانه است، البته این ارتباط در صورتی صحت دارد که امواج قادر به انتقال همه رسوبات با هر اندازه‌ای باشند.

درجه جورشدگی^{۵۲} رسوبات نیز با شیب ساحل ارتباط مستقیم دارد به طوری‌که جورشدگی مناسب رسوب منجر به ایجاد ساحلی با شیب بیشتر می‌شود.

شیب ساحل با تیزی موج نیز رابطه‌ای معکوس دارد، به طوری‌که شیب ساحل با افزایش تیزی موج کاهش می‌یابد، زیرا سرعت بالاروی در حالتی که ارتفاع موج زیاد شده انتقال رسوب را به بالای شیب آسان‌تر می‌کند، بنابراین تغییرات در تیزی موج می‌تواند علتی برای تغییرات شیب ساحل با زمان باشد.

^{۴۵} set up

^{۴۶} set down

^{۴۷} beach face

^{۴۸} backrush

^{۴۹} uprush

^{۵۰} onshore zone

^{۵۱} offshore zone

^{۵۲} sorting degree

سانامورا (۱۹۸۹) با استفاده از داده‌هایی که از سه ساحل مختلف جهان به دست آورده بود، نتیجه گرفت

که شیب ساحل به وسیله منحنی زیر نشان داده می‌شود.

$$\tan \beta = \frac{0.12}{(H_b / g^{0.5} D^{0.5} T)^{0.5}} = 0.25 \left(\frac{D}{H_b} \right) \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1.5}$$

رابطه (۲-۳)

بگنلد^{۵۳} و اینمن^{۵۴} (۱۹۶۳) در مورد تعادل در شیب ساحل فرضیه‌های انتقال رسوب خالص در حالت تعادل و یک نیروی متعادل کننده که از سرعت‌های نامتقارن در ناحیه دور از ساحل و بر ساحل ایجاد می‌شوند به یک معادله به صورت زیر یافتند:

$$\tan \beta = \tan \phi \frac{1 - E_r}{1 + E_r}$$

شیب در حالت تعادل

رابطه (۳-۳)

که E_r نرخ پراکنایی انرژی جریان از ناحیه دور از ساحل به ناحیه بر ساحل است.

مقدار E_r به وسیله رابطه زیر تقریب زده می‌شود:

$$E_r = \frac{U_{m.ex}^3}{U_{m.in}^3}$$

رابطه (۴-۳)

که $U_{m.in}$ و $U_{m.ex}$ به ترتیب ماکزیمم مولفه‌های سرعت در ناحیه دور از ساحل و ناحیه بر ساحل هستند. جاگو^{۵۵} و هاردیستی^{۵۶} (۱۹۸۴) شیب ساحل را با جملاتی در شکلی از جریان نامتقارن و یا نرخ انتقال $i_{net}(r)$ بیان کردند.

$$\tan \beta = \tan \phi \frac{V_r^2 - i_{net}(r)}{V_r^2 + i_{net}(r)}$$

رابطه (۵-۳)

برای:

$$i_{net}(r) = \frac{i_{net.in}}{i_{net.ex}}$$

رابطه (۶-۳)

^{۵۳} Bagnold

^{۵۴} Inman

^{۵۵} Jago

^{۵۶} Hardisty

که $i_{net.in}$ و $i_{net.ex}$ به ترتیب جرم انتقال رسوب را به سمت ساحل و به سمت دریا در هر موج بیان می‌کنند. نرخ سرعت و U_{min} و U_{max} به ترتیب نرخ ماکزیمم سرعت در ناحیه بر ساحل و دور از ساحل هستند در حالت تعادل $i_{net}(r) = 1$ و شیب ساحل به وسیله رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tan \beta = \tan \phi \frac{V_r^2 - 1}{V_r^2 + 1} \quad \text{رابطه (۷-۳)}$$

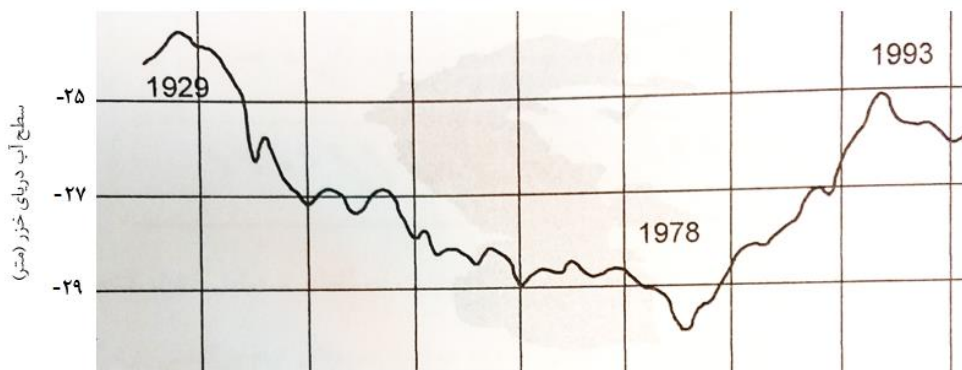
هماهنگی جالبی بین پیشگویی‌های مدل و شیب‌های اندازه‌گیری شده در سواحل دیده شده است. سانامورا (۱۹۸۴) بر اساس مطالعات تجربی پیشرفته شیب صورت ساحل را به صورت آزمایشگاهی به صورت زیر به دست آورد:

$$\tan \beta = \frac{0.013}{\left(H_b / T \sqrt{gd_{50}}\right)^{0.5}} + 0.15 \quad \text{رابطه (۸-۳) آزمایشگاهی}$$

که در این روابط H_b و T ارتفاع شکست موج و پرپود موج هستند و d_{50} اندازه دانه و g شتاب گرانشی می‌باشد.

۳-۶-۴. ماهیت نوسانی سطح تراز آب دریای خزر

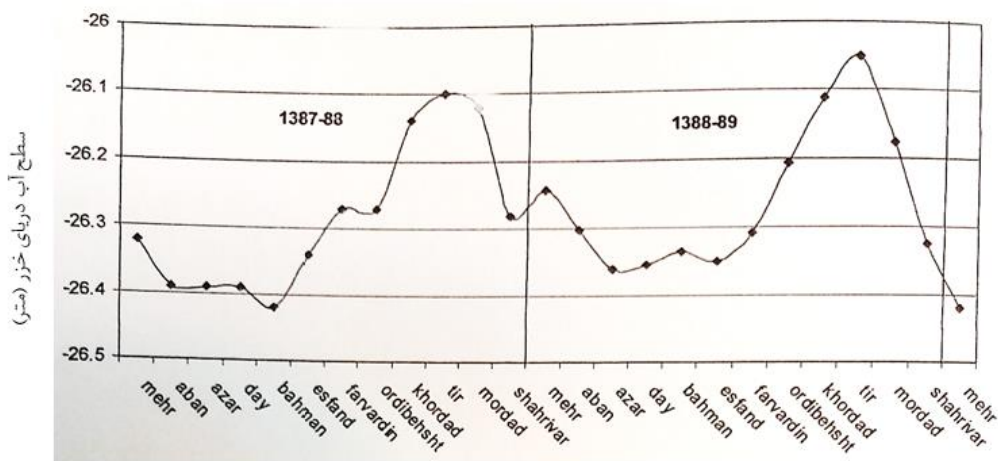
نوسانات سطح تراز آب دریای خزر یکی از مهم‌ترین وقایع طبیعی در این حوضه قلمداد می‌گردد. بررسی آمار تراز آب دریای خزر از سال ۱۹۰۰ میلادی تاکنون نمایانگر تغییرات سطح تراز آب دریا به صورت فازهای پس‌روی و پیش‌روی می‌باشد؛ به‌طوری‌که با شرایط ثابت سطح تراز آب دریا از سال ۱۹۰۰ تا سال ۱۹۳۰ با کد ارتفاعی ۲۵- متر به یک‌باره سطح آب دریا دچار پس‌روی عمده شده و این روند با کاهش تدریجی اما با سرعت زیاد تا سال ۱۹۷۷ میلادی به‌میزان تقریبی ۳ متر کاهش ادامه می‌یابد (شکل ۳-۱۶).



زمان (سال)

شکل (۳-۱۶). بازسازی ریتم نوسانات سطح تراز آب دریای خزر در ۱۹۹۳-۱۹۲۹، [۳۴]

اما با یک اتفاق جدید سطح دریا مجددا شروع به افزایش نموده و با سرعت تند سطح آن طی ۲۶ سال یعنی از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۴ میلادی ۲/۵ متر بالا می‌آید. سیر نوسانات پس از تاریخ یاد شده با یک حالت نسبتا ثابت و کاهنده تا سال ۲۰۰۷ دنبال شده و پس از آن مجددا شرایط پس‌روی دریا فراهم شده و سطح تراز آب دریای خزر تنزل می‌یابد تا جایی که در خرداد ماه سال ۱۳۸۹ شمسی مقارن با ژوئن سال ۲۰۱۰ میلادی سطح تراز آب دریا ۵۰ سانتی‌متر کاهش می‌یابد (شکل ۳-۱۷). این حادثه مطابق گزارش دانشمندان روسیه و ایران طی ۵۰ سال اخیر بی‌سابقه بوده است.



زمان (ماه)

شکل (۳-۱۷). تغییرات سریع و کوتاه مدت سطح تراز آب دریای خزر در اثر گرمایش زمین، [۳۴]

۳-۶-۵. انواع سواحل

سواحل به صورت کلی به سه دسته‌ی سواحل با موج چیره^{۵۷}، با جزرومد غالب^{۵۸} و سواحل میان دو حالت^{۵۹} تقسیم‌بندی می‌شوند. در سواحل جنوبی کشور ایران حاکمیت جزرومد دیده می‌شود اما سواحل شمالی از نوع موج چیره هستند. در سواحل موج چیره، پدیده‌های مورفولوژیکی با شرایط موج محلی و ویژگی‌های رسوبات کنترل می‌شوند. این سواحل معمولاً سواحلی منظم با کرانه‌هایی بدون کشند و ماسه‌ای‌اند که امواج در این سواحل تا حد زیادی در توپوگرافی وجه ساحل تأثیر گذارند (شکل ۳-۱۸). رایت و شرت^{۶۰} در سال ۱۹۸۴ به طبقه بندی سواحل مختلف جهان با توجه به شرایط هیدرودینامیکی^{۶۱} حاکم بر ساحل و سرعت ته‌نشینی ذرات رسوبی در هر بخش ساحل پرداختند و سواحل موج غالب را در سه حالت اصلی دسته بندی کردند که شامل سواحل، حالت‌های پراکنا (استهلاکی^{۶۲})، بازتابان (انعکاسی^{۶۳}) و میانه (بینابینی^{۶۴}) می‌باشد.

این سواحل با استفاده از سه پارامتر Ω (پارامتر تعیین نوع ساحل)، K^* (پارامتر پایداری ساحل) و K^{\ddagger} (پارامتر تشابه شکست) از هم متمایز می‌شوند.

این شاخص‌ها توسط فرمول‌های زیر تعریف می‌شوند.

$$\Omega = \frac{H_b}{W_s T} \quad (10-3)$$

$$k^* = \frac{H_b^2}{g T^2 d_{50}} \quad (11-3)$$

⁵⁷ Wave dominated

⁵⁸ Tidal dominated

⁵⁹ Intermediate

⁶⁰ Wright and Short

⁶¹ Hydrodynamic Condition

⁶² Dissipative

⁶³ Reflective

⁶⁴ Intermediate

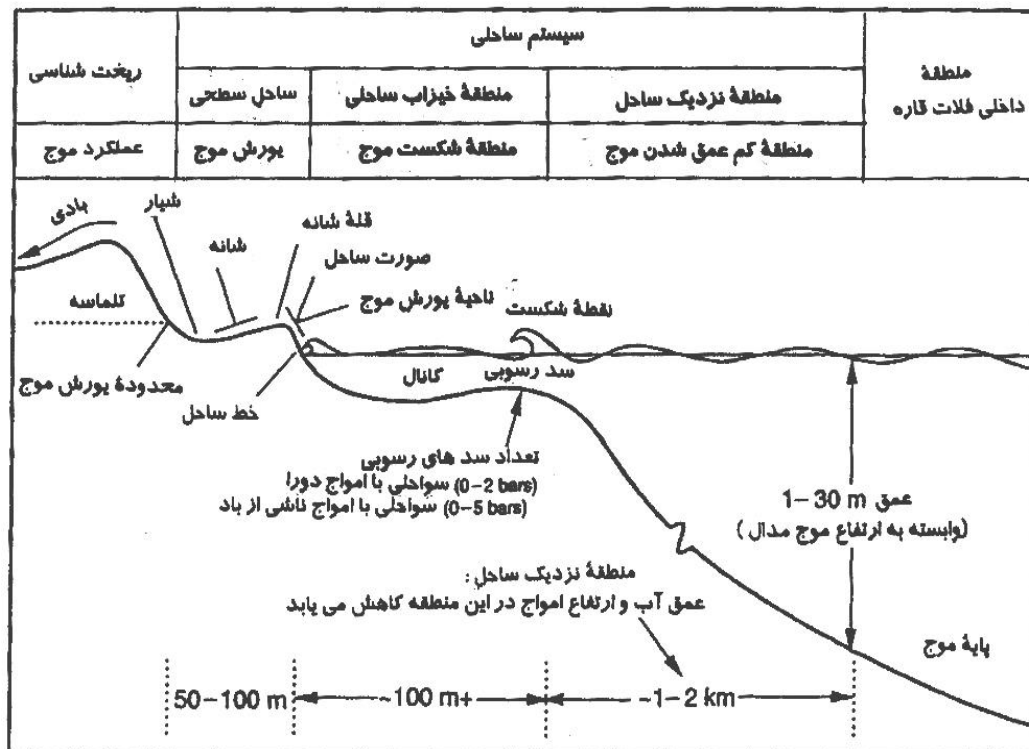
⁶⁵ Beach Stability

⁶⁶ Surf Similarity index

$$\xi = \frac{\tan \beta}{(H_0/L_0)^{0.5}}$$

(۱۲-۳)

که در آنها H_b ارتفاع شکست موج، H_0 ارتفاع موج در آب عمیق، T پریود امواج، L_0 طول موج آب عمیق، $\tan \beta$ شیب ساحل، d_{50} قطر متوسط ذرات رسوب و W_s سرعت سقوط ذرات می باشد.



شکل (۳-۱۸). طرح تعریف شده از یک سیستم ساحلی موج چیره با انرژی بالا، [۷۳]

❖ سواحل انعکاسی

سواحل را در صورتی انعکاسی می نامیم که روابط $K^* < 3.5$ ، $\xi > 1$ و $\Omega < 1$ برقرار باشند. این سواحل مستلزم وجود امواج کوتاه با پریود بلند و ماسه های درشت است. این نوع سواحل نسبتاً پایدارند. ویژگی این سواحل، پشته (کم عمق) شدن موج در ناحیه ی نزدیک ساحل و ادامه ی آن تا خط ساحلی است. سپس امواج با شیرجه زدن و یا ریزش در طول پایه وجه ساحل می شکنند. جریان قوی حاصل در سواش به سمت بالای ساحل یورش می برد و در ترکیب با رسوبات درشت، وجه تند ساحل را می سازد. معمولاً ساحل با کاسپ های ساحلی و یا سکوی خاکی کامل پوشیده می شود. شکل (۳-۱۹) نمونه ای از سواحل انعکاسی را نشان می دهد.



شکل (۳-۱۹). سواحلی با حالت بازتابان، [۷۲]

مورفولوژی ساحل انعکاسی نتیجه‌ای از دو فاکتور است:

نخست آنکه در نقطه شکست در سمت دریا، امواج با ژرفای کاهنده موجب انتقال رسوب ماسه‌های درشت دانه به سمت ساحل می‌شود. در این وضعیت رسوبات در منطقه خیزاب ساحلی ذخیره نمی‌شود بلکه در منطقه یورش موج جمع می‌شوند، در نتیجه در یک محل نسبتاً عمیق در منطقه نزدیک ساحل شیب اندکی ایجاد می‌شود که در ناحیه شیب‌دارتر کفموج این شیب خاتمه می‌یابد.

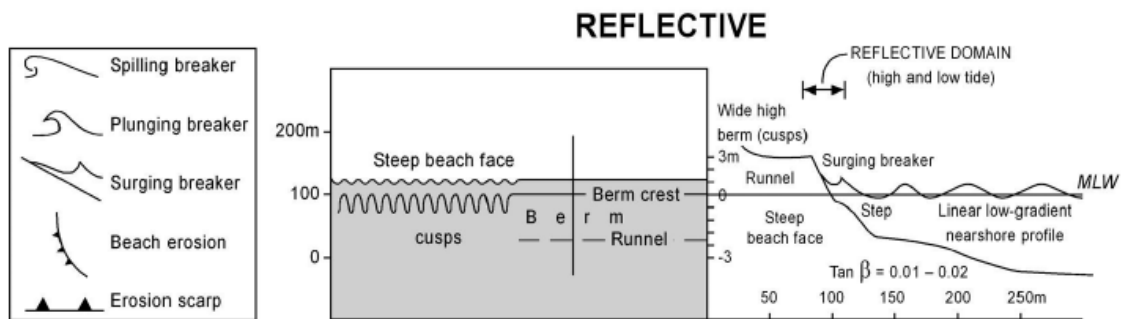
هم‌چنین به این دلیل که شکست امواج در پایه رخسار ساحل روی می‌دهد این امواج انرژی باقی‌مانده‌شان را در منطقه کفموج مصرف می‌کنند. قسمت بیشتر انرژی موج به هنگام بالاروی موج موجب ایجاد شیبی نسبی در رخسار ساحل می‌شود و یک اضافه شست قوی ایجاد می‌کند که به سمت عقب (به سمت دریا) مانند یک موج بازتابی، بازتابیده می‌شود، بنابراین این ساحل را ساحل بازتابان می‌نامند.

در سواحل بازتابان ذخیره رسوبی طوری ایجاد می‌شود که شیب آشکاری بین رسوبات درشت دانه و رسوبات ریزدانه‌تر ناحیه نزدیک ساحل به وجود می‌آید.

سواحل بازتابان نسبتاً پایدارند، این امر به دلایل زیر نسبت داده می‌شود:

اولاً، سواحل بازتابان به دلیل امواج حاکم بر آنها انرژی کمتری برای تغییر ساحل دارند، بنابراین هنگامی که توسط امواج بلندتر در معرض فرسایش قرار می‌گیرند فقط در یک جهت تغییر می‌کنند.

دوماً، امواج معمولاً در این سواحل کوتاهند و این امر باعث تغییرات اندکی می‌شود. سوماً، هنگامی که رخسار ساحل فرسایش یافته است رسوب معمولاً به صورت یک سد رسوبی یا پادگانه در پایه ساحل از جایی که رسوبات سریعاً به سمت ناحیه بر ساحل برمی‌گردند ذخیره می‌شوند. در این سواحل در طول دوره‌ای که امواج بلند حاکم‌اند و یا در دوره کشند کامل این امر موجب اضافه شست ۶۷ و افت ناگهانی ۶۸ رخسار ساحل می‌شود. شکل (۳-۲۰) ویژگی‌های ذکر شده سواحل انعکاسی را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲۰). ویژگی‌های سواحل انعکاسی، [۷۲]

❖ سواحل بینابینی (میانی)

سواحل میانه سواحلی هستند که در حد وسط بین سواحل پراکنا با انرژی بالا و سواحل انعکاسی با انرژی پایین‌تر قرار دارند. تغییرات مکانی امواج در این سواحل بیشتر و شیب منطقه نزدیک ساحل تندتر است، در نتیجه امواج تابشی هنگامی که تیزی نسبتاً کمی دارند، تمایل به شکستن در قالب امواج با شکست ریزشی ۶۹ یا آشفته دارند. دو ویژگی این ساحل‌ها را متمایز می‌کند؛ ناحیه‌ی شکست و چرخش باریکه گردابی، که همیشه با توپوگرافی هماهنگ ساحل همراه است.

این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می‌شوند که روابط $10 \leq K^* \leq 20$ ، $2 \leq \Omega \leq 5$ و $0.23 \leq \xi \leq 1$ برقرار باشد. به طوری که در این سواحل امواجی مرتفع تا متوسط (۰/۵ تا ۲/۵ متر) بر ساحل حاکم‌اند و پوشش

۶۷ over wash

۶۸ slumping

۶۹ Plunging

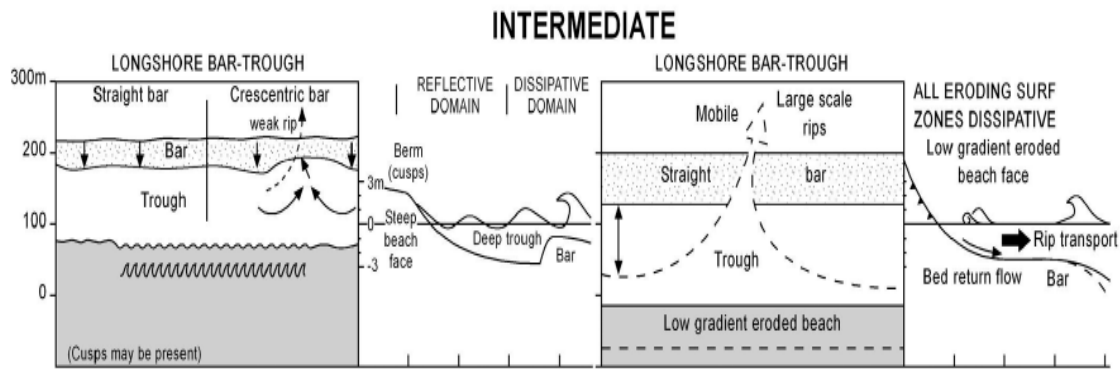
رسوبی ساحل متشکل از ماسه ریز تا متوسط است. از ویژگی‌های برجسته سواحل میانه، دارا بودن منطقه‌ی ساحلی افقی تکه تکه با سدهای رسوبی و جریان‌های تند برگشتی است (شکل ۳-۲۱).



شکل (۳-۲۱). یک سیستم ساحلی با انرژی متوسط و کانال‌های جریان برگشتی در سواحل شرق استرالیا، [۷۲]

در سواحل میانه دینامیک امواج و جریان‌ات از نوع مکانی (در امتداد ساحل) و بیشتر زمانی است، چنانکه جاگیری سدهای رسوبی متناوب و جریان‌ات بازگشتی طوری است که گردش سلولی جریان بازگشتی را برای تغییرات متوالی کرانه راستا در ریخت شناسی بخش عرضی ساحل (سدهای رسوبی کم عمق یا ناهای عمیق) ایجاد می‌کنند و دینامیک امواج و جریان‌ات به صورتی (موج‌های مدی در ناحیه بر ساحل و جریان‌ات بازگشتی ضربانی به سمت دریا) است که خط ساحلی موزونی ایجاد می‌کنند، در نتیجه تحرک پذیری خط ساحلی در سواحل میانه به یک حد ماکزیمم می‌رسد.

