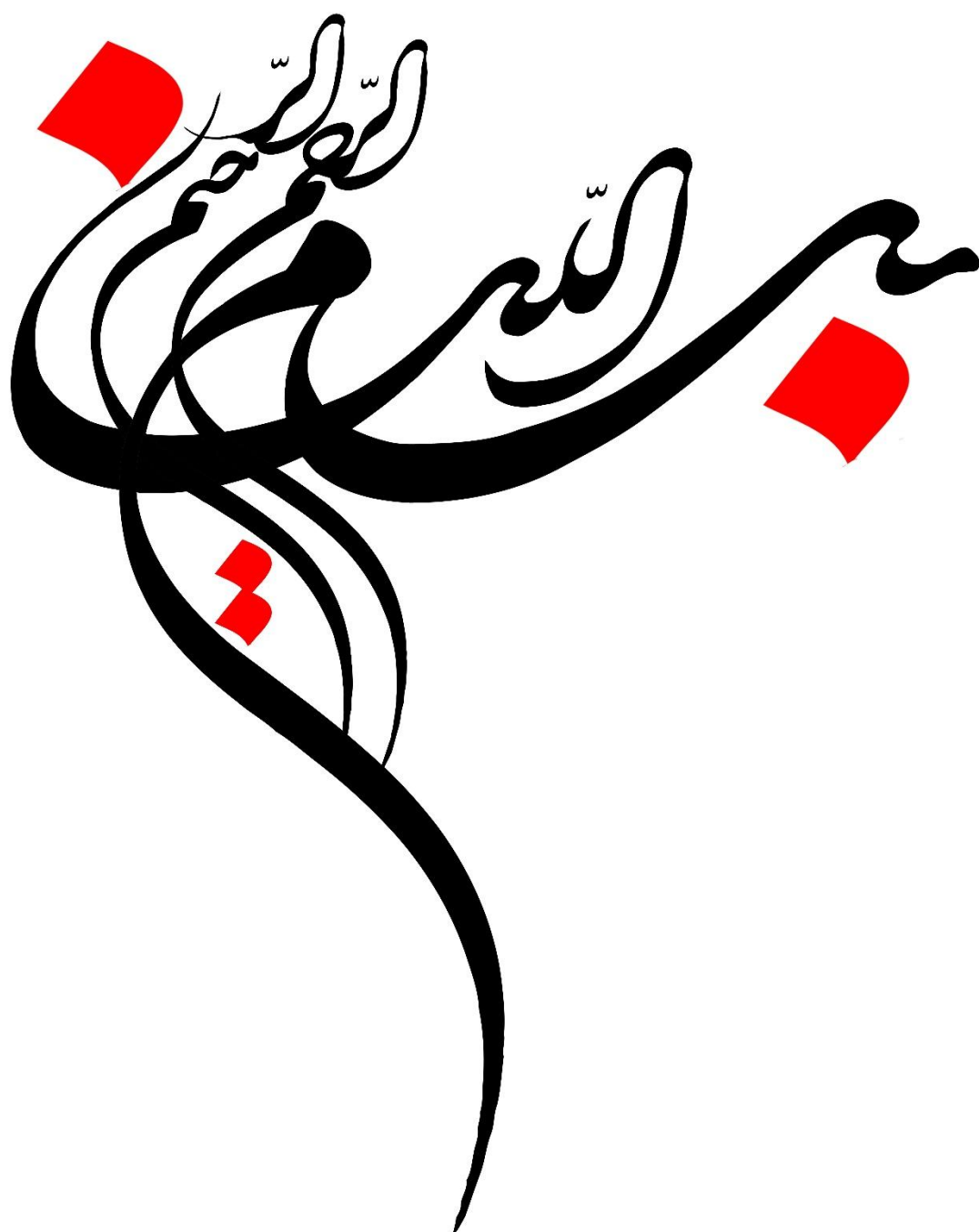






دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی

نیاز سنجی و اتخاذ راهکارهای مهندسی برای اتصال ایمن و پایدار خلیج گرگان و دریای خزر

نگارنده: سعید رودباری شهیمیری

اساتید راهنما:

مهدی عجمی

همایون خوشروان

بهمن ۱۳۹۵

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سعید رودباری شه‌میری به شماره دانشجویی: ۹۳۳۳۰۵۴
تحت عنوان: نیاز سنجی و اتخاذ راهکارهای مهندسی برای اتصال ایمن و پایدار خلیج گرگان و دریای خزر

در تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۱۸ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
			مهدی عجمی
			همایون خوشروان

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	جلیل شفائی		احمد احمدی
			سعید گلیان

تقدیم‌نامه

تقدیم به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را ...

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

سپاس‌گزاری

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه‌سار بنده‌نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از اساتید فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر عجمی و جناب آقای دکتر خوشروان که باکرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند و در کمال سعه‌صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، تقدیر و تشکر نمایم.

با تقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر احمد احمدی و جناب آقای دکتر سعید گلیان که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛

و با تشکر خالصانه خدمت آقای دکتر ابراهیم جعفری که در راه مدل سازی این پژوهش تماماً مارا یاری کرده و همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند؛

و با تشکر فراوان از سازمان تحقیقات و مطالعات دریای خزر که در راه انجام این پایان‌نامه تمام ابزار و امکانات مورد نیاز را در اختیار این تیم پژوهشی قرار داده‌اند.