سواحل میانه ذاتاً ناپایدارند، که این امر در حرکت سدهای رسوبی آشکار می‌شود و هم‌چنین سدهای رسوبی تغییر مکان می‌دهند و مجدداً در منطقه خیزاب ساحلی و کرانه شکل می‌گیرند در این صورت نوع ساحل تغییر خواهد کرد. شکل (۳-۲۲) ویژگی‌های ذکر شده سواحل بینابینی را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲۲). ویژگی های سواحل بینابینی، [۷۲]

❖ سواحل استهلاکی

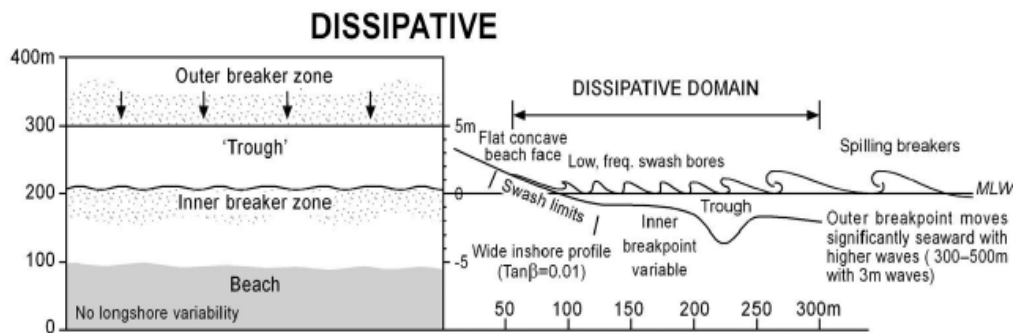
سواحل پراکنا بیانگر بیشترین انرژی در ساحل اند و جزء آن دسته از سواحلی هستند که به طور دوره‌ای در معرض امواج بلند قرار می‌گیرند و در واقع جزء سواحل سطحی‌اند. این سواحل، در محدوده‌ی موج های بلند و ترجیحا با پریود کوتاه موج رخ داده و می‌بایستی ماسه ریز باشند. این سواحل در محیط‌های باز دریایی که گاهی پریودهای بلند و امواج طوفانی کوتاه، ساحلی با پشته‌های رسوبی متعدد ایجاد می‌کنند، نسبتا معمول است. از مشخصات بارز این سواحل، منطقه‌ی خیزاب ساحلی (منطقه شکست موج) گسترده با شیب اندک است. این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می‌شوند که روابط $\Omega > 6$ ، $\xi < 0.23$ و $K^* > 20$ برقرار باشند.

این سواحل با شیب طولانی عریض در وجه ساحلی و ناحیه شکست و تشکیل دو یا چند پشته رسوبی موازی ساحل در عرض ناحیه شکست مشخص می‌شوند. آنها گاهی در سواحلی باز با موج دورا با پریود ($T > 10s$) در نواحی با ماسه‌های ریز یا خیلی ریز با امواجی به ارتفاع ($> 2m$) دیده می‌شوند (شکل ۳-۲۳).



شکل (۳-۲۳). تصویر یک ساحل پراکنا در جنوب کالیفرنیا در مجاورت سن دیگو، [۷۲]

شکل (۳-۲۴) ویژگی‌های ذکر شده سواحل استهلاکی را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲۴). ویژگی‌های سواحل استهلاکی، [۷۲]

کمترین تغییر در خط ساحلی در این نوع سواحل دیده می‌شود و مورفولوژی نسبتاً پایداری دارند. این مسئله به عوامل زیر نسبت داده می‌شود:

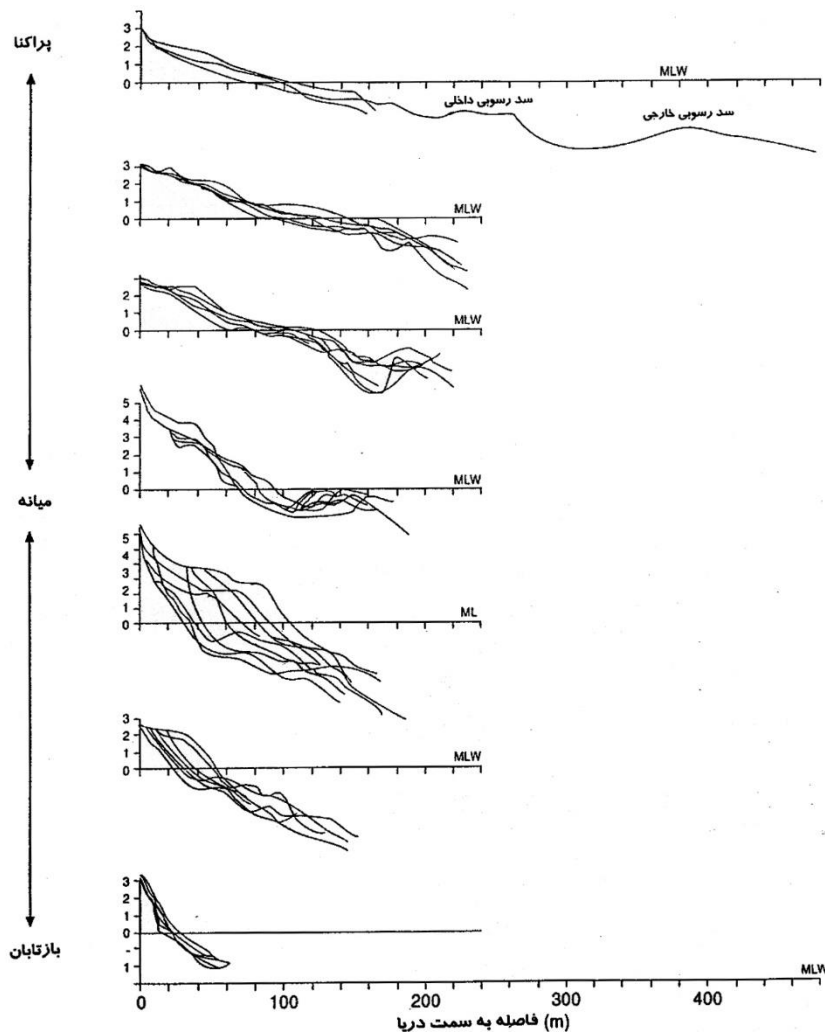
نخست اینکه، در این نوع سواحل در مقایسه با سواحل شیبدار نیم‌رخ با شیب اندک ایجاد می‌شود که نسبت به تغییر حساسیت کمتری دارند (شکل ۳-۲۵).

دوماً، دریاکنار در مکانی واقع شده که تحت تأثیر امواج طوفانی بلند واقع می‌شود به طوری که بررسی‌های میدانی متوالی فرسایش کمی را در طول طوفان‌ها نشان می‌دهد.

سوماً، در ساحلی که دارای امواج مرتفع‌تر است این امواج به سمت دریا در شیب ملایم نزدیک ساحل

می‌شکنند، بنابراین پراکنایی انرژی‌شان در سرتاسر منطقه وسیع‌تر خیزاب ساحلی روی می‌دهد. چهارم، پراکنش همراه با افزایش ارتفاع خیزاب موج که متناسب به حجم بیشتری از آب است افزایش می‌یابد.

سرانجام کمترین تغییرات در امتداد کرانه وجود دارد. به عبارتی، تغییرات زمانی و مکانی کرانه راستا در این حالت اندک است در این حالت پراکنش موج در عرض ساحل به دنبال تطبیق با موارد فوق شیب را کاهش می‌دهد و جریان‌های بازگشتی بستر را ضعیف می‌کند. چنین شرایطی نتیجه وضعیتی است که توپوگرافی ساحل در یک حالت تعادل با نیروهای هیدرودینامیکی به آن می‌رسد و مورفولوژی در این حالت نسبتاً پایدار می‌شود.



شکل (۳-۲۵). نیمرخ بخش عرضی و تغییر ساحل در حالت‌های مختلف پراکنا تا بازتابان در هفت ساحل مختلف، [۷۲]

۳-۷. مشخصات عمومی زبان میانکاله

۳-۷-۱. مقدمه

شبه جزیره میانکاله با داشتن ویژگی طبیعی منحصر به فرد یکی از با ارزش ترین زیستگاه های مجموعه گیاهی و حیوانی در ایران و جهان محسوب می گردد که هم دارای تالاب بسیار وسیع و هم محیط خشکی بوده و به صورت شبه جزیره ای در دل دریای خزر در حاشیه جنوب شرقی پیش رفته است. در نوع خود از نظر محل پرورش موجودات زنده گیاهی و جانوری بی نظیر می باشد.

پناهگاه حیات وحش میانکاله در تاریخ ۱۷ ژانویه ۱۹۷۷ توسط هیات بین المللی بخش انسان و محیط زیست سازمان ملل به عنوان یکی از مناطق بین المللی جهت حفظ محیط زیست تشخیص داده شد و به لحاظ داشتن گونه های مهم، جزو اکوسیستم های جهانی جهت مطالعات و تحقیقات علمی و حفظ طبیعت برای خدمت به بشریت تخصیص داده شده است و هم چنین پناهگاه حیات وحش میانکاله به عنوان یکی از نمونه های استاندارد جهانی جهت سنجش و بررسی تأثیر متقابل انسان بر محیط زیست می تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

۳-۷-۲. حدود و موقعیت جغرافیایی

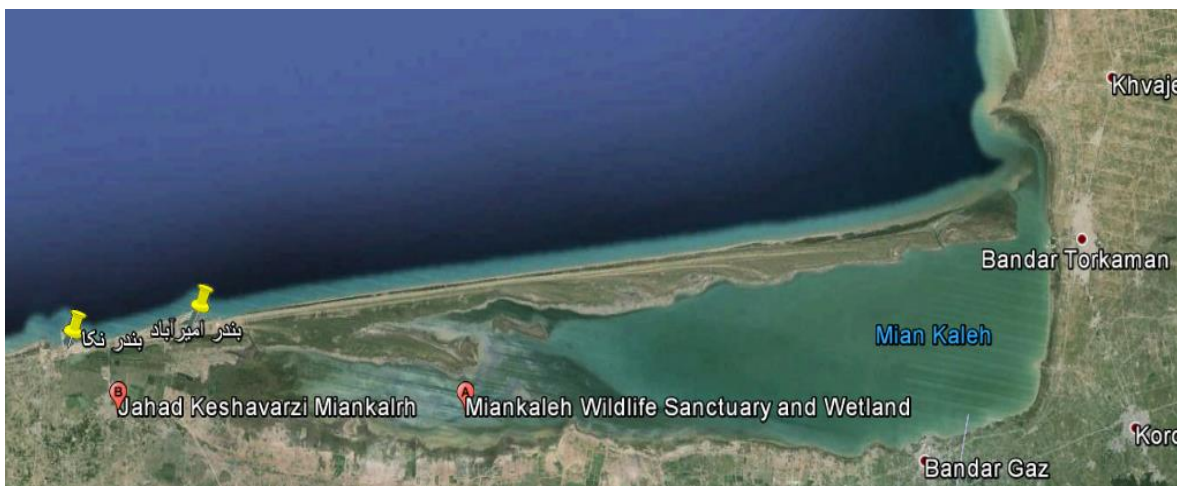
منطقه مورد مطالعه (زبان میانکاله) و نواحی اطراف آن که در منتهی الیه جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد، بزرگ ترین و طویل ترین زبانه ماسه ای سواحل شمال است. این زبانه بخشی از اراضی آبخور رودخانه نکا (در بخش شرقی توسکارود) و رودخانه های محدوده بهشهر و در محدوده دشت نکا بهشهر - بندر گز، در استان مازندران می باشد.

این زیانه از نظر تقسیمات کشوری، در محدوده شهرستان های بهشهر، نکا، بندر گز و غرب رودخانه قره سو واقع شده است که به واسطه راه دسترسی ساری - نکا - بهشهر - گلوگاه با مرکز استان مازندران در ارتباط خواهد بود.

میانکاله از شمال با دریای خزر، از جنوب با خلیج باریک و کم عمق گرگان و از غرب با تالاب زاغمرز و مرداب لپوی بهشهر همسایه است. در شرق آن آشوراده قرار دارد که با تنگه باریکی به طول کمتر از دو کیلومتر همسایه بندر ترکمن است.

این زبانه که دارای خاکی از نوع ماسه می باشد، به صورت نوار باریکی به طول بیش از ۶۰ کیلومتر و عرض متغیر بین ۱/۲ تا ۳/۶ کیلومتر، محدوده پژوهش را در برمی گیرد (شکل ۳-۲۶).

طول بیش از ۶۰ و پهنای متغیر ۱/۲ الی ۳/۶ کیلومتر در امتداد خط ساحلی، مورفولوژی خاصی به منطقه مورد مطالعه بخشیده است. رفتار پیچیده دینامیک دریا با تولید امواج در منطقه شکست موج بر راستای نقل و انتقال ماسه در خط ساحلی، تأثیر مستقیمی دارد. در این پژوهش تلاش شده است که با شبیه سازی الگوهای مختلف برخورد امواج با خط ساحلی و تأثیر آن بر چگونگی حمل و نقل ماسه در امتداد خط ساحلی، نحوه تأثیر فرایندهای دریایی بر شکل خط ساحلی تحلیل شود.



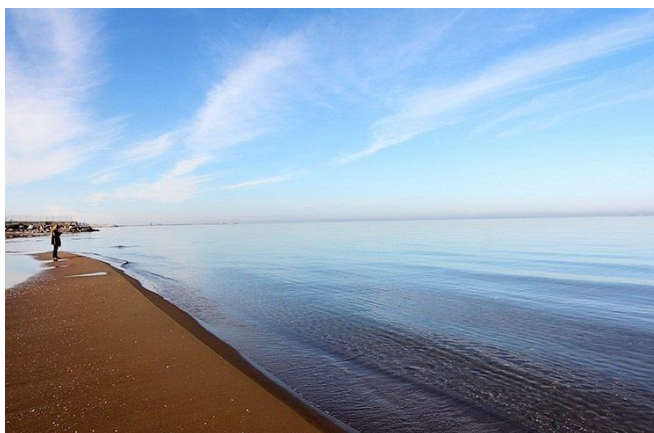
شکل (۳-۲۶). نمای کلی زبانه میانکاله

۳-۷-۳. مساحت

به لحاظ کاهش و افزایش سطح آب منطقه در ایام سنوات مختلف گذشته مساحت آبی و خشکی منطقه مورد مطالعه ثابت و یکسان نبوده، بلکه با افزایش سطح آب دریای خزر مساحت زبانه میانکاله کاهش می یابد. بر اساس نقشه توپوگرافی سازمان جغرافیایی ارتش به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ زبانه میانکاله با مساحت ۱۲۲۲۸ هکتار و محیط ۱۲۸ کیلومتر اندازه گیری شده است [۱۹].

۳-۷-۴. ارتفاع

زبانہ میانکالہ بہ لحاظ فقدان عوارض طبیعی از قبیل کوه، دشت، آبراهہ و... بہ صورت شنزارہای ساحلی (جدید) و شنزارہای تثبیت شدہ (قدیم) سراسر محیط خشکی را اشغال نمودہ است. بلندترین نقطہ ارتفاعی آن ۲۴- متر (۲۴ متر پایین تر از آبہای آزاد) و کم ارتفاع ترین نقطہ آن ۲۹- متر در محل جزیرہ آشورادہ واقع است. بہ عبارت دیگر اختلاف ارتفاع بین بلندترین نقطہ ارتفاعی و کم ترین نقطہ ارتفاعی ۵ متر است؛ بنابراین هیچ عارضہ طبیعی از نظر پستی و بلندی در محیط خشکی وجود نداشتہ و بستر خشکی را رسوبات دریایی و تپہہای کوتاہ شنی ساحلی (۲ تا ۳ متر) احاطہ نمودہ است. بر اساس این ارتفاع سنجی، ارتفاع منطقہ مذکور حدودا ۲۵ متر پایین تر از سطح آبہای آزاد جہان می باشد و ہم چنین هیچ عارضہ شیب داری در منطقہ مورد مطالعہ مشاہدہ نمی شود [۱۹]. شکل (۳-۲۷) نمونہای از سواحل ماسہای زبانہ میانکالہ را نشان می دہد.



شکل (۳-۲۷). سواحل ماسہای زبانہ میانکالہ

۳-۸. بررسی خصوصیات رسوبی منطقہ مورد مطالعہ

۳-۸-۱. منابع رسوبی

وجود منابع رسوبی در منطقہ بہ گونه ای کہ تامین کنندہ بودجہ رسوبی قابل حمل بہ وسیلہ عوامل ہیدرودینامیکی موجود در محل باشد، نخستین شرط فعال بودن محدودہ مورد مطالعہ از دیدگاہ انتقال

رسوب می‌باشد. مسلم است که عدم وجود چنین منابعی حتی در صورت وجود پتانسیل کافی برای حمل رسوب، شرایط فعالی از دیدگاه انتقال رسوب به وجود نمی‌آورد. بطور کلی دو منبع عمده رسوبی شامل رودخانه‌ها و مسیل‌های ورودی و نیز رسوبات موجود در بستر، تأمین کننده رسوبات در روند انتقال در هر محدوده‌ای می‌باشند. مشخصات هر یک از این منابع در محدوده پیشنهادی بندر در زیر ارائه شده است:

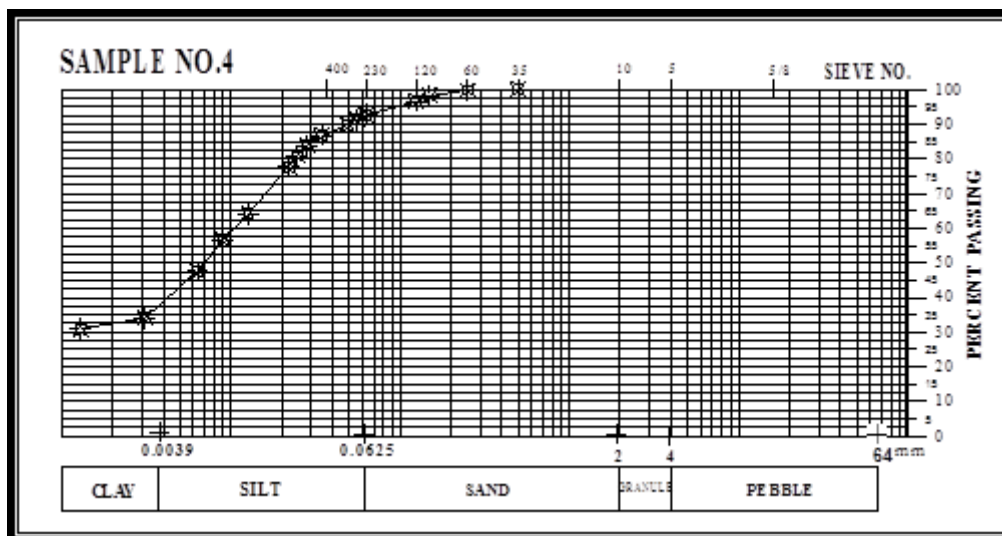
❖ رسوبات رودخانه‌ای

شرق ساحل شبه جزیره میانکاله، فاقد هرگونه رودخانه‌ای است. در کرانه ساحلی غرب این منطقه، به ترتیب فاصله از زبانه، رودهای نکا، تجن، تالار و بابل قرار دارند. رود نکا در فاصله ۲۴ کیلومتری، رود تجن در فاصله ۳۳ کیلومتری، تالار در ۶۸ کیلومتری و رود بابل در فاصله ۷۶ کیلومتری از زبانه میانکاله قرار دارند.

مهم‌ترین رودخانه موجود در محدوده مطالعاتی نکارود است. این رود یکی از رودخانه‌های مهم و پرآب استان مازندران و از رودخانه‌های مستقل حوزه آبریز دریای خزر است که آب‌های منطقه‌ای وسیع از این استان و شهرستان‌های گرگان، کردکوی و بهشهر را جمع‌آوری و به دریا می‌رساند. به‌طور میانگین سالانه حدود ۱۱۰ میلیون مترمکعب، آب از طریق این رودخانه وارد دریای خزر می‌شود.

طول رودخانه نکا حدود ۱۸۰ کیلومتر بوده و وسعت حوزه آبریز آن بالغ بر ۳۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه دارای آب دائمی است. حوزه آبریز رودخانه تماماً در مناطق مرتفع کوهستانی قرار داشته و صفحات شمالی آن مستور از روئیدنی و درختان جنگلی است. بستر رودخانه تا قبل از پل نکا سنگی بوده و به‌علت کم مقاومت بودن طبقات رسوبی آن در برابر فرسایش، دره رودخانه باز و رسوبات آن به سهولت در جلگه‌ها پخش می‌شود.

رسوبات حاصل از این رودخانه با توجه به تشکیلات زمین‌شناسی موجود در مسیر آن که عمدتاً تشکیلات سیلتی - ماسه‌ای فرسایش‌پذیر می‌باشد، از چنین بافتی تبعیت می‌کنند (شکل ۳-۲۸).

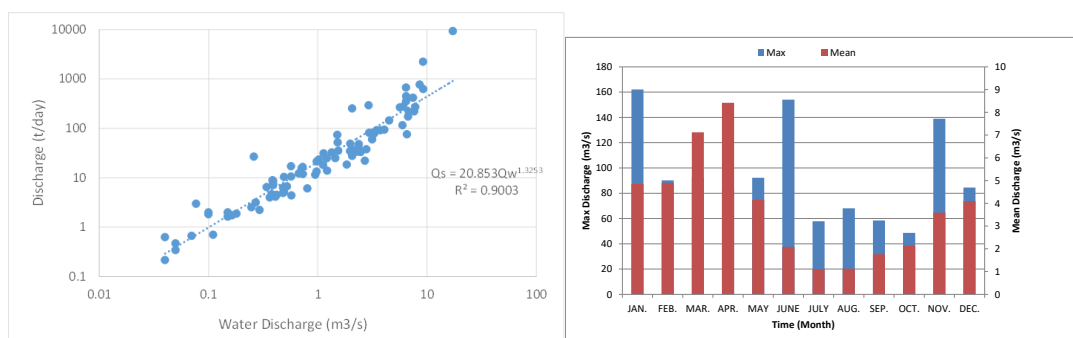


شکل (۳-۲۹). منحنی دانه‌بندی رسوبات مقابل مصب نکارود، [۳۵]

در قسمت الف شکل (۳-۲۹) تغییرات ماهیانه میانگین دبی نکارود، بر اساس آمار موجود از سال ۱۹۴۹ تا ۲۰۰۸ ارائه شده است. همان‌طور که در این تصویر مشاهده می‌شود، بیش‌ترین مقدار دبی نکارود در ماه آوریل با مقدار میانگین ۱۵۲/۵ مترمکعب بر ثانیه اتفاق می‌افتد. حداکثر دبی مشاهداتی در این آمار برابر با ۱۶۰/۱ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از نمونه‌های رسوب برداشت شده از رودخانه نکا طی سال‌های ۱۳۲۸-۱۳۸۷ رابطه شدت رسوب‌دهی بر حسب شدت جریان آب به صورت زیر تعیین گردیده است. منحنی دبی-دبی رسوبی نکارود نیز در قسمت ب شکل (۳-۲۹) نمایش داده شده است.

$$Q_s = 20.853 Q_w^{1.3253}$$



ب. میانگین ماهیانه و حداکثر دبی نکارود

الف. منحنی دبی-دبی رسوبی نکارود

شکل (۳-۲۹). میانگین ماهیانه، حداکثر دبی و منحنی دبی-دبی رسوبی نکارود، [۳۵]

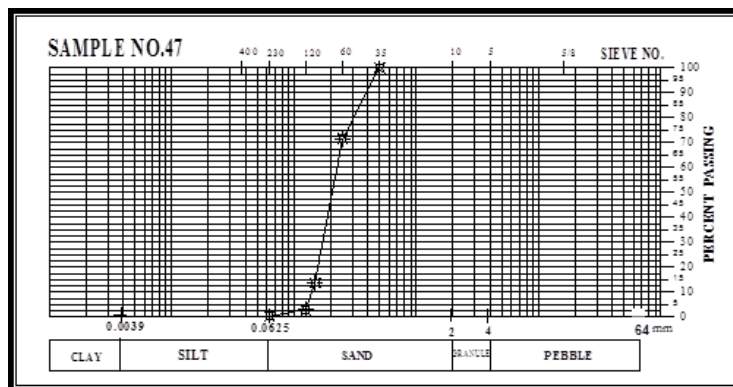
در روابط فوق Q_s و Q_w به ترتیب دبی آب بر حسب مترمکعب بر ثانیه و دبی رسوب بر حسب تن در روز است.

با معلوم شدن رابطه دبی رسوب و دبی آب و در دست داشتن دبی روزانه رودخانه در سال‌های ۱۳۲۸ تا ۱۳۸۷ اقدام به محاسبه میزان رسوب معلق رودخانه گردیده است. محاسبات نشان می‌دهد که میانگین دراز مدت رسوب معلق رودخانه نکا در محل ایستگاه رسوب‌سنجی نوذرآباد حدود ۴۰۴۰۰ تن در سال است.

همان‌طور که در قسمت‌های پیشین اشاره گردید، نزدیک‌ترین رودخانه نسبت به محل زبانه میانکاله، نکارود در فاصله ۱۴ کیلومتری غرب بندر است و بنادر نکا، صدرا و امیرآباد در فاصله میان این رود و زبانه میانکاله قرار دارند. بنابراین با توجه به طول پیش‌روی زیاد این بنادر، آورد رسوبی این رود، که توسط جریان‌های کرانه‌ای به سمت شرق حمل می‌شود، در پشت این بنادر جمع شده و تأثیری بر زبانه میانکاله نخواهد داشت. علاوه بر این فاصله زیاد این رودها از زبانه، به‌عنوان عامل دیگری در کاهش اثرگذاری آن‌ها بر منطقه مورد مطالعه به شمار می‌رود.

❖ رسوبات دریایی

رسوبات موجود در بستر دریا با توجه به محدوده وسیع توزیع آن‌ها بطور مستقیم در معرض عوامل هیدرودینامیکی انتقال رسوبات قرار داشته و در صورت مهیا بودن شرایط در چرخه انتقال و ته‌نشینی شرکت می‌کنند. در منطقه مورد مطالعه رسوبات دریایی بطور عمده دارای بافت ماسه‌ای هستند و در حالت کلی در محدوده اندازه ماسه قرار می‌گیرند (شکل ۳-۳۰).



شکل (۳-۳۰). منحنی دانه‌بندی رسوبات محدوده ساحل شمالی شبه جزیره میانکاله، [۳۵]

بررسی نمونه های رسوب برداشت شده در محدوده زبانه میانکاله نشان می دهد که بافت عمومی رسوبات در ساحل شمالی این زبانه کاملاً ماسه‌ای می باشد؛ هم‌چنان که در شکل (۳-۳۱) مشاهده می شود.



شکل (۳-۳۱). ساحل ماسه‌ای میانکاله

۳-۸-۲. بررسی نرخ انتقال رسوب در منطقه مورد مطالعه

۳-۸-۲-۱. مقدمه

تعیین وضعیت انتقال رسوبات در محدوده زبانه میانکاله اعم از رسوبات رودخانه‌ای و دریایی پیش‌نیاز اصلی بررسی چگونگی اثر رسوبات بر منطقه مورد مطالعه می باشد. در این خصوص سعی شده است تا ضمن استفاده و تحلیل کلیه اطلاعات موجود شامل اطلاعات نوع رسوبات، اطلاعات مورفولوژیکی و البته هیدرودینامیک به‌عنوان محرک اصلی انتقال رسوبات و نیز مدل ریاضی به‌عنوان مکمل، نتیجه‌گیری لازم در این خصوص به‌عمل آید.

۳-۸-۲-۲. بررسی کیفی روند انتقال رسوب در منطقه

روند کیفی انتقال رسوبات در زبانه، با استفاده از اطلاعات کلی موجود، تا حدودی قابل بررسی می باشد. در این خصوص اطلاعات مورفولوژیکی و هیدرودینامیکی موجود، تا حد زیادی مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به موقعیت قرار گیری زبانه، انتقال رسوبات از چند جهت و منبع مختلف می تواند تهدید کننده باشد. یکی از این منابع می تواند رسوبات ورودی از رودخانه نکارود به داخل دریا باشد که با توجه به

نزدیکی مصب رودخانه به زبانه، امکان انتقال رسوبات آن به زبانه و رسوب‌گذاری در منطقه وجود دارد. انتقال این رسوبات می‌تواند تحت اثر هر دو مکانیزم انتقال ۷۰ و پخش ۷۱ صورت گیرد. مکانیزم انتقال همان‌گونه که از اسم آن پیداست، تحت اثر پدیده‌های انتقالی ناشی از جریان و مکانیزم پخش تحت اثر آشفتگی مولکولی و بدون نیاز به جریان قابل توجه صورت می‌گیرد و اصولاً پدیده‌ای زمان‌مند است. در مورد شدت پدیده انتقال همان‌گونه که ذکر شد، جریانات دارای نقش اساسی بوده و انتقال هم‌جهت با آن صورت می‌گیرد. در این مورد بررسی جریانات ناشی از رودخانه با توجه به حضور بنادر امیرآباد، صدرا و نکا بین مصب رودخانه و زبانه، مؤید جریانات قابل توجهی به سمت زبانه نمی‌باشد. علاوه بر رسوبات ناشی از رودخانه، اثر رسوبات ناشی از جریان‌های ساحلی نیز که به‌طور عمده در محدوده ساحل منتقل می‌گردند نیز باید بر منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گیرد. حرکت این رسوبات به سمت منطقه از دو جهت می‌تواند صورت گیرد، از جهت شمال و عمود بر ساحل و نیز از جهت غرب و به موازات ساحل. از آنجا که این انتقال تحت اثر جریانات ناشی از شکست امواج صورت می‌گیرد، نتایج حاصل از مدل‌سازی این جریانات می‌تواند به نحو مطلوبی مورد استفاده قرار گیرد.

بر اساس شواهد محلی و اندازه‌گیری‌های میدانی موجود در محدوده ساحل شبه جزیره میانکاله، نرخ انتقال رسوبات در این محدوده قابل توجه است، به گونه‌ای که در هنگام حفر کانال خوزینی، مشکلات فراوانی ایجاد کرده است. این نرخ انتقال به‌گونه‌ای است که شدت جریانات ساحلی ایجاد شده در ساحل میانکاله به تدریج کاهش یافته تا در دهانه خلیج گرگان مستهلک می‌گردند.

فصل چهارم

تحلیل داده‌های موجود و مدل‌سازی

۴-۱. مقدمه

سواحل میانکاله بر اثر عوامل مختلفی می‌تواند تغییر داشته باشد. ساخت سازه‌های ساحلی مانند بندر امیرآباد و صدرا، تاثیر عوامل هیدرودینامیکی مانند باد، موج و جریان، عوامل زمین‌شناسی و در نهایت تغییرات تراز آب دریای خزر هر یک به تنهایی می‌تواند منجر به تغییرات خطوط ساحلی شود. در این پژوهش به بررسی تغییر و تحولات زبانه میانکاله بر اثر تغییرات سطح تراز آب دریا پرداخته می‌شود. به همین منظور تئوری‌های تحلیلی، تصاویر ماهواره‌ای و همچنین استفاده از مدل‌های عددی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، این فصل به دو بخش کلی تقسیم می‌شود. بخش اول: بررسی انواع سواحل میانکاله و خطوط ساحلی آن بر اساس تئوری‌های تحلیلی و تصاویر ماهواره‌ای؛ بخش دوم: بررسی انواع سواحل میانکاله و پیش‌بینی تغییرات خطوط ساحلی با استفاده از مدل‌های عددی.

۴-۲. بررسی انواع سواحل میانکاله با استفاده از روابط تئوری

همانگونه که در بخش‌های قبلی بیان شده است زبانه میانکاله بیش از ۶۰ کیلومتر طول دارد؛ و از آنجایی که قسمت غربی زبانه میانکاله تحت تأثیر بنادر امیرآباد و نکا، و قسمت شرقی آن متأثر از دهانه میانکاله می‌باشد احتمال می‌رود الگوی رسوب‌گذاری در امتداد این زبانه متنوع باشد. از این رو زبانه به سه بخش اصلی (غربی، میانی و شرقی) تقسیم شده و با استفاده از روابط (۳-۱۰)، (۳-۱۱) و (۳-۱۲) که در بخش ۳-۶-۵ بیان شده، نوع ساحل هر بخش از زبانه مشخص می‌شود (شکل ۴-۱).



شکل (۴-۱). ناحیه‌بندی سواحل زبانه میانکاله

همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد از شاخص‌های Ω ، k^* و ξ جهت تعیین نوع ساحل استفاده می‌شود. جهت تعیین این شاخص‌ها از داده‌های پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل کشور استفاده شده است. برای به‌دست آوردن شیب هر منطقه نیز با توجه به طولانی بودن زبانه، نداشتن اطلاعات در تمامی مناطق و احتمال متفاوت بودن آن در مناطق مختلف زبانه، از داده‌های هیدروگرافی استفاده شده و شیب هر منطقه به‌صورت جداگانه محاسبه شده است که به همراه اطلاعات مورفودینامیکی و هیدرودینامیکی بخش‌های مختلف زبانه میانکاله در جدول (۴-۱) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱). اطلاعات مربوط به ویژگی‌های مورفودینامیکی و هیدرودینامیکی بخش‌های مختلف سواحل زبانه میانکاله

	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳
$H_b (m)$	۰/۵۸	۰/۶	۰/۶۷
$W_s (m/s)$	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
$T (sec)$	۴/۷	۴/۷	۴/۷
$d_{50}(m)$	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۱۴۶	۰/۰۰۰۱۰۶
$\tan \beta$	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
$H_0 (m)$	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۶۹
$L_0(m)$	۳۴/۵	۳۴/۵	۳۴/۵
Ω	۶/۲	۶/۴	۷/۱
k^*	۹/۱	۱۱/۴	۱۹/۵
ξ	۰/۰۳۶	۰/۰۲۸	۰/۰۱۴

بخش غربی زبانه میانکاله در نزدیکی بازوی اسکله‌ی امیرآباد قرار دارد و تحت تأثیر اسکله امیرآباد است. شیب این منطقه برابر ۰/۰۵ می‌باشد و نسبتاً پرشیب‌تر از دو منطقه دیگر بوده و از این رو خط شکست امواج به ساحل نزدیک‌تر است. هرچند به‌طور عمومی کل منطقه از شیب کمی پیروی می‌کند که نشان‌دهنده شرایط متعادل حاصل از جریان‌های ساحلی می‌باشد. با توجه به شاخص‌های به‌دست آمده از روابط تئوری، بخش غربی زبانه میانکاله جزء سواحل پراکنا می‌باشد. شکل (۴-۲) نمونه‌هایی از سواحل غربی زبانه میانکاله را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۲) : تصاویر مربوط به سواحل غربی زبانه میانکاله

در بخش میانی شیب عمومی منطقه ناچیز است و با توجه به اندازه‌گیری‌ها در حدود ۰/۰۰۴ می‌باشد. به علت کم شیب بودن منطقه امواج در فاصله نسبتاً دوری از ساحل بستر را احساس کرده و می‌شکنند؛ از این رو خط شکست این منطقه نسبت به منطقه غربی فاصله بیشتری از ساحل دارد و انرژی موج در فاصله‌ی نسبتاً دورتری از خط ساحل رها می‌شود. این پدیده سبب می‌شود که در نزدیک به ساحل موج مؤثری دیده نشود و انتقال رسوب زیادی در منطقه به طبع آن دیده نشود. با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۴-۱) مشاهده می‌شود که این بخش از ساحل میانکاله نیز جزء سواحل پراکنا می‌باشد. در این‌گونه سواحل رسوبات درشت‌دانه تمایل به ته‌نشینی و رسوبات ریزدانه به‌اندازه ناچیزی انتقال می‌یابند. هم‌چنین امواج ضعیفی به ساحل آمده که تنها توانایی جابه‌جایی رسوبات ریزدانه را دارد.

در سواحل بخش شرقی منطقه مورد مطالعه تپه‌های ماسه‌ای در فاصله دوری از خط ساحلی در ناحیه پشت ساحل قرار دارند که این نشان‌دهنده‌ی کم انرژی بودن و کم شیب بودن منطقه و حساسیت بالا نسبت به نوسانات آب دریای خزر است. شیب ساحل این منطقه ۰/۰۰۲ بوده و از این رو در سواحل این منطقه موج در فاصله دوری از ساحل انرژی خود را از دست داده و قدرت حمل رسوبات را ندارد و یک محیط ساکن و رسوب‌گذار محیا شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از روابط تئوری، این منطقه نیز جزء سواحل پراکنا قرار می‌گیرد. شکل (۴-۳) نمونه‌ای از سواحل شرقی زبانه میانکاله را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴) : تصویری از قسمت شرقی زبانه میانکاله

با توجه به جدول (۱-۴) هرچه قدر به سمت شرق زبانه پیش می‌رویم، پارامتر Ω افزایش یافته و شیب بستر کاهش می‌یابد. در نتیجه ساحل پراکناتر بوده، انرژی موج تلف شده و از شدت انتقال رسوب در منطقه کاهش می‌یابد.

۳-۴. اندازه‌گیری پروفیل در محدوده سواحل میانکاله

بالا رفتن تراز سطح آب منجر به فرسایش سواحل (پس‌روی ساحل) و پایین رفتن تراز سطح آب منجر به توسعه ساحل (پیش‌روی ساحل) خواهد شد. شکل (۴-۴) به خوبی عکس‌العمل سواحل را نسبت به تغییرات تراز سطح آب نشان می‌دهد. در شکل زیر R میزان توسعه و یا فرسایش سواحل، S میزان تغییرات تراز سطح آب، B ارتفاع حداکثر بالاروی آب در اثر امواج، hc عمق فعال رسوبی (عمق فعال رسوبی به عمقی از دریا می‌گویند که فعالیت‌های رسوبی بعد از این عمق در دریا وجود نداشته باشد) و L_0 فاصله خط ساحلی تا عمق فعال رسوبی را نشان می‌دهد. بر اساس رابطه اصلاح شده بروون توسط عطایی میزان پس‌روی و یا پیش‌روی ساحل از رابطه زیر بدست خواهد آمد [۲۴]:

$$R = A_s \frac{L_*}{hc + B} S$$

(۱-۴)

در معادله بالا، A_s ضریبی وابسته به ارتفاع امواج در ناحیه شکست و اندازه متوسط ذرات بستر بر حسب متر است که از معادله زیر به دست خواهد آمد [۲۴]:

$$A_s = 3.232 \times 10^{-4} \left(\frac{H_{B,Mean}}{D_{50}} \right) \quad (2-4)$$

که در آن D_{50} اندازه متوسط ذرات بستر و $H_{B,Mean}$ میانگین ارتفاع امواج در ناحیه شکست می‌باشند.

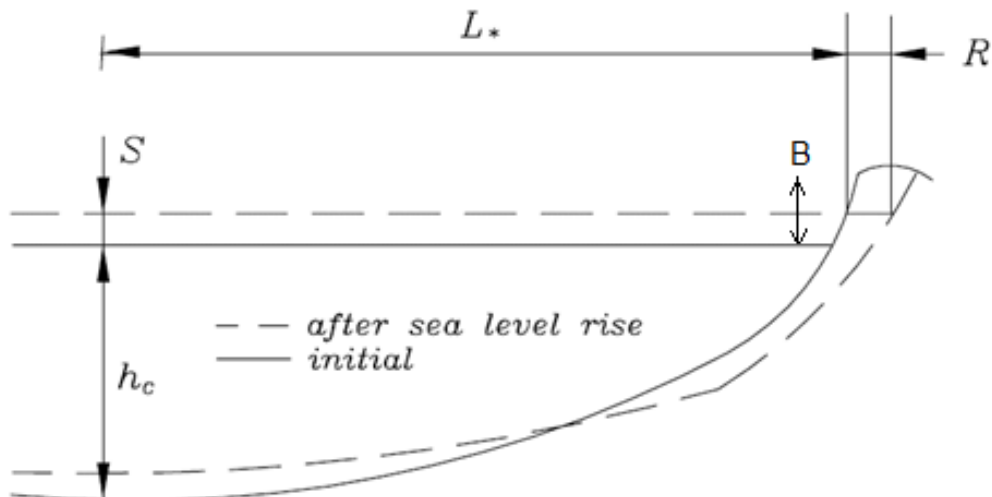
شیب بستر نیز با m_s نشان داده می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$m_s = \frac{hc + B}{L_*} \quad (3-4)$$

بنابراین رابطه (۱-۴) را می‌توان به صورت رابطه (۴-۴) نوشت.

$$R = \frac{A_s S}{m_s} \quad (4-4)$$

با توجه به رابطه بالا، امکان محاسبه پیش‌روی و پس‌روی سواحل میانکاله بر اساس میزان تغییرات سطح آب و اطلاعات پروفیل بستر دریا وجود دارد.



شکل (۴-۴). عکس‌العمل سواحل نسبت به تغییرات تراز سطح آب، [۴۰]

به منظور تعیین ضریب در رابطه (۴-۴) از داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده می‌شود. در پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل کشور در چندین موقعیت اقدام به اندازه‌گیری پروفیل دریا برای سه دوره زمانی شده است که در این پژوهش تنها برای یک موقعیت واقع در منطقه دو، که نمایی از آن در شکل‌های

(۵-۴) و (۶-۴) نشان داده شده است، اطلاعات موجود است. این اندازه‌گیری برای سه دوره ۹۲/۲/۱۵، ۹۲/۷/۲۷ و ۹۲/۱۰/۱۵ انجام گرفته است. در هر سه زمان شرایط دریا کاملاً آرام بوده است. نتایج اندازه‌گیری پروفیل در شکل (۷-۴) نشان داده شده است [۶]. با توجه به نتایج اندازه‌گیری مشخص است که مقدار hc حدود ۴ متر و مقدار L_s حدود ۴۴۰ متر است. همچنین با توجه به اندازه‌گیری‌های پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل شمالی کشور رابطه (۱-۴) برای منطقه میانکاله می‌تواند به صورت زیر بازنویسی شود:

$$R = 110 \times S$$

(۵-۴)

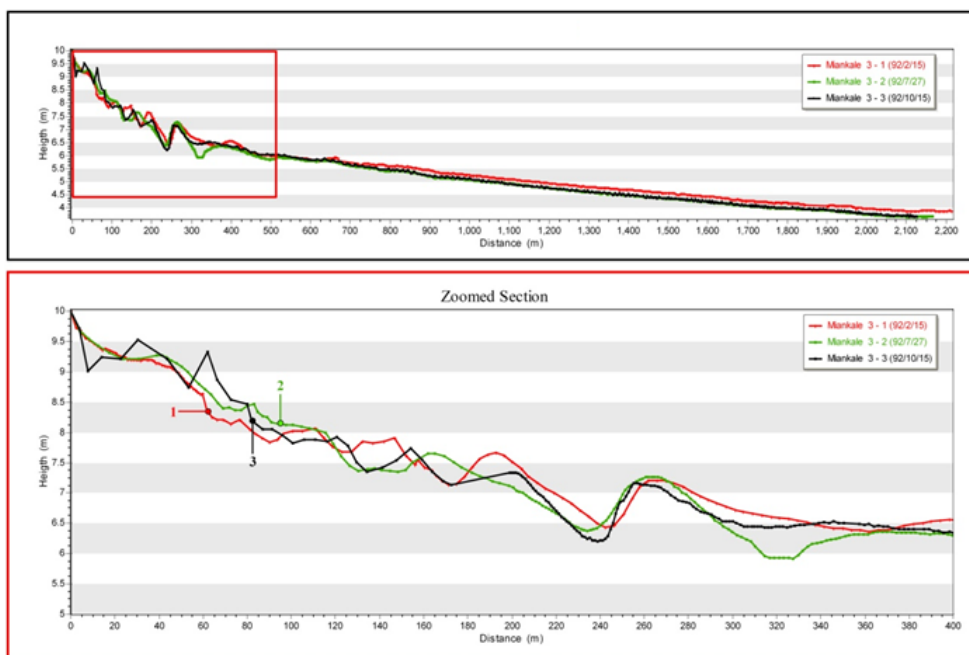
با توجه به رابطه بالا به ازای افزایش و یا کاهش ۱ متر از تغییرات تراز سطح آب، میزان پیشروی و یا پسروی ساحل حدود ۱۱۰ متر خواهد بود.



شکل (۵-۴). برداشت‌های پروفیل در سواحل میانکاله و برای سه زمان



شکل (۴-۶). نمایی از موقعیت منطقه‌ای که اندازه‌گیری پروفیل انجام شده



شکل (۴-۷). مقایسه پروفیل‌ها برای سه زمان، [۶]

به منظور صحت‌سنجی رابطه استخراج (۴-۵) از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. به همین منظور قسمتی از سواحل میانکاله که تحت تأثیر بندر امیرآباد نباشد انتخاب می‌شود. قبل از پرداختن به تصاویر ماهواره‌ای اطلاعات موجود تراز سطح آب در منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۴. تغییرات تراز سطح آب

شناخت تغییرات تراز سطح آب در دریای خزر به دلایل مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله این دلایل می‌توان به تعیین مقدار تغییرات ساحل و منطقه شکست اشاره کرد. با توجه به اینکه دریای خزر با آب‌های آزاد در ارتباط نیست، از این رو تغییرات سطح آب این دریا مستقل از تغییرات سطح آب دریا‌های دیگر است. تغییرات سطح آب در دریای خزر می‌تواند شامل تغییرات دراز مدت (به دلیل تغییرات شرایط اقلیمی)، تغییرات فصلی (تغییرات دبی رودخانه‌ها، بارش و یا تبخیر) و همچنین تغییرات کوتاه‌مدت و یا روزانه (خیزاب باد، خیزاب موج و یا جزر و مد) باشد. شناخت و بررسی هر کدام از تغییرات ذکر شده می‌تواند در بهره‌وری هرچه بیشتر دریای خزر چه به لحاظ فنی و چه به لحاظ اقتصادی موثر باشد. از این رو بررسی موارد ذکر شده حائز اهمیت خواهد بود. اطلاعات موجود در زمینه تغییرات تراز آب دریای خزر در طی ۱۵۰ سال اخیر موجود است. در چند سال اخیر نیز اطلاعات دقیقی از تغییرات تراز سطح آب ثبت شده است.

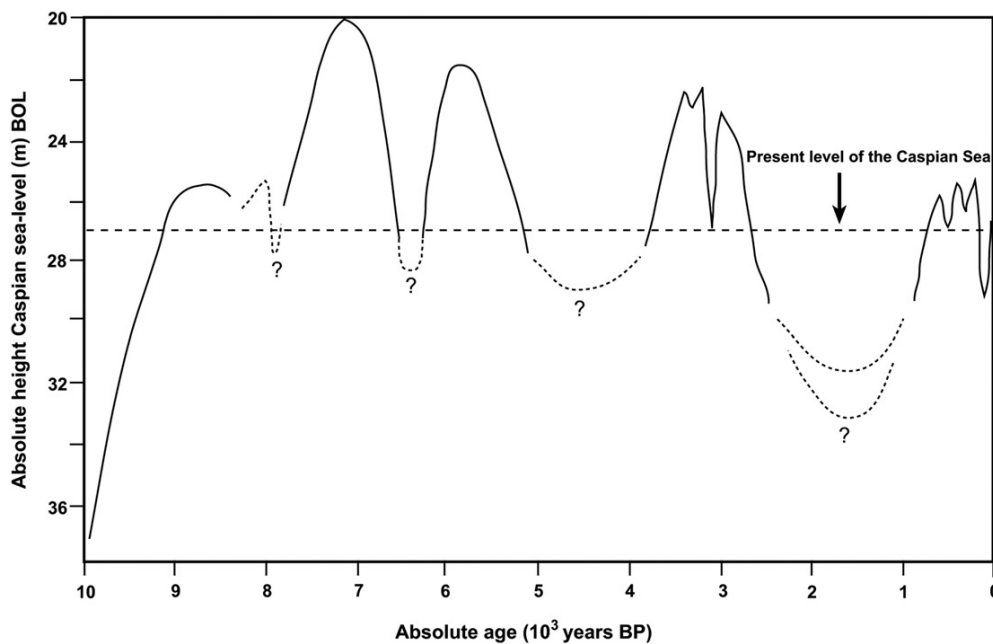
۴-۴-۱. مطالعات تاریخی

دریای خزر توسط نوسانات قابل توجه در طول دوران زمین‌شناسی خود شناخته شده است. محققان بر این باورند که تغییرات ناشی از اقلیم به دلیل تأثیر بر بودجه هیدرولوژیکی دریا، یکی از علل اصلی نوسانات تراز آب دریای خزر می‌باشد. این دریا به دلیل بسته بودن در مقایسه با آب‌های آزاد، نسبت به تغییرات محیطی و اقلیمی بسیار حساس‌تر می‌باشد. در طول اواخر دوره زمین‌شناسی پلیستوسن^{۷۲}، تراز آب دریا ۵۰ متر افزایش یافته است [۵۵] و سپس به پایین‌ترین حد خود در آغاز دوره زمین‌شناسی هولوسین^{۷۳} رسید. صرف‌نظر از این دو تغییر بزرگ در تراز آب دریای خزر، حداقل هشت نوسان کوچک‌تر در ۴۰۰۰ سال گذشته شناسایی شده است.

72 Pleistocene (دوره زمین‌شناسی چهارم)

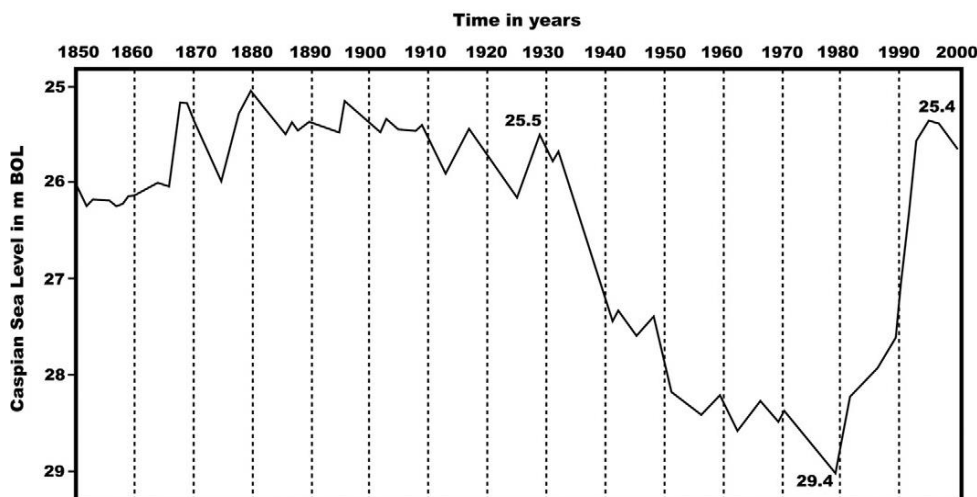
73 Holocene (دوره زمین‌شناسی پنجم)

تراز آب دریای خزر در دوره زمین‌شناسی هولوسین توسط رایکوف ۷۴ در سال ۱۹۹۷ تخمین زده شده است. پیش‌بینی تراز سطح آب توسط او در طی ۱۰۰۰۰ سال گذشته در شکل (۴-۸) ارائه شده است. با توجه به این شکل، دریای خزر یک چرخه کامل تراز آب با دامنه ± 3 متر را در قرن بیستم (بین سال‌های ۱۹۲۹ و ۱۹۹۵) تجربه کرده است. تراز آب ۲۶ متر در اغلب زمان‌ها در قرن نوزدهم تا قبل از ۱۹۳۰ ثبت شده است اما ناگهان با یک سقوط قابل توجه و سریع به $29\frac{1}{4}$ متر در ۱۹۹۷ رسیده است.



شکل (۴-۸). تغییرات تراز آب در طول ۱۰۰۰۰ سال اخیر، [۶۷]

هنگامی که تراز آب دریای خزر در طول سال‌های ۱۹۲۹ تا ۱۹۷۹ شروع به کاهش کرد، زمین‌های بازیافت شده به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفتند؛ بنابراین، هنگامی که تراز آب از سال ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۵ به مقدار سه متر بالا رفت، زیرساخت‌ها و خانه‌های تازه ساخته شده به شدت آسیب دید. شکل (۴-۹) نوسانات تراز آب را در ۱۸۵۰ تا ۲۰۰۰ را با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری جزر و مد نمایش می‌دهد [۳۹]. شکل (۴-۱۰) نیز نقشه زبانه میانکاله را در سال ۱۸۹۰ نشان می‌دهد.



شکل (۴-۹). منحنی تراز آب دریای خزر بر اساس داده‌های اندازه‌گیرنده جزر و مد ۱۸۵۰ تا ۲۰۰۰، [۳۹]



شکل (۴-۱۰). نقشه زبانه میانکاله در سال ۱۸۹۰، [۳۹]

در طول ۱۰۰۰ سال گذشته دریای خزر دو تغییر بزرگ در تراز آب را به دلیل ناهنجاری‌های آب و هوایی قرون وسطایی (MCA^{۷۵} ۹۵۰-۱۲۵۰) و عصر یخی کوچک (LIA^{۷۶} ۱۳۵۰-۱۸۵۰) تجربه کرده است [۶۴]. در طول MCA تراز آب دریای خزر سقوط می‌کند و در طول LIA افزایش پیدا می‌کند. نوسانات تراز آب دریای خزر در طول قرن نوزدهم و بیستم ادامه داشته است. تراز آب در بازه زمانی ۱۹۲۹ تا ۱۹۷۸ حدود ۳ متر کاهش داشته است و با افزایش ۲/۷ متری در سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۵ ادامه یافته است.

مطالعات تاریخی انجام شده در رابطه با تغییرات تراز آب دریا و تأثیر آن در تغییرات ساحلی توسط

75 Medieval Climate Anomaly

76 Little Ice Age

نادری بنی (۲۰۱۳) جمع‌آوری شده است که نتایج آن در جدول (۴-۲) ارائه شده است. نتیجه کلی نشان می‌دهد که تراز آب دریای خزر در طول LIA در بالاترین موضع خود ۲۱- متر و در MCA پایین‌ترین موضع خود ۲۸- متر قرار داشته است. این در حالی است که در حال حاضر تراز کنونی دریای خزر ۲۶/۵- متر است.

جدول (۴-۲). دستاوردهای زمین‌شناسی تغییرات تراز آب دریای خزر در طول دوره هولوسین، [۵۹]

منبع	تراز آب دریای خزر	دوره (بعد میلاد مسیح)	رویداد	موقعیت
لاهیجانی و همکاران ۲۰۰۹	-۲۴	۱۰۴۲	افزایش تراز آب و رشد سریع	جنوب دریای خزر
کاکرودی و همکاران ۲۰۱۲	-۲۴	۱۴۰۳-۱۲۸۹	افزایش تراز به ۲۴- متر	جنوب دریای خزر
نادری بنی و همکاران ۲۰۱۳	_	۱۴۴۵-۱۳۱۱	بالا آمدن نسبی سطح دریا	جنوب دریای خزر
کاکرودی و همکاران ۲۰۱۲	-۲۴	۱۴۴۶-۱۳۳۵	افزایش تراز به ۲۴- متر	جنوب دریای خزر
رکاوندی و همکاران ۲۰۱۲	-۲۲	۱۴۶۰-۱۳۴۴	طغیان گرفتگی تالاب گرگان	جنوب دریای خزر
کرونبرگ و همکاران ۲۰۰۷	-۲۴	۱۶۴۰-۱۳۵۰	افزایش تراز آب و تشکیل سد	غرب دریای خزر
نادری بنی و همکاران ۲۰۱۳	_	۱۵۱۴-۱۴۰۸	بالا آمدن نسبی سطح دریا	جنوب دریای خزر
لاهیجانی و همکاران ۲۰۰۹	-۲۵	۱۴۶۰	افزایش تراز آب	جنوب دریای خزر
کرونبرگ و همکاران ۲۰۰۷	-۲۴	۱۷۱۰-۱۵۹۰	افزایش تراز آب و تشکیل سد	غرب دریای خزر
لاهیجانی و همکاران ۲۰۰۹	_	۱۶۰۰	تغییر مسیر سفیدرود	جنوب دریای خزر
هوگندورن و همکاران ۲۰۰۵	_	۱۸۰۰-۱۶۰۰	انحراف رودخانه کورا به خلیج قزل‌آغاج	غرب دریای خزر
لروی و همکاران ۲۰۱۱	_	۱۶۲۰	عصر هسته در امیرکلا	جنوب دریای خزر
نادری بنی و همکاران ۲۰۱۳	_	۱۷۲۶-۱۶۹۶	بالا آمدن نسبی سطح دریا	جنوب دریای خزر
لروی و همکاران ۲۰۱۱	_	۱۸۳۰-۱۷۰۰	انزلی به جزایر مانع شکسته شد	جنوب دریای خزر
هوگندورن و همکاران ۲۰۰۵	_	۱۸۰۰	توسعه دلتای جدید کورا	غرب دریای خزر
لروی و همکاران ۲۰۰۶	-۲۵/۵	۱۸۳۰	افزایش تراز آب	شرق دریای خزر

۴-۲. داده‌های اندازه‌گیری

دریای خزر دارای ۲۲ ایستگاه ترازسنجی است که داده‌های میانگین ماهیانه آن‌ها موجود است. در این

میان چهار ایستگاه آشوراده، نکا، نوشهر و انزلی واقع در سواحل ایرانی و ۱۸ ایستگاه دیگر واقع در سواحل سایر کشورهای همسایه دریای خزر هستند. موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها در شکل (۴-۱۱)، موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان در شکل (۴-۱۲) و مشخصات آن‌ها در جدول (۴-۳) ارائه شده است. ایستگاه‌های باکو، ماخاچ‌کالا و کولی-بیکن، قدیمی‌ترین ایستگاه‌های ترازسنجی دریای خزر هستند. قدیمی‌ترین ایستگاه سواحل ایران، ایستگاه انزلی است که ۶۰ سال سابقه ثبت اطلاعات دارد.



شکل (۴-۱۱). موقعیت ایستگاه‌های تراز سنجی، [۶]



شکل (۴-۱۲). موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان، [۶]

۴-۳-۳. اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در قالب پروژه پایش

در طی انجام مطالعات پروژه پایش و مطالعات شبیه‌سازی سواحل شمال کشور، تراز سطح آب دریای خزر توسط دستگاه‌های ترازسنج و ADCP در نقاط مختلف خزر جنوبی (سواحل ایران) اندازه‌گیری شده است. در جدول (۳-۴) نقاط ثبت داده‌های تراز آب و شیوه اندازه‌گیری آن‌ها ارائه شده است.

جدول (۳-۴). مشخصات ایستگاه‌های ترازسنجی دریای خزر در قالب پروژه پایش دریای خزر، [۶]

موقعیت	نوع دستگاه	زمان شروع	زمان خاتمه	تعداد روزهای برداشت شده	تعداد روزها با داده صحیح	شیوه ثبت داده
اطراف بندر آستارا (عمق ۱۰ متری)	ADCP (AWAC)	۲۸ اکتبر ۲۰۱۲	۱۸ ژانویه ۲۰۱۴	۴۴۷	۴۳۰	توسط سنسور AST
اطراف بندر نوشهر (عمق ۱۰ متری)	ADCP (AWAC)	۱۵ اکتبر ۲۰۱۲	۹ فوریه ۲۰۱۴	۴۸۲	۴۲۷	توسط سنسور AST
اطراف بندرگاه چمخاله (عمق ۱۰ متری)	ADCP (AWAC)	۱۸ اکتبر ۲۰۱۲	۲ ژانویه ۲۰۱۴	۴۴۱	۴۱۹	توسط سنسور AST
اطراف بندر امیرآباد (عمق ۱۳/۷ متری)	ADCP (AWAC)	۲۱ نوامبر ۲۰۱۲	۲۲ ژانویه ۲۰۱۴	۴۲۷	۳۵۲	توسط سنسور AST

۴-۴-۴. اندازه‌گیری‌های دستگاه‌های ADCP

اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در بازه زمانی اواخر ۲۰۱۲ تا اوایل ۲۰۱۴ و به مدت بیش از یک سال و در پنج موقعیت آستارا، انزلی، رودسر، نوشهر و امیرآباد انجام شده است. ایستگاه‌های اندازه‌گیری و مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۴-۴) ارائه شده است. در این پژوهش از دو نوع دستگاه جریان‌سنجی و موج‌نگاری که بر بستر دریا نصب می‌گردد، استفاده شده است که در ادامه مشخصات دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری ارائه شده است. این دستگاه‌ها علاوه بر اطلاعات تراز سطح آب قادر به اندازه‌گیری موج و جریان در آب عمیق با دقت مناسب می‌باشند. همچنین، این دستگاه‌ها دارای سنسور دماسنج بوده و دمای آب را نیز در عمق نصب شده اندازه‌گیری می‌کنند.

جدول (۴-۴). مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های ترازسنجی دریای خزر، [۶]

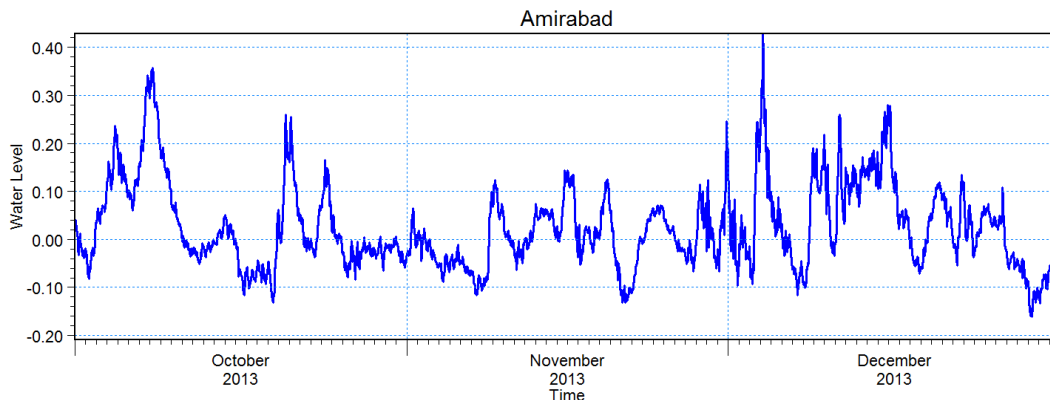
عمق ایستگاه (m)	مختصات جغرافیایی		نوع دستگاه	ایستگاه
	Lat	Long		
10	38.3881	48.9214	ADCP	آستارا
10.5	37.4912	49.4480	ADCP	انزلی
10	37.2128	50.3049	ADCP	رودسر
10	36.6985	51.3883	ADCP	نوشهر
13.7	36.9143	53.4111	ADCP	امیرآباد

به منظور اندازه‌گیری تراز سطح آب، دستگاه‌های ADCP مجهز به یک حسگر AST_{γ} می‌باشند که به صورت قائم بر روی دستگاه نصب شده و قادر است توسط یک موج صوتی قائم، سطح آب را تشخیص بدهد. AST می‌تواند با فرکانس ۴ هرتز نمونه‌برداری نماید؛ به این صورت که، پالسی با فرکانس معین فرستاده و پس از دریافت آن را به سلول‌هایی (به طول حدود ۲/۵ سانتی‌متر) تقسیم می‌کند و با اعمال فیلتر بر روی یک سری از سلول‌ها، سطح آب را تخمین می‌زند. نحوه‌ی کار این سنسور و نیز توضیحات بیشتر در خصوص حدود کاربرد، قابلیت‌ها و محدودیت‌های آن در راهنمای دستگاه‌ها در دسترس می‌باشد.

نمونه‌ی اطلاعات برداشت شده توسط دستگاه‌های ADCP در ایستگاه امیرآباد در ادامه ارائه شده است.

❖ ایستگاه امیرآباد

اندازه‌گیری تراز سطح آب در این ایستگاه از تاریخ ۲۰۱۲/۱۱/۲۱ تا ۲۰۱۴/۱/۲۲ انجام شده است. شکل (۴-۱۳) سری زمانی تراز سطح آب اندازه‌گیری شده در این ایستگاه را برای چند ماه نمونه نشان می‌دهد. حداکثر تراز سطح آب ثبت شده در این ایستگاه ۰/۴۳ متر (نسبت به میانگین یک ساله) در تاریخ ۲۰۱۳/۱۲/۰۴ و حداقل آن ۰/۲۱- متر (نسبت به میانگین یک ساله) در تاریخ ۲۰۱۲/۱۲/۰۴ می‌باشد.



شکل (۴-۱۳). سری زمانی تراز سطح آب اندازه‌گیری شده در امیرآباد برای چند ماه نمونه

۴-۴-۵. اندازه‌گیری‌های دستگاه‌های ترازسنجی

در ابتدای پروژه‌ی پایش و مطالعات مدل‌سازی سواحل دریای خزر، سه ایستگاه دائم ترازسنجی در ایستگاه‌های امیرآباد، نوشهر و انزلی نصب گردید که قرار شد حتی پس از پایان پروژه‌ی حاضر نیز به مأموریت اندازه‌گیری خود ادامه دهند. اندازه‌گیری‌ها از مارس ۲۰۱۳ در بندر انزلی و از می ۲۰۱۳ در بقیه‌ی ایستگاه‌ها آغاز گردید. در ابتدای کار، فواصل ثبت تراز سطح آب در انزلی و امیرآباد، ۵ دقیقه و در نوشهر ۱۰ دقیقه تعیین گردید که پس از مارس ۲۰۱۴ به دو دقیقه تقلیل یافت. شکل (۴-۱۴) محل ایستگاه‌های ترازسنجی را در سواحل جنوبی دریای خزر نمایش می‌دهد.



شکل (۴-۱۴). محل ایستگاه‌های ترازسنجی سواحل جنوبی دریای خزر

مکانیزم برداشت داده‌ها توسط این دستگاه‌ها توسط تکنولوژی آلتراسونیک می‌باشد. به طوری که دستگاه دارای یک سنسور اکوستیک می‌باشد که خارج از آب در محلی ثابت نصب می‌گردد و با فواصل زمانی معین که از روی منوی تنظیمات دستگاه قابل تغییر است، با ارسال امواج آلتراسونیک و دریافت مجدد

آن تراز آب را ثبت می‌نماید. ایستگاه‌های ذکر شده قابلیت هم‌زمان ثبت و ارسال داده‌های اندازه‌گیری شده را به صورت آنلاین دارا می‌باشند. در ادامه محل قرارگیری دستگاه‌های ترازسنجی و نمونه‌هایی از اطلاعات برداشت شده توسط آن‌ها آورده شده است.

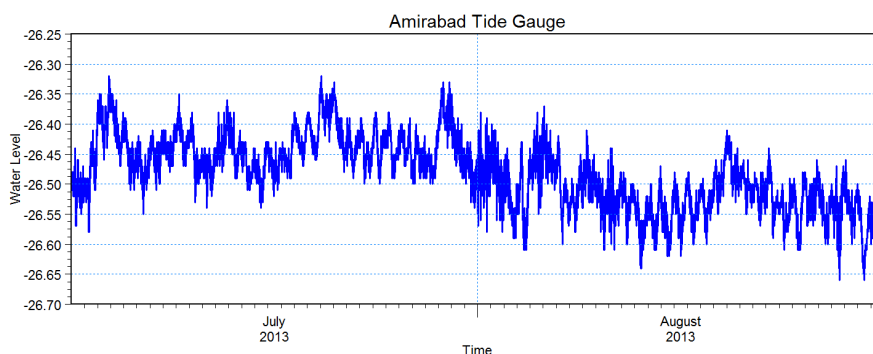
❖ ایستگاه امیرآباد

محل دقیق قرارگیری دستگاه ترازسنج در بندر امیرآباد مطابق شکل (۴-۱۵) می‌باشد.



شکل (۴-۱۵). محل قرارگیری ترازسنج امیرآباد

شکل (۴-۱۶) سری زمانی تراز سطح آب اندازه‌گیری شده در این ایستگاه را برای چند ماه نمونه نشان می‌دهد. حداکثر تراز سطح آب اندازه‌گیری شده در این بازه‌ی زمانی ۲۶/۳۲- متر در تاریخ ۲۰۱۳/۰۶/۲۰ و حداقل آن ۲۷/۳۱- متر در تاریخ ۲۰۱۴/۱۲/۰۸ ثبت شده است.

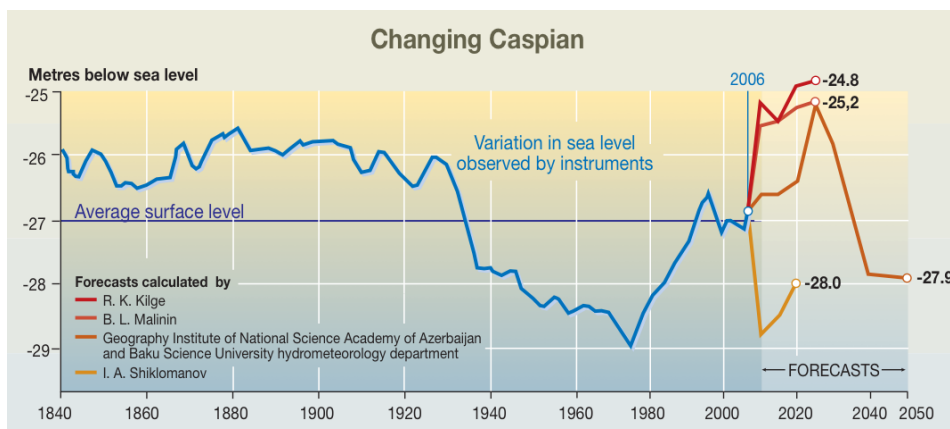


شکل (۴-۱۶). سری زمانی تراز سطح آب اندازه‌گیری شده توسط ترازسنج امیرآباد برای چند ماه نمونه

۴-۶. نتایج بررسی تغییرات تراز سطح آب در دریای خزر

منابع مختلفی برای بررسی وضعیت تراز سطح آب در دریای خزر به صورت کوتاه مدت، میان مدت و دراز مدت در دسترس است. بررسی کلی تغییرات دریای خزر نشان داده است که دامنه تغییرات تراز سطح آب در دریای خزر در طی ۱۵۰ سال اخیر، حدود ۴ متر بوده است. کمترین و بیشترین مقدار تراز سطح آب در طی ۱۵۰ سال اخیر به ترتیب در سال ۱۹۸۰ و ۱۸۸۰ بوده است. تراز سطح آب در این سالها به ترتیب $-۲۹/۴$ و $-۲۵/۴$ ثبت شده بوده است. همچنین دامنه تغییرات فصلی در طی یک سال به کمتر از یک متر در سال می‌رسد. علاوه بر این دامنه تغییرات روزانه در بیشتر ایام کمتر از $۰/۴$ متر است که عمده این تغییرات مجموع خیزاب ناشی از باد و موج است. علاوه بر این دامنه تغییرات جزر و مدی در طی یک روز در دریای خزر کمتر از ۱۰ سانتی‌متر تخمین زده شده است.

لازم به توضیح است که به طور دقیق نمی‌توان پیش‌بینی درستی از وضعیت تراز سطح آب دریای خزر در آینده داشت هرچند پیش‌بینی‌هایی در این زمینه انجام شده و نمونه‌ای از آن در شکل (۴-۱۷) نشان داده شده است. در شکل مشاهده می‌شود که پیش‌بینی‌های صورت گرفته با یکدیگر همخوانی خوبی نداشته و بعضاً مغایر با واقعیت است. به همین دلیل نمی‌توان با تکیه بر این پیش‌بینی‌ها، استدلال و نتیجه‌گیری کرد. قابل ذکر است تراز سطح آب دریای خزر به شدت به مقدار دبی آب رودخانه ولگا بستگی دارد. حدود ۸۵ درصد آب دریای خزر را رودخانه ولگا تامین می‌کند. بنابراین پیش‌بینی تراز سطح آب دریای خزر به پیش‌بینی دبی رودخانه ولگا در آینده بستگی دارد.

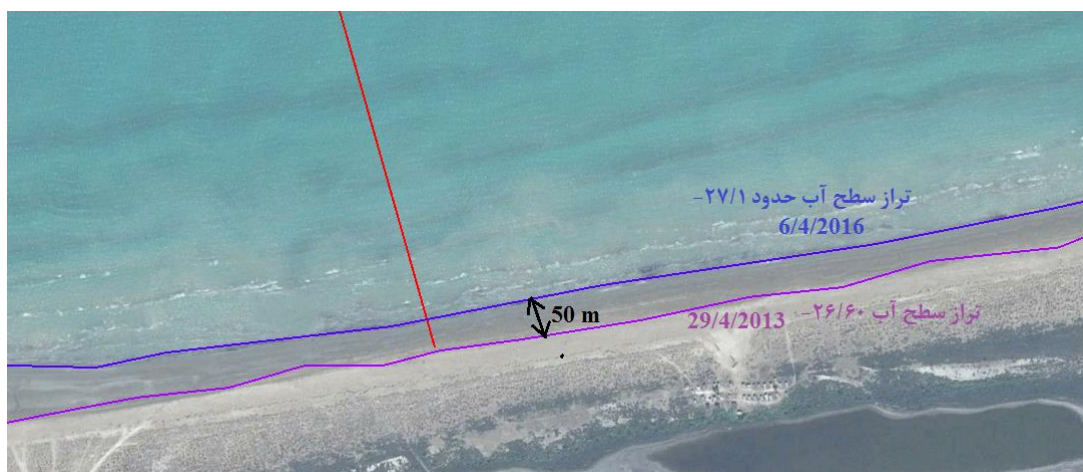


شکل (۴-۱۷). پیش‌بینی تراز سطح آب دریای خزر، [۶۳]

بر اساس مکاتبات صورت گرفته از سوی سازمان بنادر و دریانوردی با رئیس پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی کشور روسیه، تراز سطح آب دریای خزر تا حداقل ۱۰ سال آینده با نرخ کنونی کاهش خواهد یافت. لازم به توضیح است که در طی ۵ سال گذشته تراز دریای خزر به طور متوسط، سالی ۱۰ سانتی‌متر کاهش یافته است. به این ترتیب در طی ۱۰ سال آینده تراز سطح آب حدود ۱ متر نسبت به سطح فعلی کاهش خواهد یافت.

۴-۵. بررسی تصاویر ماهواره‌ای

شکل (۴-۱۸) تغییرات خط ساحلی میانکاله را برای بازه زمانی ۲۰۱۳/۴/۲۹ تا ۲۰۱۶/۴/۶ نشان می‌دهد. تراز سطح آب در تاریخ ۲۰۱۳/۴/۲۹ حدود ۲۶/۶۰- و در تاریخ ۲۰۱۶/۴/۶ حدود ۲۷/۱- بوده است. حدود ۵۰ سانتی‌متر کاهش سطح آب و به مدت ۳ سال در دریای خزر اتفاق افتاده است. در این صورت و بر اساس رابطه (۴-۵) میزان تغییرات خط ساحلی ۵۵ متر پیش‌روی ساحلی به سمت دریا بوده است. این مقدار کاملاً با نتایج اندازه‌گیری شده هم‌خوانی مناسبی دارد. با توجه به توضیحات ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که رابطه (۴-۵) پیش‌بینی مناسبی از میزان تغییرات خط ساحلی در سواحل میانکاله را ارائه خواهد کرد.



شکل (۴-۱۸). تغییرات خط ساحل در بازه زمانی ۲۰۱۳/۴/۲۹ تا ۲۰۱۶/۴/۶

بر اساس رابطه ارائه شده، در سال ۱۳۷۲ که بیشترین تراز سطح آب در ۱۰۰ سال گذشته اتفاق افتاده

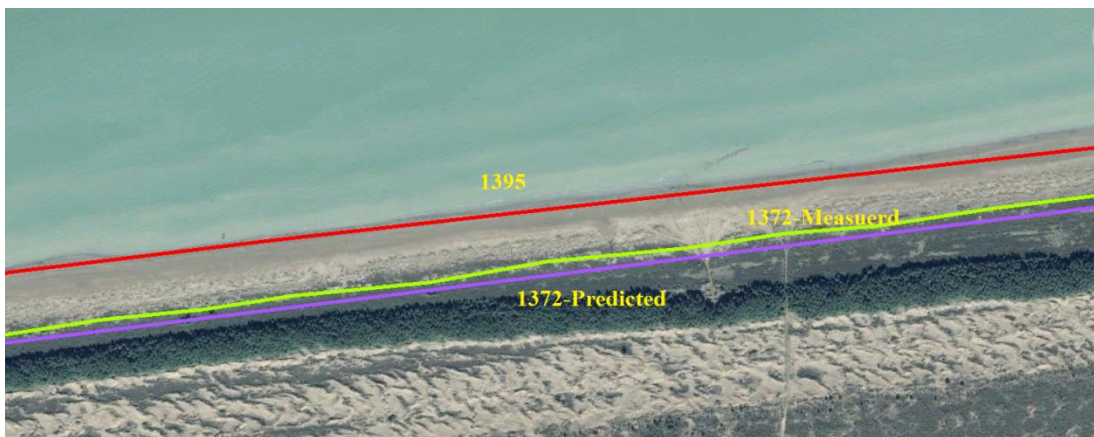
است (تراز سطح آب در سال ۱۳۷۲ حدود ۲۵/۴- متر نسبت به سطح آب‌های آزاد بوده است) میزان پیش‌روی ساحل نسبت به تاریخ فعلی ۲۰۱۶/۴/۶ که تراز سطح آب حدود ۲۷/۱- متر بوده است، حدود ۱۸۷ متر خواهد بود. هم‌چنین در سال ۱۳۵۴ که کمترین تراز سطح آب در ۱۰۰ سال گذشته اتفاق افتاده است (تراز سطح آب در سال ۱۳۷۲ حدود ۲۹/۴- متر نسبت به سطح آب‌های آزاد بوده است) میزان پیش‌روی ساحل نسبت به تاریخ فعلی ۲۰۱۶/۴/۶ که تراز سطح آب حدود ۲۷/۱- متر بوده است، حدود ۲۵۳ متر خواهد بود.

هم‌چنین با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته از ۲۰ سال آینده تراز سطح آب نسبت به سطح فعلی حدود ۲ متر کاهش خواهد یافت. در این صورت نیز خط ساحل حدود ۲۲۰ متر پیش‌روی خواهد داشت. در شکل (۴-۱۹) وضعیت خط ساحل را برای کمترین و بیشترین تراز سطح آب در طی ۱۰۰ سال گذشته و هم‌چنین پیش‌بینی خط ساحل در سال ۱۴۰۵ بر اساس رابطه پیشنهادی در این پژوهش نمایش داده شده است.

به منظور صحت و ارزیابی عملکرد رابطه پیشنهادی مقایسه خطوط ساحلی در سال ۱۳۷۲ در شکل (۴-۲۰) ارائه شده است. با توجه به این شکل مشخص است که پیش‌بینی خط ساحل بر اساس رابطه پیشنهادی تا حد قابل قبولی عملکرد مناسبی دارد. علت اختلاف قابل توجه در بعضی از قسمت‌ها به دلیل تغییر پروفیل بستر در قسمت‌های مختلف و در نتیجه آن تغییر رابطه پیشنهادی برای قسمت‌های مختلف سواحل میانکاله می‌باشد. با توجه به عدم دسترسی به تصاویر سال ۱۳۵۴، مقایسه در این سال انجام نشده است.



شکل (۴-۱۹). ساحل در سال‌های ۱۳۵۴، ۱۳۷۲، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۵



شکل (۴-۲۰). مقایسه پیش‌بینی خط ساحل با رابطه پیشنهادی با مقدار واقعی خط ساحل در سال ۱۳۷۲

۴-۶. روش‌های بررسی انتقال رسوب

هرگونه بحث کمی در مورد مسائلی همچون نرخ انتقال رسوبات، نیازمند شناخت و محاسبه دقیق فرآیندهای دخیل در رخداد این پدیده می‌باشد. اصولاً روش‌های دستیابی به نرخ انتقال رسوب در یک منطقه را می‌توان در سه دسته اصلی قرار داد. این سه دسته عبارتند از:

۱- اندازه‌گیری در محل

۲- مدل‌های فیزیکی

۳- مدل‌های ریاضی

در مقوله اندازه گیری‌های میدانی یکی از روش‌های تعیین تقریبی نرخ انتقال رسوبات ماسه‌ای، آزمون ردیابی رسوبات رنگی در محل می‌باشد. در این روش، ایده اصلی چنین است که با استفاده از تکنیک‌های خاص، حجم محدودی از رسوبات رنگ شده و در نقاط مشخصی در آب تخلیه شوند. با اندازه‌گیری میزان رسوبات رنگی جمع شده در داخل تله‌های رسوب‌گیر، نرخ تقریبی انتقال رسوبات ماسه‌ای به دست می‌آید.

روش فوق‌الذکر دارای مزایا و معایب گوناگونی می‌باشد. مزیت اصلی این روش، نسبت به مدل فیزیکی، حذف خطاهای ناشی از اثر مقیاس و در کل دقت به دلیل عمل در شرایط حقیقی می‌باشد. در مقایسه با مدل‌های ریاضی، به دلیل ساده‌سازی فرآیندها که از اصول مدل‌سازی ریاضی هر پدیده می‌باشد، این روش دارای دقت بهتری می‌باشد. بنابراین ارقام بدست آمده از این آزمون، از بهترین و قابل استفاده‌ترین ارقام می‌باشند. این مهم زمانی اهمیت ویژه می‌یابد که هزینه اجرای آزمون در اندازه‌گیری در محل گزاف نباشد.

از سویی معایب و دشواری‌های این روش نیز قابل طرح می‌باشد. نقص عمده این روش در ناتوانی در پاسخگویی به سؤالاتی همچون میزان تغییر نرخ انتقال رسوبات بر اثر ساخت و سازهای در مسیر آنها، تغییر مورفولوژیکی خط ساحل و غیره می‌باشد. هم‌چنین مکانیزم انجام آزمون نیز خالی از دشواری و احیاناً اشکال نیست. به عنوان مثال رنگ مورد استفاده برای رنگ کردن دانه‌های رسوب، باید خصوصیات ویژه‌ای را دارا باشد. به طوری که پس از اختلاط با رسوبات، باعث چسبیدن دانه‌ها به هم نشوند، باعث تغییر جرم حجمی و در نتیجه تغییر در سرعت سقوط دانه‌ها نگردد، تنوع رنگ‌ها به گونه‌ای باشد که امکان بررسی هم‌زمان چند منبع رسوبی را فراهم سازد، رنگ در آب حل نشود، نسبت به شوری حساس نبوده و واکنش‌های شیمیایی یا فیزیکی خاص با آب شور نداشته باشد.

عیب عمده دیگر این روش، مقطعی بودن آن است. تعیین این موضوع که شرایط زمان آزمون، شرایط میانگین، بحرانی و یا آرامش بوده است و تعمیم نتایج آن به کلیه شرایط موجود، کاری دشوارتر و توأم با خطا می‌باشد.

روش دیگر در بررسی موضوع، استفاده از مدل‌های فیزیکی می‌باشد. مدل‌های فیزیکی با توانایی شبیه‌سازی نسبی شرایط واقعی از سوئی و توان پیش‌بینی تغییرات آتی از سوی دیگر، از جمله ابزارهای توانمند بررسی پدیده‌های طبیعی می‌باشند. اما کاربرد مدل‌های فیزیکی در بررسی پدیده رسوب‌گذاری، تردیدها و دشواری‌های ویژه‌ای را در ذهن آشکار می‌نماید. مشکل محوری که در نخستین قدم ظاهر می‌شود، اثر مقیاس است. وقتی قرار باشد از زبانه‌ای با ابعاد فرضی 6×10 کیلومتر مدلی ساخته شود، حداکثر مقیاسی که می‌توان برای آن متصور شد، چیزی حدود $1:150$ تا $1:200$ می‌باشد. با در نظر گرفتن این مقیاس، عمق آن در مدل، به حدود 3 الی 6 سانتی‌متر می‌رسد. از سوئی اندازه‌های مورد نیاز در مدل در محدوده‌ی ذرات لای قرار می‌گیرد که در نتیجه استلزام به کارگیری روش‌های ویژه و جنس دانه‌های خاص، جهت جلوگیری از به هم چسبیدن ذرات و همچنین دستیابی به سرعت سقوط متناسب با واقعیت، آشکار می‌گردد. محدودیت عمق آب در مدل، باعث اهمیت یافتن پدیده‌هایی همچون اصطکاک کف و انعکاس‌های جزئی می‌گردد. مشکلات فوق علاوه بر هزینه سنگین ساخت مدل‌های فیزیکی مطرح می‌باشد.

مشکلات متعدد فوق، اصرار و تلاش محققین را جهت دستیابی به شیوه‌ای که نیازمند کمترین استفاده از روش‌های فوق بوده و نقایص عمده آن‌ها را نیز نداشته باشد، تشدید نموده است. از سوئی رشد دانش بشری و یافته‌های روزافزون آن، جهت‌گیری مثبتی به نیاز فوق در راستای پاسخگویی به آن داده است. این موضوع، علت اصلی رشد روش‌های ریاضی جهت ساخت مدل‌های ریاضی می‌باشد. از یک مدل ریاضی انتظار می‌رود بتواند با تحلیل شرایط کنونی و پاسخگویی و آنالیز حساسیت وضع فعلی نسبت به پارامترهای اثرگذار بر آن شرایط، وضعیت آتی پدیده‌ی مورد مطالعه را به دلیل تغییرات حاصل در شرایط فعلی به علت تغییر پارامترهای اصلی پیش‌بینی نماید [۳۶].

۴-۷. معرفی اجمالی مدل ریاضی مایک ۲۱

در تحلیل پدیده‌های حاکم بر محیط دریا، مدل ریاضی مایک ۲۱ تهیه شده توسط انستیتوی هیدرولیک دانمارک ۷۸ یکی از شناخته‌شده‌ترین و پرکارترین آن‌هاست و دارای قابلیت‌های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده‌های مربوط به خورها، دریاچه‌ها، نواحی کم‌عمق ساحلی، خلیج‌ها و دریاها می‌باشد. این مدل با دارا بودن قابلیت‌های گوناگون در دریافت اطلاعات ورودی در محدوده وسیعی از کاربردها و ارائه خروجی‌های مناسب جهت کاربردهای تحقیقاتی و مهندسی، ابزار مناسبی جهت تحلیل پدیده فرسایش در سواحل و تعیین نرخ انتقال رسوبات ساحلی می‌باشد.

این نرم‌افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان‌های آزاد ۷۹ دوبعدی است که در آن‌ها لایه‌بندی ۸۰ جریان سیال قابل صرف‌نظر باشد و در عین حال در کامپیوترهای موجود قابل اجرا است. رقم‌های پسوند ۲۱ از چپ به راست در واقع کاربرد این سیستم برای جریان‌های دوبعدی و یک لایه را بیان می‌کند. علی‌رغم اینکه برنامه کامپیوتری مایک ۲۱ از مدرن‌ترین امکانات نرم‌افزاری بهره گرفته است، به‌طور پیوسته تحت بازنگری قرار داشته و کاربردهای جدیدتری به آن اضافه می‌شود.

۴-۷-۱. ماژول مایک ۲۱/۳

ماژول مورد استفاده در این پژوهش، ماژول مایک ۲۱/۳ می‌باشد که یک سیستم مدلینگ دینامیکی برای کاربردهای ساحلی می‌باشد. برای مدل‌سازی انتقال رسوب ناشی از موج، از زیرمجموعه‌های مدل ماژول اصلی Couple Model FM که شامل ماژول هیدرودینامیکی یا جریان ۸۱، انتقال رسوب ۸۲ و طیفی موج ۸۳ می‌باشد، استفاده شده است. مدل هیدرودینامیکی یا جریان (HD)، جزرومد، رودخانه، باد، جریان‌های

78 Danish Hydraulic Institute
79 Free Surface Flows
80 Stratification
81 Hydrodynamic, HD
82 Sand transport, ST
83 Spectral wave, SW

ناشی از موج، برکشند طوفان و جریانات مدی و جزری را شامل می‌شود. با بکارگیری این مدول می‌توان، تغییرات سطح آب و جریانات را در هر مکان از منطقه مورد مطالعه، بررسی نمود. لازم به ذکر است که این مدول، جریانات را در یک سیال تک لایه (به طور عمودی همگن) شبیه‌سازی می‌کند. جریان‌ها شامل جریان کشندی، جریان ناشی از موج یا ترکیبی از این دو می‌باشند. در واقع این نرم‌افزار روشی برای تحلیل برهم‌کنش متقابل بین امواج و جریان‌ها با استفاده از یک رابطه دینامیکی بین مدول‌های HD و SW ارائه می‌دهد. همچنین از طریق ایجاد یک رابطه بین سه مدول ST، HD و SW قادر به مدل‌سازی نحوه بازخورد کامل بین تغییرات تراز بستر در اثر گردش‌های ناشی از موج و جریان به صورت توأم ارائه می‌دهد. در این تحقیق از مدل دو بعدی جریان در مدول HD استفاده شده است که بر اساس معادلات آب کم‌عمق و ممنتوم می‌باشد، که در واقع در آن از معادلات میانگین‌گیری شده ناوراستوکس در یک شماره تراکم ناپذیر انتگرال‌گیری می‌شود. مدل ST برای بررسی میزان انتقال رسوبات غیرچسبنده تحت اثر جریان و موج به کار می‌رود. این مدل برای محاسبه تغییرات انتقال رسوب غیرچسبنده در دو بعد تحت تاثیر موج و جریان به کار گرفته می‌شود. مدول موج یا SW قادر است که نرخ رشد، کاهش و انتقال امواج را از دور از ساحل تا نزدیک آن، با در نظر گرفتن کم‌عمقی، انعکاس و تفرق شبیه‌سازی کند.

❖ معادلات حاکم بر ماژول طیفی موج SW

مدل ریاضی مورد استفاده جهت پیش‌بینی مشخصه‌های امواج، مدل SW می‌باشد. مبنای این مدل برای پیش‌بینی موج، حل معادله انتقال انرژی همراه با ترم‌های چشمه و چاه می‌باشد. به منظور لحاظ کردن طبیعت تصادفی امواج دریا، معادله انرژی در شکل طیفی آن در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. شکل معادلات انتقال در حالت دو بعدی به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\cos \theta}{C} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial x} + \frac{\sin \theta}{C} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial y} + \frac{C_g}{C} \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \frac{\partial E}{\partial \theta} = S \quad (۴-۶)$$

t : زمان

E : طیف انرژی موج فرکانسی جهتی

X,y : مختصات دکارتی در حالت دو بعدی

f : فرکانس

θ : جهت انتشار امواج

C_g : سرعت گروهی موج

C : سرعت انتشار موج

S : عبارت چشمه و چاه

معادله فوق خاطر نشان می کند که هر مولفه از یک طیف فرکانسی جهتی با سرعت گروهی موج حرکت می کند و در مسیر خود تحت اثر افزایش یا کاهش انرژی ناشی از توپوگرافی کف دریا، سرعت و جهت باد و نیز شکل طیف قرار می گیرد. آخرین عبارت در سمت چپ معادله مذکور اثر انکسار و پشته کردن موج را در نظر می گیرد. عبارت منبع در سمت راست معادله انتقال موج بصورت زیر تعریف می شود:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{surf} \quad (7-4)$$

که در آن S_{in} معرف انتقال انرژی از باد به سطح آب، S_{nl} معرف انتقال انرژی از یک فرکانس به فرکانس دیگر توسط اندرکنش غیرخطی امواج، S_{dis} معرف استهلاک انرژی موج در اثر پدیده سفیدک رأس موج^{۸۴}، S_{surf} معرف استهلاک انرژی موج ناشی از شکست موج در ناحیه کم عمق می باشد.

❖ معادلات حاکم بر ماژول هیدرودینامیک (HD)

ماژول هیدرودینامیک (HD)، تغییرات سطح آب و جریان در واکنش به نیروهای مختلف در محیطهای دریایی را نشان می دهد. معادلات این ماژول به صورت متداول در حالت سه بعدی بیان می شود ولی معادلات برای جریان دو بعدی، با انتگرال گیری معادلات بر روی اعماق به دست می آید. معادلات بقای جرم و مومنتم به عنوان معادلات حاکم در این ماژول می باشد که در معادلات (۴-۶) تا (۴-۱۰) آورده شده است. در این ماژول جهت حل معادلات از روش تفاضل محدود استفاده شده است [۱۰].

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = s \quad (8-4)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2.h^2} - \frac{1}{p_w} \left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right] - \omega q - f v v_x + h \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p_a}{p_w} \right] = 0 \quad (9-4)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{c^2.h^2} - \frac{1}{p_w} \left[\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - f v v_y + h \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{p_a}{p_w} \right] = 0 \quad (10-4)$$

در معادلات بالا پارامترها به صورت زیر معرفی می گردند:

h : عمق آب t : زمان x, y : مختصات دکارتی در حالت دو بعدی f : ضریب اصطکاک باد

ζ : تغییرات تراز سطح آب c : ضریب شزی P_a : فشار هوا P_w : جرم حجمی آب v, u :

سرعت متوسط عمقی در جهت های مختلف p, q : دانسیته شار در جهت های مختلف

❖ معادلات حاکم بر ماژول انتقال ماسه (ST)

ماژول انتقال ماسه (ST)، جهت شبیه سازی انتقال رسوبات غیرچسبنده مورد استفاده قرار می گیرد. معادلات بایکر به عنوان معادلات حاکم در این ماژول می باشد که در معادلات (4-11) و (4-12) آورده شده است، قابل ذکر است که در روش بایکر بار بستر و بار معلق به صورت جدا از هم حساب شده و در انتها با یکدیگر جمع می شوند. جهت حل معادلات از روش تفاضل محدود استفاده شده است [10].

$$q_b = d_{50} \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}} \exp\left(\frac{0.27(s-1)d_{50}\rho g}{\mu_r \tau_{wc}}\right) \quad (11-4)$$

$$q_s = 1.83q_b \left(I_1 \ln\left(\frac{h}{0.033k_s}\right) + I_2 \right) \quad (12-4)$$

در معادلات (4-11) و (4-12)، q_b بار بستر، q_s بار معلق، d_{50} اندازه متوسط ذرات، τ_c تنش برشی

بستر، ρ جرم مخصوص آب، s جرم مخصوص نسبی ذرات، g شتاب جاذبه، μ_r ضریب شکنج، τ_{wc}

تنش برشی میانگین بستر، h عمق آب، k_s زبری بستر، I_1 و I_2 انتگرال های انیشتین است.

۴-۷-۲. تعیین محدوده جغرافیایی در نرم افزار

سیستم تصویر مورد استفاده در این مدلسازی، سیستم تصویر UTM ۸۵ است. این سیستم تصویر در سال‌های آخر دهه ۱۹۴۰ به وسیله ارتش آمریکا ابداع شد و بر اساس این سیستم تصویر، زمین به ۶۹ زون ۶ درجه‌ای در طول‌های جغرافیایی تقسیم‌بندی شده است. این زون‌ها از غرب به شرق و از یک تا ۶۹ نام‌گذاری شده‌اند. کشور ما در زون‌های ۳۸ تا ۴۱ قرار گرفته است. اگر منطقه مورد مطالعه در بیش از یک زون واقع شود، می‌توان از گزینه $LONG/LAT$ ^{۸۶} استفاده کرد. همان‌گونه که در شکل (۴-۲۱) مشاهده می‌شود منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در قسمت شرقی زون ۳۹ واقع شده است.



شکل (۴-۲۱). سیستم تصویر UTM برای ایران و زبانه میانکاله

۴-۸. بررسی مدل عددی

در این قسمت مدل عددی دو بعدی به منظور پیش‌بینی وضعیت تغییرات خط ساحلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. قبل از ارائه بررسی مدل عددی، داده‌های موجود از مشخصات هیدرودینامیکی در منطقه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این داده‌ها شامل موج و جریان می‌باشد که به مدت یک ماه در دسترس

85 Universal Transverse Mercator

86 longitude/latitude

می‌باشد.

اطلاعات موج اندازه‌گیری شده در محدوده پژوهش، مربوط به اندازه‌گیری‌های انجام شده در پروژه پایش و شبیه‌سازی سواحل شمالی کشور است. اطلاعات موج در این منطقه برای دو ایستگاه و در عمق آب ۵ و ۱۳/۵ متری می‌باشد. بازه زمانی اطلاعات اندازه‌گیری شده در عمق آب ۵ متری و ۱۳/۵ متری به ترتیب حدود دو ماه و یک سال بوده است که در این پژوهش تنها یک ماه از اطلاعات در دسترس می‌باشد. در شکل (۴-۲۲) موقعیت دستگاه‌های اندازه‌گیری نشان داده شده است. همچنین، مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۴-۵) ارائه شده است.



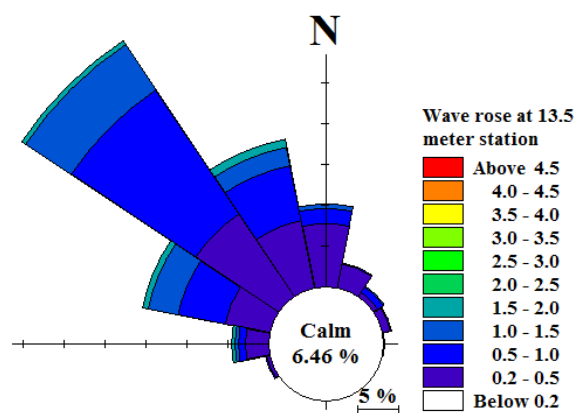
شکل (۴-۲۲). موقعیت دو ایستگاه اندازه‌گیری موج در محدوده بندر امیرآباد

گل‌موج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی امیرآباد برای ایستگاه‌های A و B به ترتیب در شکل (۴-۲۳) و شکل (۴-۲۴) نشان داده شده است. همچنین نمودار سری زمانی آن در شکل (۴-۲۵) نشان داده شده است. با توجه به نمودارها مشخص است که امواج انتقال یافته در ایستگاه B اندکی بیشتر از ایستگاه A است. همچنین جهات امواج در ایستگاه B بیشتر به سمت عمود بر ساحل گرایش دارد. توضیحات ذکر شده نشان می‌دهد که امواج در ایستگاه B تحت تأثیر پدیده‌های خزش ۸۷ و انکسار ۸۸ می‌باشد. این قضیه می‌تواند نشان دهد که شکست امواج در اعماق کمتر از ۵ متر اتفاق می‌افتد و فاصله منطقه

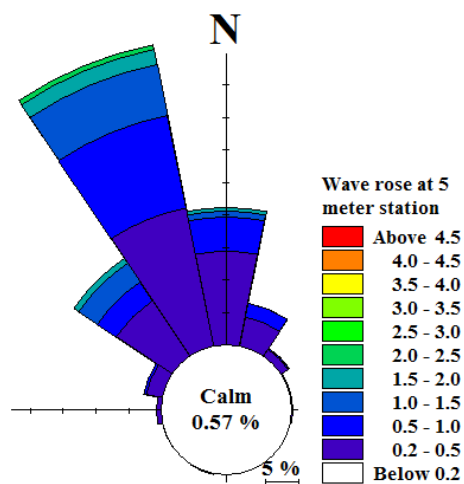
شکست ۸۹ تا خط ساحل کمتر از ۷۰۰ متر خواهد بود.

جدول (۴-۵). موقعیت و مشخصات ایستگاه دارای اندازه‌گیری میدانی در منطقه

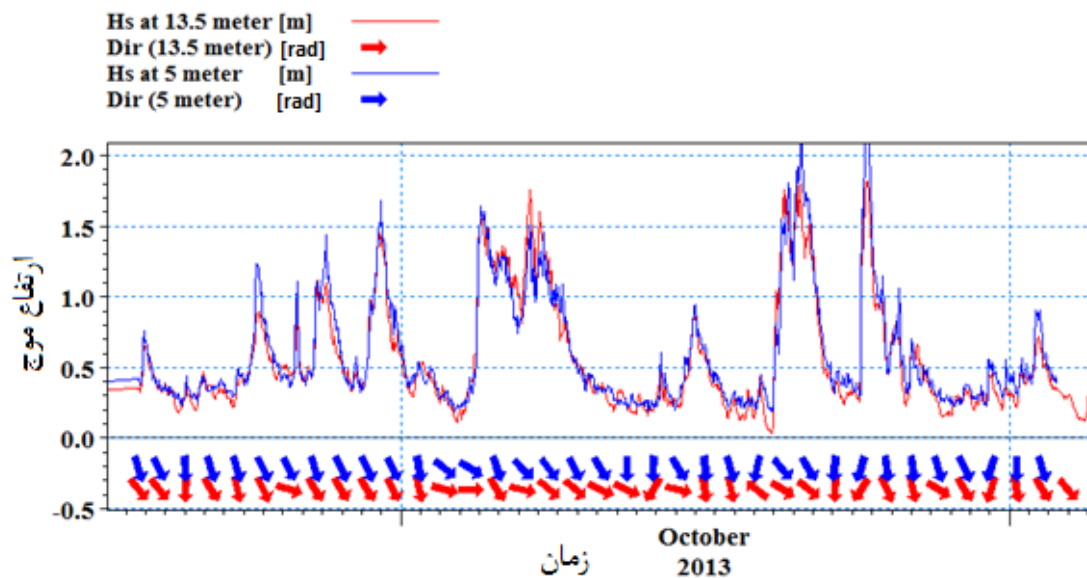
نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق آب در محل نصب	نوع دستگاه اندازه‌گیری	فاصله از خط ساحل
A	۵۳/۴۱۱۱	۳۶/۹۱۴۲	۱۳/۵	AWAC	۷/۴ کیلومتر
B	۵۳/۳۳۱۹	۳۶/۸۵۸۶	۵	Aquadopp	حدود ۳ کیلومتر



شکل (۴-۲۳). گل موج یک ماهه حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه امیرآباد (ایستگاه A)

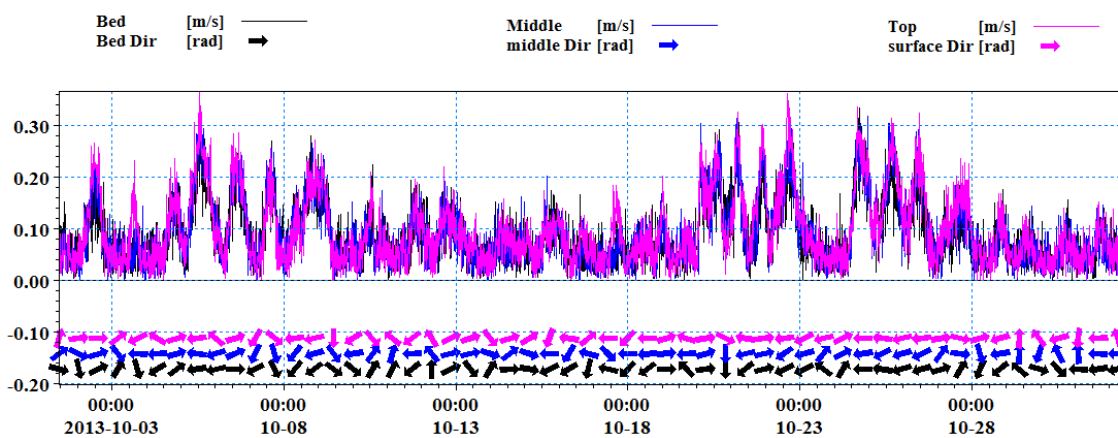


شکل (۴-۲۴). گل موج یک ماهه حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه امیرآباد (ایستگاه B)

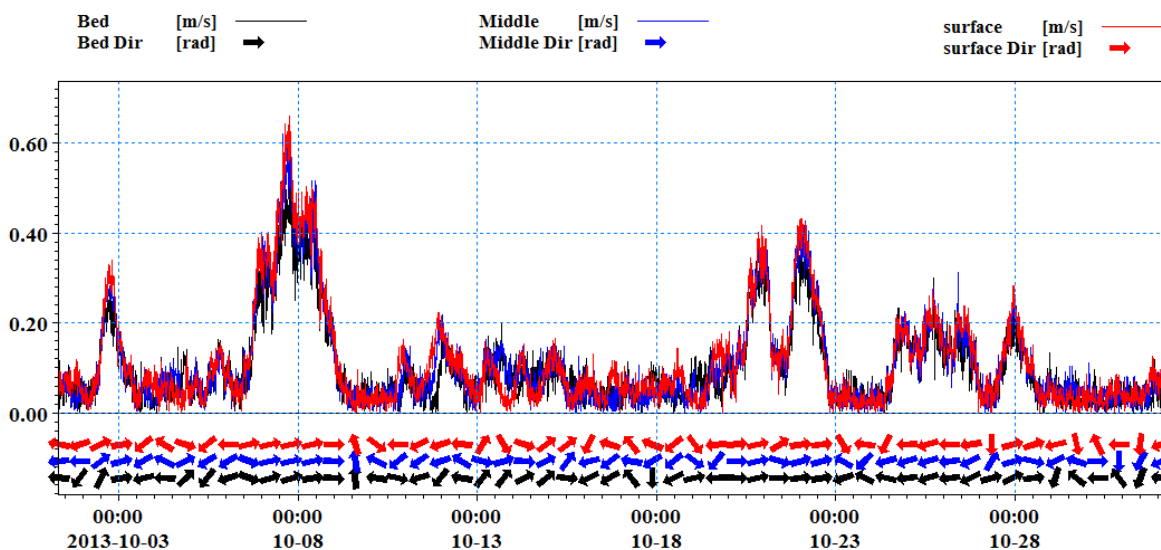


شکل (۴-۲۵). نمودار سری زمانی امواج و جهت موج برای ایستگاه‌های A و B

هم‌چنین سری زمانی مقدار و جهت جریان در بستر، میانه و سطح آب برای ایستگاه A و B به ترتیب در شکل (۴-۲۶) و شکل (۴-۲۷) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشخص است تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین مقادیر جریان در عمق وجود ندارد (یکنواختی جریان در عمق و فرض دو بعدی بودن جریان). اگرچه برای جریان‌های کوچکتر از ۰/۱۵ متر بر ثانیه تفاوت در جهت جریان دیده می‌شود، اما این تفاوت‌ها برای جریان کمتر از ۰/۱۵ متر بر ثانیه که سرعت آستانه حرکت رسوبات در این منطقه است، کم اهمیت خواهد بود.



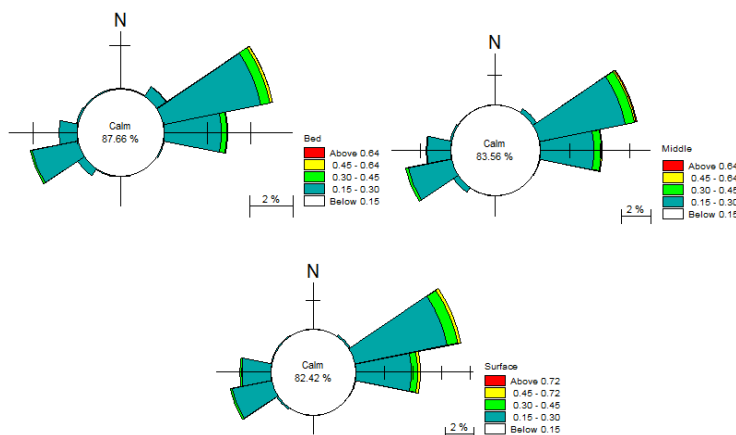
شکل (۴-۲۶). سری زمانی سرعت و جهت جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه B در عمق‌های مختلف برای یک ماه



شکل (۴-۲۷). سری زمانی سرعت و جهت جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه A در عمق‌های مختلف برای یک ماه

با مشاهده گل جریان شکل (۴-۲۸) نیز مشخص است که جهت جریان‌های بزرگ‌تر از ۰/۱۵ متر بر ثانیه موازی ساحل است. با توجه به این شکل مشخص می‌شود که فراوانی جریان‌های غرب به شرق بیشتر از جریان‌های شرق به غرب است. بررسی گل جریان‌ها در عمق نیز عدم تغییرات قابل ملاحظه سرعت جریان در عمق را نشان می‌دهد. این مسئله می‌تواند دویبعدی بودن ساختار جریان در این منطقه را تایید کند.

نتیجه دیگر وجود دو جریان غالب در منطقه است به طوری که گاهاً در دهانه خلیج گرگان به هم برخورد می‌کنند. برخورد دو جریان می‌تواند منجر به افزایش تغییرات سطح آب در جلوی دهانه خلیج گرگان شود و همین مسئله نیز می‌تواند جریان شدید از سمت دریا به سمت خلیج را منجر شود.



شکل (۴-۲۸). گل جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه A

۴-۹. مدل سازی امواج

در بخش‌های قبل، نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها، مشاهدات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای بررسی شده است. برای دستیابی به دقت بیشتر از مدل محلی (کوچک مقیاس) با مش‌های ریز استفاده می‌شود. مشکل اصلی در این قسمت کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل عددی جریان می‌باشد. به همین منظور در این مطالعه تنها جریان ناشی از شکست موج که به لحاظ رسوبی از اهمیت بالایی برخوردار است، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

از این رو، در این فصل نتایج مدل محلی اجرا شده در اطراف سواحل میانکاله و بندر امیرآباد بررسی خواهد شد. برای برپایی مدل محلی نیاز به اطلاعات شرایط مرزی می‌باشد که برای مرز شمالی از شرایط مرزی Land zero normal velocity، برای مرزهای شرقی و غربی نیز از تراز سطح آب صفر استفاده خواهد شد. شرایط مرزی Land zero normal velocity به این معنا هست که جریان عمود بر این مرز وجود ندارد اما جریان در کنار دیوار صفر نیست. انتخاب این شرط با مفهوم جریانات دریایی سازگار است، چراکه جریانات ناشی از شکست موج عموماً تا عمق ۷ متری دیده می‌شود و امکان رسیدن جریان چه به صورت موازی و چه به صورت عمود به دیوار شمالی در قسمت‌های عمیق وجود ندارد. علت انتخاب تراز سطح صفر برای دو مرز جانبی این است که هدف تنها شبیه سازی جریان ناشی از شکست موج است، بنابراین انتظار بر این است که جریان از یک سو وارد و از سمت دیگر خارج شود و عواملی همچون گرادیان تراز سطح آب تأثیری در ساختار جریان نداشته باشد.

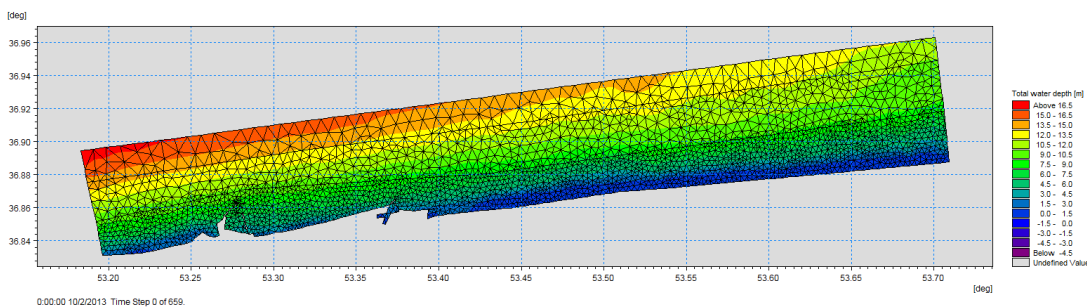
مدل در نظر گرفته شده، مدل هم‌زمان موج و جریان می‌باشد که برای شرایط مرزی موج (مرز شمالی) از داده‌های سری زمانی موج استفاده شده است. برای مرز شرقی و غربی در مدل موج نیز از شرایط مرزی Lateral استفاده شده است. شرط مرزی Lateral به این معنی می‌باشد که گرادیان پارامترهای مؤثر در مرز صفر است. بنابراین هر چه در محدوده محاسباتی، محاسبه شده است در محدوده بیرون نیز همان مقدار در نظر گرفته می‌شود. علت اصلی انتخاب این شرایط مرزی این است که عموماً پارامتر

مؤثری مانند موج در راستای موازی ساحل تغییری ندارد. اما در مرز شمالی تغییرات ارتفاع موج دیده شده است تا بدین ترتیب اثر موج در جریان ناشی از شکست آن دیده شود. در بخش اول، به برپایی مدل و جریان و شناخت رژیم‌های مختلف آن در اطراف بندر امیرآباد و سواحل میانکاله پرداخته خواهد شد. در ادامه با شناخت الگوی جریان منطقه و در نهایت تاثیر تراز سطح آب سواحل قسمت شرقی بندر امیرآباد و زبانه میانکاله مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۱۰. برپایی مدل موج و جریان

در این قسمت تأثیر وجود موج‌شکن‌های بندر امیرآباد و نکا بر روی جریان ذکر شده به کمک مدل‌های عددی محلی بررسی خواهد شد. منطقه محلی انتخاب شده تقریباً ۵۰ کیلومتر طول و ۵ کیلومتر عرض دارد. در دهانه و اطراف بندر از مش‌های ریز ۲۰ متری و در آب‌های عمیق‌تر مش ۱۰۰۰ متری استفاده شده است. در شکل (۴-۲۹) نمایی از وضعیت منطقه محلی انتخاب شده و شبکه محاسباتی آورده شده است.

در مدل‌سازی امواج برای شرایط مرزی، در مرز شمالی از داده‌های سری زمانی یک‌ساله در ایستگاه A استفاده شده است. برای مرز شرقی و غربی در مدل موج نیز از شرایط مرزی Lateral استفاده شده است. به‌منظور صحت‌سنجی مدل امواج اجرا شده از داده‌های کم‌عمق (ایستگاه B) استفاده شده است.

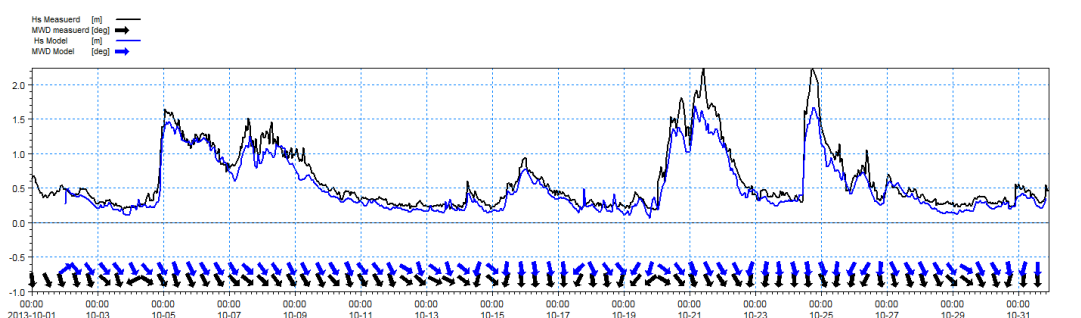


شکل (۴-۲۹). منطقه محلی انتخاب شده و وضعیت مش‌بندی

شکل (۴-۳۰) مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی و مقادیر اندازه‌گیری ارتفاع موج را برای ایستگاه B نشان می‌دهد. محور قائم ارتفاع موج و محور افقی زمان می‌باشد. با توجه به شکل مشخص است که

مدل محلی انتخاب شده به مقدار مناسبی در شبیه‌سازی وضعیت موج موفق بوده است. مدل موردنظر یک مدل هم‌زمان موج، جریان و رسوب است.

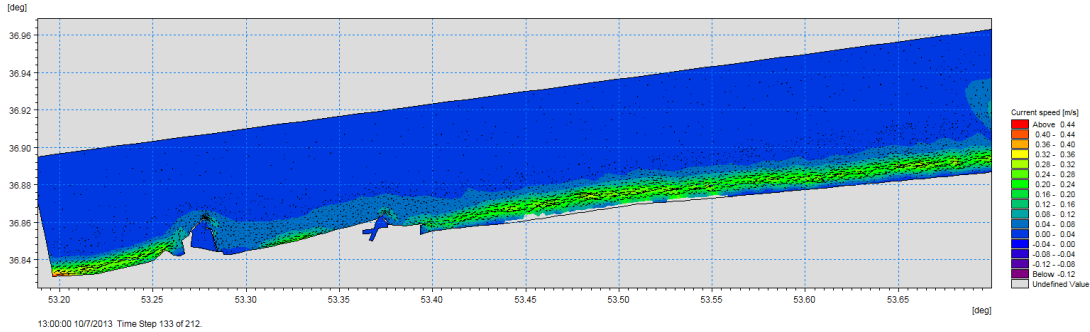
همان‌طور که در این شکل مشخص است، به نظر می‌رسد انتخاب شرایط مرزی سری زمانی امواج برای کل مرز شمالی و همچنین انتخاب شرایط مرزی Lateral برای دور مرز جانبی مناسب بوده است و شبیه‌سازی محلی مدل موج برای این منطقه و با این روش می‌تواند در شناخت اقلیم موج منطقه و شبیه‌سازی جریان مؤثر باشد. علاوه بر این، با خروجی گرفتن مقادیر تنش تشعشعی ۹۰ از مدل امواج، می‌توان اقدام به شبیه‌سازی جریان ناشی از شکست موج در این منطقه کرد. با توجه به مقایسه دقیق امواج که در ماه اکتبر سال ۲۰۱۳ انجام شده، شبیه‌سازی جریان ناشی از شکست موج نیز تا حدود زیادی از دقت مناسبی برخوردار است.



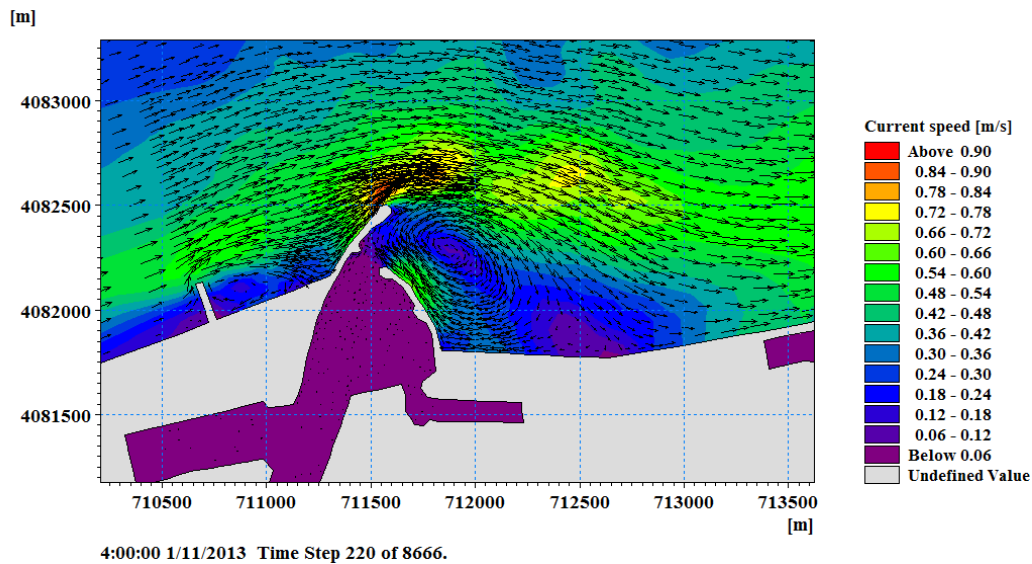
شکل (۴-۳۰). مقایسه امواج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای ایستگاه B

شکل (۴-۳۱) جریان ناشی از شکست موج را در منطقه نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است که جریان ناشی از شکست موج عمدتاً در نواحی ساحلی مشاهده می‌شود. این جریان با برخورد به بنادر منطقه از قسمت بالای موج‌شکن عبور می‌کنند. شکل (۴-۳۲) الگوی جریان اطراف بندر را برای جریان‌های قوی (سرعت ۰/۷ متر بر ثانیه) که از سمت غرب به شرق در جریان هستند نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در اثر جریان غرب به شرق، گردابه‌ای در جلوی دهانه بندر تشکیل می‌شود. با توجه به شکل مشخص است که سرعت گردابه تشکیل شده حدود ۰/۴ متر بر ثانیه می‌باشد. لازم به توضیح است که این مقدار سرعت گردابه توانایی انتقال رسوب را در منطقه دارد. علاوه بر تشکیل گردابه

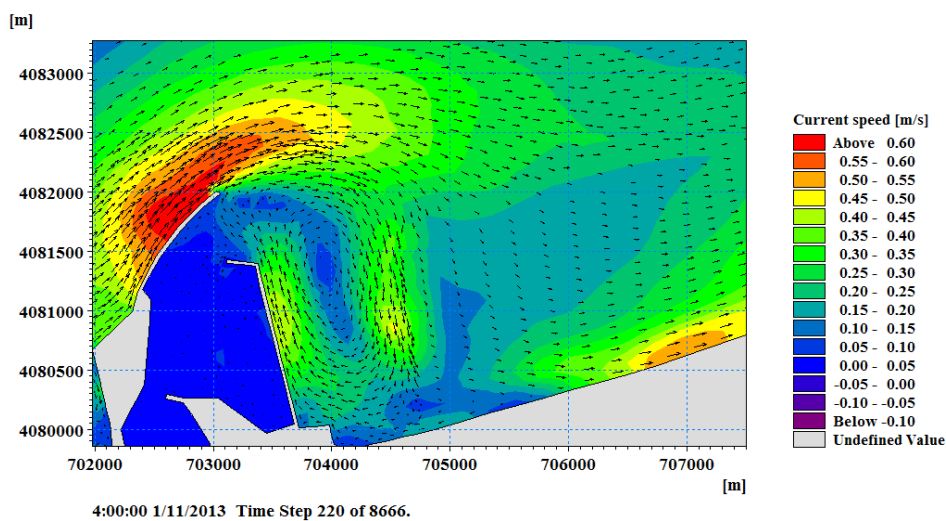
در دهانه بندر امیرآباد گردابه بزرگی نیز در اثر برخورد جریان غرب به شرق با بندر امیرآباد در جلوی دهانه این بندر تشکیل می‌شود. شکل (۴-۳۳) وضعیت جریان در پایین دست بندر نکا را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۳۱). شبیه‌سازی جریان ناشی از شکست موج در منطقه میانکاله



شکل (۴-۳۲). الگوی جریان اطراف بندر (جریان غرب به شرق)

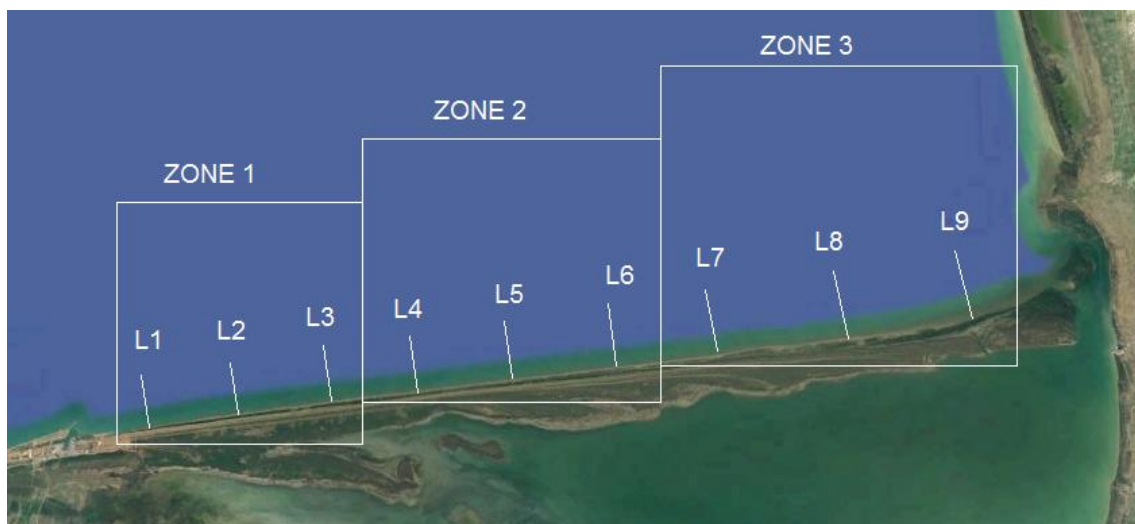


شکل (۴-۳۳). تشکیل گردابه در جلوی دهانه بندر صدرا و امیرآباد

۴-۱۱. بررسی اثر کاهش تراز سطح آب بر انتقال رسوب ساحلی با

استفاده از مدل عددی

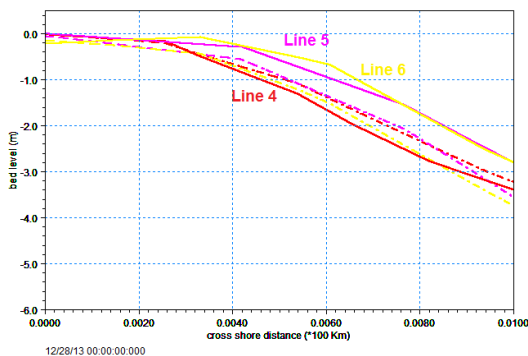
همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، زبانه میانکاله طولانی بوده و از آنجایی که قسمت غربی زبانه میانکاله تحت تأثیر بنادر امیرآباد و نکا، و قسمت شرقی آن متأثر از دهانه میانکاله می‌باشد، پیش‌بینی می‌شود الگوی رسوب‌گذاری در امتداد این زبانه متنوع باشد. از این رو در طول زبانه تعدادی ایستگاه لحاظ شده و در هر ایستگاه یک مقطع عرضی عمود بر ساحل در نظر گرفته شده است تا تأثیر کاهش تراز آب دریا بر الگوی رسوب‌گذاری در آن‌ها مورد بررسی و تفسیر قرار گیرد (شکل ۴-۳۴).



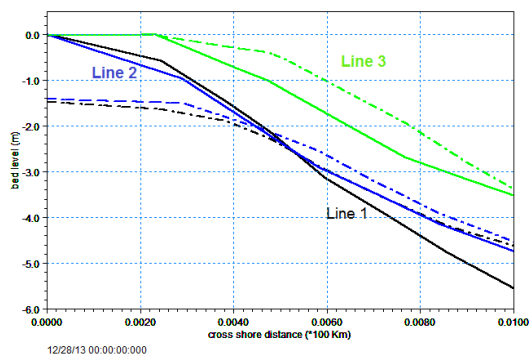
شکل (۴-۳۴). مقاطع عرضی در نظر گرفته شده در مناطق سه‌گانه سواحل زبانه میانکاله

در شکل‌های (۴-۳۵) و (۴-۳۶) تغییرات نیمرخ عرضی و نیز میزان انباشت و فرسایش رسوبات در نیمرخ‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود. با توجه به این شکل‌ها در مقاطع یک و دو (در بخش غربی) که تحت تأثیر سازه‌های ساحلی این مناطق قرار دارند، تغییرات تراز بستر در اثر کاهش تراز آب دریا به صورت رسوب‌گذاری در منطقه نزدیک ساحل و منطقه پس‌کرانه (صفر تا ۵۰۰ متر) می‌باشد که قبل از اجرای مدل به دلیل احداث سازه‌ها دچار فرسایش تدریجی شده است. شیب تندتر این نواحی موجب شکست امواج در نواحی نزدیک‌تر به ساحل شده و در نتیجه آورد رسوبی بیشتری را حاصل نموده است.

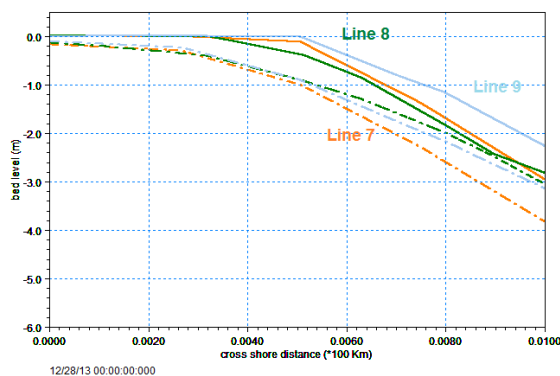
در مقطع سوم کاهش تراز آب مطابق قسمت الف شکل (۴-۳۵) تأثیر چندانی در پیشروی خط ساحل ندارد چراکه پیش از اجرای مدل در منطقه صورت ساحل و خیزاب ساحلی (منطقه نزدیک ساحل، فاصله صفر تا ۵۰۰ متری) خواهیم بود؛ و از ۵۰۰ تا ۸۰۰ متری ساحل بدون تغییرات تراز بستر درحالی که از ۸۰۰ متر به سمت ناحیه دور از ساحل این میزان فرسایش به سمت دریا کاهش می‌یابد (شکل ۴-۳۶ قسمت الف). در نتیجه به نظر می‌رسد در مقطع سوم رسوبات از منطقه نزدیک ساحل به سمت دریا هدایت می‌شوند و خط ساحل هیچ تغییری نمی‌کند. مقطع چهارم نیز تقریباً مشابه مقطع شماره سه است. حال علت عدم پیشروی خط ساحل با کاهش تراز آب در این دو مقطع می‌تواند به یکی از پارامترهای مربوط به پیشروی خط ساحل مطابق رابطه (۴-۱) وابسته باشد. و یا اینکه به‌طور هم‌زمان به دو یا سه پارامتر از رابطه بیان شده وابسته باشد.



ب. بخش میانی



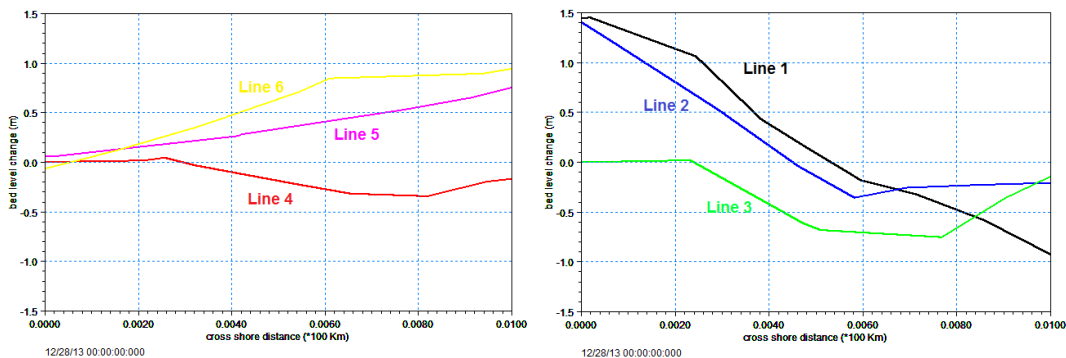
الف. بخش غربی



ج. بخش شرقی

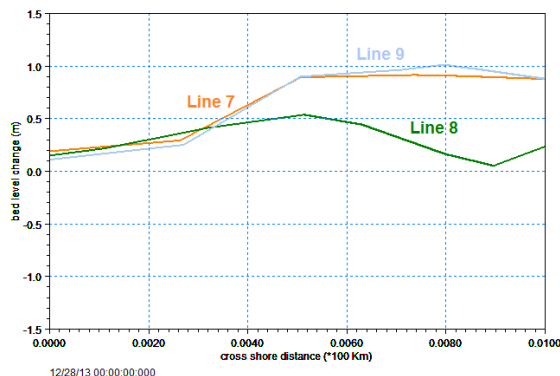
شکل (۴-۳۵). نمودار تراز بستر مربوط به نیمرخ‌های عرضی بخش‌های مختلف زبانه میانکاله در قبل از اجرای مدل (خط چین) و پس از اجرای مدل (خط توپر)

از مقطع پنج به بعد (مقاطع پنج تا نه) حتی با کاهش تراز آب دریا شاهد رسوب گذاری مطابق قسمت های ب و ج شکل (۴-۳۶) در منطقه نزدیک ساحل خواهیم بود که این امر موجب پیشروی خط ساحل به سمت دریا می شود؛ که هرچه قدر به سمت شرق نزدیک تر می شویم، به دلیل کاهش شیب بستر میزان رسوب گذاری و در نتیجه پیشروی خط ساحل افزایش خواهد یافت.



ب. بخش میانی

الف. بخش غربی

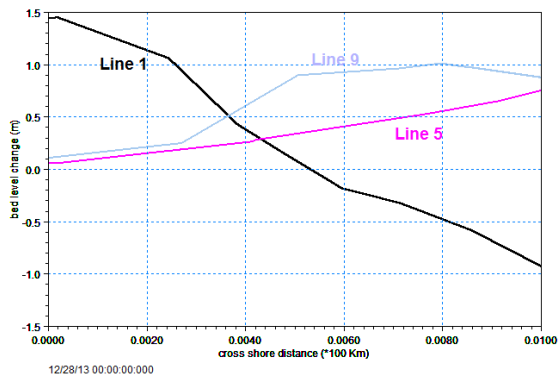


ج. بخش شرقی

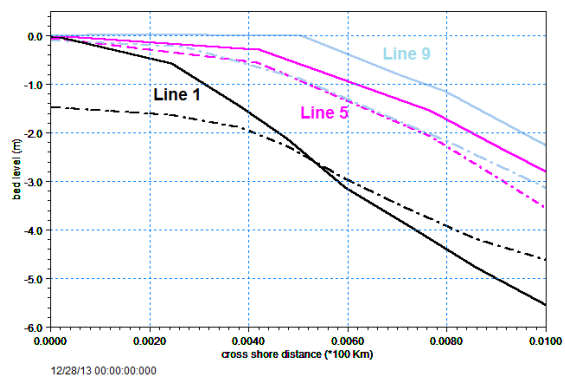
شکل (۴-۳۶). نمودار تغییرات تراز بستر مربوط به نیمرخ های عرضی بخش های مختلف زبانه میانکاله پس از اجرای مدل در اثر کاهش تراز آب دریا و با توجه به شیب، ساحل در ناحیه های ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ از نوع رسوب گذار است؛ در ناحیه های ۳ و ۴ از نوع فرسایشی و در نهایت در نواحی ۱ و ۲ سواحل ترکیبی از دو حالت رسوب گذار (تا فاصله ۵۰۰ متری) و فرسایش پذیر (از فاصله ۵۰۰ متری به سمت فراساحل) هستند.

۴-۱۲. بررسی انواع سواحل میانکاله با استفاده از نتایج مدل سازی

جهت بررسی نوع سواحل مناطق مختلف زبانه میانکاله، از هر بخش یک لاین انتخاب شده و نمودار تراز بستر و تغییرات تراز بستر آن ها در قبل و پس از اجرای مدل رسم و مقایسه شده است (شکل ۴-۳۷).



ب. تغییرات تراز بستر



الف. تراز بستر

شکل (۴-۳۷). نمودار تراز بستر و تغییرات تراز بستر مربوط به بخش غربی (خط یک)، بخش میانی (خط پنج) و بخش شرقی (خط نه) در قبل از اجرای مدل (خط چین) و پس از اجرای مدل (خط توپر)

با توجه به شکل بالا هرچه قدر به سمت شرق زبانه نزدیک تر می شویم، میزان پیشروی خط ساحل بیشتر است، جریان کرانه راستا بیشتر بوده و در نتیجه انتقال رسوب آن نیز بیشتر می شود. با توجه به شکل در بخش میانی و شرقی (قبل از اجرای مدل) تقریباً بر هم منطبق اند اما بعد از اجرای مدل پیشروی خط ساحل در منطقه شرقی چشم گیرتر از منطقه میانی است. این نشان از تأثیر بیشتر کاهش تراز سطح آب روی پیشروی ساحل در مناطق شرقی زبانه دارد. از آنجایی که شیب بستر در مناطق شرقی بسیار کم بوده، امواج در فاصله دورتری از ساحل شکسته شده و به واسطه شیب کم بستر انرژی حاصله از شکست امواج در سطح وسیع تری پراکنده شده و بدین جهت تأثیر کمتری بر روی سواحل زبانه خواهد داشت. و این خود دلیلی بر افزایش ویژگی پراکنایی سواحل شرقی زبانه میانکاله می باشد.

۴-۱۳. نتایج دسته بندی خط ساحلی زبانه میانکاله

در قسمت غربی زبانه به علت شیب توپوگرافی بیشتر نسبت به شرق، شرایطی ایجاد شده که شکست موج در ناحیه نزدیک تر ساحل نسبت به مناطق شرقی و میانی ساحل میانکاله رخ می دهد. از غرب به شرق زبانه حساسیت ساحل نسبت به نوسانات تراز آب دریای خزر با توجه به ارتفاع پایین امواج، کم بودن انرژی و کاهش شیب بستر افزایش می یابد. قسمت شرقی سواحل میانکاله به علت شیب توپوگرافی مسطح، شکل ظاهری سواحل با سواحل پراکنایی مطابقت دارد؛ و هرچه از شرق به سمت غرب پیش

برویم از تسلط سواحل پراکنا کمتر می‌شود؛ هرچند نامحسوس بوده و تغییری در نوع ساحل ایجاد نمی‌شود. به‌طور عام کل سواحل میانکاله خاصیت سواحل پراکنایی را دارا هستند.

به‌طور کلی در سواحل که انرژی موج بالاست انتظار فرسایش و افزایش جریان‌های طولی را داریم. در سواحل غربی زبانه میانکاله فاصله خط شکست موج به ساحل نزدیک‌تر، ارتفاع امواج بالاتر و انتقال طولی رسوبات بیشتر است. اما در سواحل شرقی به علت ارتفاع پایین امواج، انرژی آن کم بوده، انتقال رسوبات طولی کاهش یافته، رسوبات تمایل به ته‌نشینی دارند و این پدیده باعث کم شدن شیب توپوگرافی منطقه شده و خط شکست از ساحل فاصله می‌گیرد. نتیجه این خط ساحلی بیان‌گر این عامل است که منطقه غربی نسبت به مناطق میانی و شرقی دارای انرژی امواج فعال‌تری بوده و قادر به حمل رسوبات در جهت جریان طولی ساحل (از غرب به شرق) می‌باشد و با حرکت به سمت شرق رفته رفته از انرژی امواج کاسته شده و جریان‌های ساحلی ضعیف‌تر می‌شود، از این رو رسوبات درشت‌تر باقی می‌مانند و رسوبات ریزدانه به حرکت در راستای جریان طولی ادامه داده تا زمانی که انرژی آنقدر کاهش می‌یابد که دیگر توانایی حمل رسوب را ندارند. در نتیجه هر چه از غرب به سمت شرق رفته از سرعت جریان کرانه راستای ساحل کم می‌شود تا اینکه در قسمت شرقی و در نزدیک به دهانه خلیج گرگان انتقال رسوب توسط جریان‌های ساحلی به حداقل خود می‌رسد.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱. پیشگفتار

این پژوهش با هدف بررسی تغییر و تحولات سواحل زبانه میانکاله بر اثر تغییرات تراز آب دریا و انتقال رسوب ناشی از آن انجام پذیرفت که در آن از طریق بررسی تئوری‌های تحلیلی، تصاویر ماهواره‌ای و همچنین همانند سازی عددی در محیط نرم افزار مایک ۲۱ پرداخته شده است. پس از تشخیص نوع ساحل زبانه میانکاله و بررسی تغییرات خط ساحل با استفاده از تئوری‌های تحلیلی و تصاویر ماهواره‌ای، تأثیر این تغییرات و انتقال رسوب ناشی از آن بر سواحل زبانه میانکاله مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج و تفسیر خروجی‌های مدل‌سازی ارائه گردید. در این فصل با توجه به مدل‌سازی صورت گرفته در فصل چهارم، به جمع‌بندی نهایی پرداخته شده که در ادامه به آن اشاره شده است.

۵-۲. بررسی تغییر و تحولات سواحل زبانه میانکاله بر اثر کاهش تراز آب

با استفاده از روابط تئوری و تصاویر ماهواره‌ای

در بخش اول این رساله، تئوری‌های تحلیلی مرتبط برای منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و سپس نتایج آن از طریق مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. با توجه به روابط تئوری و بررسی آن نتایج زیر حاصل شده است:

با استفاده از رابطه بروون (۱۹۶۲) میزان تغییرات خط ساحلی با کاهش سطح آب مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه شده است. نتایج حاصل از روابط تئوری کاملاً با اندازه‌گیری‌های انجام شده به وسیله تصاویر ماهواره‌ای که در سالهای ۱۳۵۴ و ۱۳۷۲ مقایسه شده است همخوانی داشته و می‌توان نتیجه گرفت که رابطه بیان شده پیش‌بینی مناسبی از میزان تغییرات خط ساحلی در سواحل میانکاله را ارائه خواهد کرد؛ هرچند در بعضی مناطق اختلاف قابل توجهی مشاهده می‌شود که علت آن تغییر پروفیل بستر در قسمت‌های مختلف زبانه و در نتیجه آن، تغییر

رابطه پیشنهادی برای قسمت‌های مختلف سواحل میانکاله می‌باشد که به همین منظور از مدل عددی استفاده شده و تا حدود زیادی اختلاف ایجاد شده کاهش یافته و مورد قبول می‌باشد. هم‌چنین با توجه به روابط تئوری ارائه شده توسط شرت، رایت و همکاران (۱۹۸۵)، هر سه بخش غربی، میانی و شرقی زبانه از نوع سواحل پراکنا بوده؛ هرچند این ویژگی در قسمت‌های شرقی و نزدیک به دهانه خلیج گرگان بیشتر به چشم می‌خورد.

۵-۳. بررسی تغییر و تحولات سواحل زبانه میانکاله بر اثر کاهش تراز آب

با استفاده از نتایج مدل عددی

ماژول مورد استفاده در این پژوهش، ماژول مایک ۲۱/۳ می‌باشد که یک سیستم مدلینگ دینامیکی برای کاربردهای ساحلی می‌باشد. برای مدل‌سازی انتقال رسوب ناشی از موج، از زیرمجموعه‌های مدل ماژول اصلی Couple Model FM که شامل ماژول هیدرودینامیکی یا جریان، انتقال رسوب و طیفی موج می‌باشد، استفاده شده است. در این بخش رساله از با استفاده از مدل عددی مایک ۲۱ تأثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر بخش‌های مختلف زبانه میانکاله مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده از همانند سازی عددی حاکی از آن است در غالب بررسی نیمرخ‌های عمود بر ساحل تراز بستر در بخش‌های مختلف زبانه میانکاله با توجه به شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر ساحل از قبیل ویژگی‌های امواج و جریانات ساحلی و هم‌چنین شرایط مورفودینامیکی حاکم شامل جنس رسوبات، شکل بستر، شیب ساحل و تغییرات عمق تعادلی، متفاوت است به‌طوری‌که در بخش‌های شرقی و در مجاورت دهانه باریک میانکاله با کاهش تراز آب شاهد پیش‌روی بیشتر خط ساحلی به سمت دریا نسبت به بخش‌های غربی و مرکزی خواهیم بود.

بررسی حالت‌های مختلف حاکم بر سواحل زبانه میانکاله در سه بخش غربی، میانی و شرقی نشان از آن دارد که حالت ساحل در تمامی این مناطق از نوع سواحل پراکنا بوده به‌طوری‌که از غرب به شرق، بر

ویژگی پراکنایی سواحل افزوده شده و این مسئله به افزایش پیشروی خط ساحل با کاهش تراز آب دامن می‌زند که با نتایج حاصل از روابط تئوری نیز تطابق دارد.

۵-۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر تغییرات تراز سطح آب بر تغییرات خطوط سواحل زبانه میانکاله بررسی شده است. در ابتدا میزان پیشروی خط ساحل در زبانه میانکاله با توجه به شرایط مورفودینامیکی و هیدرودینامیکی حاکم بر منطقه از طریق رابطه بروون (۱۹۶۲) محاسبه شد و سپس از طریق مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای مورد صحت‌سنجی قرار گرفت و تطابق خوبی را نشان داد. به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات خط ساحل از مدل عددی مایک ۲۱/۳ که بدین منظور طراحی گردیده، استفاده شده است. در نتایج اصلی این تحقیق مشخص شد کاهش تراز سطح آب با پیشروی به سمت مناطق شرقی (دهانه میانکاله) تأثیر تغییرات تراز آب روی تغییرات خط ساحل چشم‌گیرتر می‌شود. با توجه به اینکه حالت ساحل در کل زبانه میانکاله پراکنا برآورد شده است و هرچه قدر به سمت سواحل شرقی پیش می‌رویم، میزان پراکنایی ساحل افزایش می‌یابد، این مسئله به افزایش پیشروی خط ساحل با کاهش تراز آب دریا دامن می‌زند. هم‌چنین از نتایج مدل عددی می‌توان دریافت که حضور بندر امیرآباد و صدرا باعث فرسایش قسمت غربی زبانه میانکاله خواهد شد. بعد از اجرای مدل و فرصت یافتن رسوبات برای انتقال و عبور از دهانه بندر، این فرسایش جبران می‌شود. نوع ساحل این زبانه در همه مناطق آن از نوع پراکنا بوده و با کاهش سطح آب طی سال‌های آینده تغییری در نوع سواحل آن ایجاد نمی‌شود. علت این امر را می‌توان در شیب ناچیز سواحل این زبانه به ویژه در بخش شرقی آن و در نزدیکی دهانه خلیج گرگان جست‌وجو کرد.

۵-۵. پیشنهادات

تحقیقات در حیطه مهندسی سواحل دامنه کار بسیار گسترده‌ای دارد و در زمینه‌های مختلف از جمله انتقال رسوب، تغییرات خطوط ساحلی، شناخت شرایط هیدرو دینامیکی و همچنین ریخت شناسی زبانه‌ها می‌توان مطالعات، تحقیقات و نوآوری‌های بسیاری ارائه کرد. متأسفانه در ایران هنوز به صورت کاملاً جدی به اهمیت تحقیقات در زمینه فرآیندهای ساحلی و نقش کلیدی این مناطق پی نبرده‌اند. برای ادامه کار پیشنهاداتی مطرح می‌شود که امید است با شناخت کافی و مطالعه بیشتر، از منطقه‌ی بااهمیتی هم‌چون زبانه میانکاله حفظ شود. این پیشنهادات به صورت زیر می‌باشد:

❖ اجرای مدل‌های یک بعدی *litdrift* و *litline* جهت بررسی اثر تغییرات تراز سطح آب دریا بر سواحل زبانه میانکاله و مقایسه نتایج با نتایج بدست آمده از همانند سازی ارائه شده در این پژوهش.

❖ اجرای مدل مورفودینامیکی سه بعدی در منطقه تحت تاثیر شرایط هیدرودینامیکی حاکم و استخراج نتایجی از قبیل ویژگی‌های بستر با گذشت زمان جهت بسط رابطه (۴-۵) برای هر منطقه از زبانه میانکاله.

❖ مدل‌سازی جریان در دهانه‌ی ورودی خلیج گرگان جهت بررسی جریان سواحل زبانه میانکاله در آن منطقه.

❖ انجام اندازه‌گیری‌های میدانی از ویژگی‌های رسوبات اقلیم امواج و جریانات و تغییرات نیمرخ بستر در بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه.

❖ اجرای پروژه مونیترینگ طولانی مدت زبانه میانکاله و تغییرات خط ساحل با تغییرات تراز آب دریا از طریق تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی.

❖ اجرای مدل مورفودینامیکی بلند مدت بر اساس الگوی پیش بینی شده تغییرات تراز آب دریای خزر در سال‌های آینده و ارائه الگوی رشد و تغییر پذیری زبانه میانکاله با گذشت زمان.

❖ بررسی و تأثیر رودخانه‌های منطقه (رودخانه گرگانرود) بر نحوه تغییرات مورفودینامیکی ساحل

با تغییر تراز آب دریا در سواحل زبانه میانکاله و دهانه ورودی آن.

فصل ششم

منابع و مراجع

❖ مراجع فارسی

- [۱] افشار، (۱۳۸۱)، "بررسی هیدرودینامیک موج و پیش بینی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در خلیج گرگان"، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲] افشارکاو، ن، سلطانیپور، م، (۱۳۸۹)، "صحت سنجی روابط نرخ انتقال رسوب موازی ساحل در تعدادی از سواحل جنوب ایران"، نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری-دانشکده فنی، دوره ۴۴، شماره ۳.
- [۳] باقری راد، م، (۱۳۸۶)، "بررسی تأثیر دبی رودخانه ولگا، بارش و تبخیر بر روی نوسان تراز آب دریای خزر با استفاده از آنالیز فوریه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۴] برگی، خ، (۱۳۸۷)، "اصول مهندسی دریا"، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۵] پادپ، درفشی، خ، (۱۳۹۳)، "بررسی تأثیر تغییرات تراز آب دریای خزر بر روی لندفرم های منطقه ساحلی میانکاله"، یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران.
- [۶] پویا طرح پارس و دانشگاه استرالیای غربی، گزارش شبیه سازی نوسانات تراز آب ناشی از باد و موج، پایش و مطالعات شبیه سازی سواحل شمالی کشور، ۱۳۹۴.
- [۷] چگینی، و، (۱۳۹۰)، "فرهنگ تشریحی مهندسی ساحل و فیزیک دریا"، مجموعه کتاب های مهندسی دریا، شماره ۶.
- [۸] حیدری، م، (۱۳۹۵)، "بررسی فرایند رسوب گذاری و مورفولوژیکی ناشی از توسعه موج شکن شرکت پایانه نفتی شمال در پایین دست تا محدوده بندر امیرآباد"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.

[۹] خوشروان ه، روحانی زاده س، ملک ج، نژادقلی ق، (۱۳۹۰)، "ناحیه بندی سواحل جنوبی دریای خزر براساس شواهد مورفودینامیک رسوبی"، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۳، ۱۳۹۰، صفحه ۱-۱۵.

[۱۰] خاکپور ا، (۱۳۹۵)، "بررسی تأثیر هندسه و مورفولوژی بنادر بر بهینه سازی رسوبگذاری (مطالعه موردی بندر نوشهر)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۱۱] درفشی خ، نظرعلی م، (۱۳۹۳)، "پایش تغییرات خطوط ساحلی با استفاده از عکس های هوایی (مطالعه موردی: بندر امیرآباد)"، یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران.

[۱۲] رجبلو ک، (۱۳۸۸)، "بررسی تأثیر نوسانات سطح آب دریای خزر بر تحولات ژئومورفیک شبه جزیره میانکاله در کواترنر بالایی (هولوسن)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۱۳] رحیمی پور ح، افشار ا، (۱۳۸۴)، "پیش بینی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در خلیج گرگان"، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[۱۴] رورده ه، لرستانی ق، اعتمادی ف، ولی خانی س، (۱۳۹۲)، "شبیه سازی دینامیک امواج و انتقال ماسه در سواحل دریای خزر (محدوده خلیج گرگان)"، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۲.

[۱۵] رودباری س، (۱۳۹۵)، "مطالعه ی عددی بهینه سازی شکل آبگیرهای نیروگاهی با روش معیار بهینگی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۱۶] ریاضی ر، (۱۳۷۸)، "بررسی و پیش بینی امواج در آبهای کم عمق ساحل خزر (در منطقه نکا)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

[۱۷] سازمان بنادر و دریانوردی ایران، (۱۳۸۷)، "کتاب مدل سازی امواج دریا‌های ایران، جلد اول:

دریای خزر"، معاونت فنی و مهندس، اداره کل مهندسی سواحل و بنادر.

[۱۸] سازمان بنادر و دریانوردی ایران، داده‌های تراز آب ایستگاه‌های ترازسنج بندر انزلی و نوشهر.

[۱۹] شاهینی ش، (۱۳۸۵)، "دریای خزر و پیرامون آن"، وزارت نیرو، موسسه تحقیقات آب، مرکز ملی

مطالعات و تحقیقات دریای خزر.

[۲۰] شربتی س، (۱۳۹۰)، "شبیه سازی دو بعدی الگوی جریان در خلیج گرگان با استفاده از نرم افزار

مایک ۲۱"، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد هجدهم، شماره چهارم، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

[۲۱] شرکت سهامی آب منطقه ای استان مازندران، (۱۳۸۷)، "مطالعات شناسایی منابع آب شبه جزیره

میانکاله بهشهر"، وزارت نیرو، مهندسین مشاور کنکاش عمران.

[۲۲] عبدالهی کاکرودی ع، (۱۳۹۲)، "نوسانات دریای خزر و تأثیر آن بر سواحل جنوب شرقی دریای

خزر"، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۳.

[۲۳] عطایی آشتیانی ب، نجفی جیلانی ع، (۱۳۸۴)، "مهندسی سواحل (هیدرودینامیک سواحل)"،

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

[۲۴] عطایی حسن کیاده س، (۱۳۹۴)، "تأثیر نوسانات سطح آب دریا بر نیمرخ عرضی سواحل ماسه

ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۲۵] غایبی ق، (۱۳۹۴)، "تغییرات فصلی نیمرخ ساحلی در دریای خزر منطقه ساحلی نور"، پایان نامه

کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

[۲۶] غریب رضا م، (۱۳۸۳)، "تغییرات خطوط ساحلی کشور"، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

کشور، شماره ۴۲۵۶۱.

[۲۷] غریب رضا م، معتمد ا، رحیمی پور انارکی ح، (۱۳۸۵)، "رسوبات و مکانیزم انتقال و رسوبگذاری در خلیج گرگان"، هفتمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی.

[۲۸] قدرتی ع، غریب رضا م، صدیقی ف، داداشی م، (۱۳۸۴)، "بررسی تغییرات فرسایش و رسوب سواحل استان گیلان"، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران.

[۲۹] کاظمی م، حکیم زاده ح، ناهید ش، (۱۳۸۹)، "بررسی عددی جریان های ناشی از موج در بندر امیرآباد"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۳۰] کیانی آ، لشته نشایی م، ملک ج، (۱۳۹۳)، "بررسی تأثیر هیدرودینامیک ناحیه شستگی و میزان انتقال رسوب آن بر تغییر شکل بستر سواحل ماسه ای (مطالعه موردی ساحل لاریم)"، یازدهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران.

[۳۱] لشته نشایی م، اسلامی ا، پیروی چشناسر م، (۱۳۸۵)، "بررسی پتانسیل انتقال رسوب در سواحل دریای خزر"، نشریه بین المللی علوم مهندسی، شماره ۵، جلد ۱۷.

[۳۲] لشته نشایی م، متین سرشت ا، منشی زاده م، حاتمی ف، (۱۳۸۵)، "مطالعه پدیده انتقال رسوب ساحلی در جهت عمود بر ساحل با استفاده از مدل فیزیکی و ریاضی"، تحقیقات منابع آب ایران، سال دوم، شماره ۳.

[۳۳] مُر ف، (۱۳۸۰)، "واژه نامه جامع علوم زمین"، انتشارات کوشامهر.

[۳۴] مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر (۱۳۸۹)، "نقش نوسانات سریع آب و عوامل انسانی در تغییر شکل ساختار مورفودینامیکی دریای خزر (فاز نخست: سواحل میانکاله - امیرآباد)"، وزارت نیرو، موسسه تحقیقات آب، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، مرکز اطلاعات.

[۳۵] مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر (۱۳۹۴)، "دانه بندی ذرات بستر دریای خزر"، وزارت

نیرو، موسسه تحقیقات آب، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، مرکز اطلاعات.

[۳۶] نخجیری س، معتمد ا، خوشروان ه، اسپهبد م، (۱۳۹۲)، "تأثیرات ساخت و سازهای ساحلی و

فعالتهای انسانی بر رسوبات ساحلی میانکاله"، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد زاهدان.

[۳۷] واصل علی ع، (۱۳۸۵)، "تجزیه و تحلیل چگونگی جابجایی رسوبات دریایی در خلیج پزم با استفاده

از مدل عددی mike21"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

[۳۸] یگانه بختیاری ع، محمدیان ف، (۱۳۸۷)، "بررسی اثر نوسانات سطح آب دریای خزر بر روی میزان

انتقال رسوبات کرانه ای: مطالعه موردی بندر انزلی"، دانشگاه علم و صنعت، تهران.

❖ مراجع انگلیسی

[۳۹] Abdollahi.A.,(2012)" Rapid Caspian Sea-level change and its impact on Iranian coasts"

[۴۰] Bruun P. (1962), "Sea-level rise as a cause of shore erosion", Journal of the Waterways and Harbors division, 88(1), 117-132.

[۴۱] Consulting Services Africa, Laquar Consultant, Lithon Project Consultants.,(2009)," Sea level rise in Namibia's coastal town sand wetlands : projected impacts and recommended adaptation strategies", Prepared For Ministry of Environment and Tourism and UNDP Namibia.

[۴۲] Church J. A. & White N. J. (2006), "A 20th century acceleration in global sea-level rise", *Geophysical research letters*, 33(1).

[۴۳] Cooper J. A. G. & Pilkey O. H. (2004), "Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule", *Global and planetary change*, 43(3), 157-171.

- [۴۴] Dean R. G. (1983), "Shoreline erosion due to extreme storms and sea level rise", *Sea Grant Program, University of Delaware*.
- [۴۵] DHI MIKE software package, 2012.
- [۴۶] Duane, D.B. and James, W.R., 1980, "Littoral transport in the surf zone elucidated by an Eulerian sediment tracer experiment:" *Journal of Sedimentary Petrology*. vol. 50, p. 929-942
- [۴۷] Engelund F, Fredsoe J.(1976). “ A sediment transport model for straight alluvial channels”. *Nordic Hydrology* 7: 293–306.
- [۴۸] Everts C.H. (1985), "Sea level rise effects on shoreline position", *Proc. ASCE*, Vol.111, WW6, 985-999.
- [۴۹] HIRAI .Y, Van Lap. N, and Oanh .T.,(2008)," Assessment of Impacts of Sea Level Rise on Tam Giang-Cau Hai Lagoon Area Based on a Geomorphological Survey Map".
- [۵۰] Kaplin P. A. & Selivanov A. O. (1995), "Recent coastal evolution of the Caspian Sea as a natural model for coastal responses to the possible acceleration of global sea-level rise", *Marine Geology*, 124(1), 161-175.
- [۵۱] Kaushik (2013), <http://www.amusingplanet.com/2013/07/7-most-spectacular-spits-on-earth.html>.
- [۵۲] Kostianoy et al, Estimating the Caspian Sea level and Volga river runoff from satellite altimetry, (2007), *Second Space for Hydrology Workshop*, Nov 12-14, 2007, Geneva.
- [۵۳] Kroonenberg, S. B., Badyukova, E. N., Storms, J. E. A., Ignatov, E. I., and Kasimov, 2000, A full sea level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores, *Sedimentary Geology*, 134-3, 257–274.
- [۵۴] Lahijani H. A. K., Rahimpour-Bonab H., Tavakoli V. & Hosseindoost M. (2009), "Evidence for late Holocene highstands in central Guilan–East Mazanderan, south Caspian coast, Iran", *Quaternary International*, 197(1), 55-71.
- [۵۵] Liu, Z., (2001), “Sediment transport”, *Lecture Notes*, Alborg University, Denmark.

- [۵۶] Leatherman S. P., Zhang K. & Douglas B. C. (2000), "Sea level rise shown to drive coastal erosion", *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 81(6), 55-57.
- [۵۷] Mamedov A.V., 1997, The Late Pleistocene-Holocene history of the Caspian Sea, *Quaternary International*, Pages 161-166.
- [۵۸] Meyer-Peter E. and Muller R. (1999), "Formula for bed load transport", *Proceedings of International Association for Hydraulic Research, 2nd Meeting, Stockholm*.
- [۵۹] Naderi Beni A., Lahijani H., Mousavi Harami R., Arpe K., Leroy S. A. G., Marriner N., Berberian M., Andrieu-Ponel V., Djamali M., Mahboubi A., Reimer P. J., 2013. Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea, *Climate of the Past*, 9, 1645–1665.
- [۶۰] Nicholas C. Kraus, M. ASCE,(1999)," Analytical model of spit evolution at inlets", *Coastal Sediments 99, ASCE, 1999, 1739 – 1754*.
- [۶۱] Nicholls R. J. & Cazenave A. (2010), "Sea-level rise and its impact on coastal zones", *science*, 328(5985), 1517-1520.
- [۶۲] Nicholson, J., and B.A. O'Connor (1986). "Cohesive Sediment Transport Model" *Journal Of Hydraulic Engineering*, vol. 1 12, no. 7, pp. 621 -640.
- [۶۳] Panin, G., N., *Transboundary Diagnostic Analysis. Climate Change and Vulnerability Assesment Report for the Caspian Basin, 2007*.
- [۶۴] Pave A. Kaplin a, Andrew. Selivanov.,(1995)," Recent coastal evolution of the caspian sea as a natural model for coastal responses to the possible acceleration of global sea-level rise",*International Jornal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics, Geography Faculty, Moscow State University, Moscow, 119899, Russian Federation*
- [۶۵] Ranasinghe R., Callaghan D. & Stive M. J. (2012), "Estimating coastal recession due to sea level rise: beyond the Bruun rule", *Climatic Change*, 110(3-4), 561-574.
- [۶۶] Ruddiman, W. F., 2008. *Earth Climate, Past and Future*, W. H. Freeman and Company, New York.

- [٤٧] Rychagov G.I., 1997, Holocene oscillations of the Caspian Sea, and forecasts based on palaeogeographical reconstructions, *Quaternary International*, Volumes 41–42, Pages 167–172.
- [٤٨] Sorensen R. M. (2006), "Basic coastal engineering", Third Edition, Springer, pp. 330.
- [٤٩] Soulsby ,R.(1997), “Dynamics of marine sands, a manual for practical application”, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [٥٠] Schwartz M. L. (1967), "The Bruun theory of sea-level rise as a cause of shore erosion", *The journal of Geology*, 76-92.
- [٥١] S.B. Kroonenberg, E.N. Badyukova, J.E.A. Storms, E.I. Ignatov, N.S. Kasimov,(2000)," A full sea-level cycle in 65 years: barrier dynamics along Caspian shores", *Sedimentary geology*, Department of Applied Earth Sciences, Delft University of Technology, Mijnbouwstraat 120, 2628 RX Delft, The Netherlands Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, Russia.
- [٥٢] Short,A.D, Hand book of beach and shorface morphodynamics, univercity of Sydney,1999.
- [٥٣] Steel,J.H and turekian, K.K and thrope,S.A,Encyclopedia of ocean Sciences,Vol 1,2001.
- [٥٤] U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1984), *Shore Protection Manual*, Fourth Edition, 2 Vols., U.S. Government Printing OYce, Washington DC.
- [٥٥] Van Rijn L. C. (2011), "Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas", AQUA Publications.
- [٥٦] Van Rijn, L.C., (1986), “Sedimentation of Dredged Channel by Currents and Waves”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 5.
- [٥٧] Warrick R. A. & Oerlemans J. (1990), "Sea level rise", 257-281.
- [٥٨] Zhang K., Douglas B. C. & Leatherman S. P. (2004), "Global warming and coastal erosion", *Climatic Change*, 64(1-2), 41-58.

Abstract

Being joined to land on one end and to the sea on the other in the direction of dominating waves and large shore currents, Spits are beach phenomena/materials that grow with time gravitating towards the land in one or several branches. Of the most stand-out spits in Iranian seas, the sandy narrow peninsula called Miankaleh comes to mind, which is the main cause in the formation of Gorgan gulf. Current research mainly pursues the investigation of the changes occurred in the shores of Miankaleh spit under the influence of water level changes. To this end, first, analytical theories associated with the area of interest were investigated and the results were compared with satellite images for final verification. In the next step, employing the mike 21 numerical model, the impact of changes to the water level on the various parts of the Miankaleh spit was evaluated. The result of an experimental relation shown in this research speaks of a 110-meters change in shorelines per assumed one-meter change in the water level. In addition, results obtained from numerical imitation demonstrates that the changes in shorelines are in accordance with hydrodynamic circumstances dominating the shore – including the properties of wave and current - and morph dynamic circumstances dominating every single part of the Miankaleh spit including the shape of bed, shore slope, type of sediments and changes to the equilibrium depth, in a way that in eastern parts in the vicinity of the opening of Gorgan gulf, as the water level decreases shoreline moves more than the middle and western parts towards the sea. Given the results of the theoretical relations and conducted modeling, investigating various states dominating the shore in three west, east and middle regions shows that the state of the shore in all the regions is dissipative, which by moving from west to east the dissipatedness increases, leading to shoreline moving further head by decreasing water level.

Key words: Milankaleh Spit, Deposition, Shoreline changes, water level changes, mike 21.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

**Investigation And Prediction Of Miankale's
Spit's Transition Couused By Changes Of Sea
Level**

Ehsan Ebrahimi

Supervisors:

Dr. Mehdi Adjami

Advisor:

Dr. Azadeh Valipour

August 2017