و با سپاس فراوان از سازمان بنادر و سواحل جمهوری اسلامی ایران که به این پژوهش در راستای دیتا‌های مورد نیاز، کاملاً حمایت کرده است.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب سعید رودباری شهرداری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه نیاز سنجی و اتخاذ راهکارهای مهندسی برای اتصال ایمن و پایدار خلیج گرگان و دریای خزر تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های 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 بافتهای 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 ۱۳۹۵/۱۱/۱۸

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

این پژوهش با هدف بررسی میدانی و عددی، سازو کار و عملکرد دهانه خلیج گرگان و سواحل میانکاله و ارائه راهکاری برای شرایطی که دهانه خلیج بسته شود، پرداخته است. زبانه ماسه‌ای میانکاله و دهانه خلیج گرگان تحت عوامل هیدرودینامیکی همواره در حال تغییر می‌باشد. عوامل مختلفی نظیر باد، موج، جریان، طوفان، شیب منطقه و نوسانات تراز آب دریا در این تغییر شکل موثرند که هر کدام یا تقابل هر کدام شواهدی فیزیکی در ساحل برجای می‌گذارند. این پژوهش با استفاده از مطالعات میدانی به همراه مدل سازی با نرم افزار مایک ۲۱ (ماژول های HYDRODYNAMIC, HD و SPECTRAL WAVE, SW و SEDIMENT, ST) استفاده شده است. بر اساس نتایج پایان نامه سواحل میانکاله از نوع پراکنشی هستند و انرژی موج و سرعت جریانات ساحلی از غرب (بندر امیر آباد) به شرق (دهانه خلیج گرگان) کاهش داشته، بیشتر ذرات دارای ۰,۱۰۶ میلی متر هستند و قسمت غربی سواحل میانکاله خواص فرسایشی و قسمت شرقی میانکاله خواص رسوبگذاری را دارند. از غرب به شرق منطقه مطالعاتی نتایج افزایش شدت حساسیت ساحل به نوسانات تراز آب دریا را نشان می‌دهد. بیشترین ارتفاع مد حاصل از طوفان در ساحل شرقی بوده و به اندازه ۴۰ سانتی متر بوده است که می‌تواند سطح آب درون خلیج را ۱۵ تا ۲۵ سانتی متر بالا بیاورد. حجم رسوب دپو شده در دهانه حاصل از نوسانات تراز آب دریا شکل گرفته (مطالعات میدانی) و دهانه آشوراده تحت اثر انرژی پایین امواج دریای قرار دارد. میانگین جهت های جریان در یک سال در بیرون خلیج از غرب به شرق بوده و درون خلیج به صورت پادساعتگرد عمل می‌کند. اندازه نرخ انتقال رسوب به دهانه خلیج گرگان ۰,۰۰۱ متر مکعب در ثانیه بر هر متر بوده و تغییرات تراز بستر در دهانه کمتر از ۱ سانتی متر در روز است در صورتی که نرخ انتقال رسوب در زبانه میانکاله کمتر از ۰,۰۰۰۰۲ می‌باشد. و دهانه خلیج گرگان تحت سناریوی، عملکرد پستی با عمل طوفان و دوم عملکرد پیشروی سطح تراز آب با پستی سطح تراز آب بسته می‌شود.

با توجه به مطالعات و پژوهش در منطقه ارائه راهکار های از قبیل احداث سازه محافظتی و لایروبی در کانال برای متصل نگاه داشتن آب خلیج به دریا ناکارآمد توصیه شده و بهترین راهکار برای حفظ خلیج احداث یک کانال مصنوعی در قسمت غربی ساحل میانکاله جانمایی و پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی : مورفولوژی سواحل، نوسانات تراز سطح آب، نرم افزار مایک ۲۱، خلیج گرگان، زبانه ماسه‌ای میانکاله، دسته بندی سواحل، هیدرودینامیک امواج

ت	تقدیم‌نامه	۱
ج	سیاس‌گذاری	۲
ظ	فهرست نشانه‌ها	۳
۱	فصل ۱ کلیات	۴
۲	۲-۱- مقدمه	۵
۲	۲-۱- ضرورت پژوهش	۶
۳	۳-۱- اهداف پژوهش	۷
۴	۴-۱- منطقه مطالعاتی	۸
۴	۴-۱-۱. دریای کاسپین	۹
۵	۴-۱-۲. دهانه‌ها (کانال ارتباطی خلیج گرگان)	۱۰
۶	۴-۱-۳. خلیج گرگان	۱۱
۷	۴-۱-۵. زبانه ماسه‌ای یا شبه‌جزیره میانکاله	۱۲
۸	۴-۱-۶. مرداب‌ها و تالاب‌های ساحلی	۱۳
۹	۴-۱-۷. دلتاها (دلتای گرگانرود)	۱۴
۱۰	۵-۱- بخش‌های پایان‌نامه	۱۵
۱۱	فصل ۲ تعاریف	۱۶
۱۲	۲-۱- تعاریف مرتبط با نحوه عملکرد سواحل	۱۷
۱۲	۲-۱-۱. تعریف ژئومورفولوژی	۱۸
۱۳	۲-۱-۲. موج	۱۹
۱۵	۲-۱-۳. جریان موازی ساحل	۲۰
۱۵	۲-۲- معرفی مهم‌ترین عوارض مورفودینامیکی در سواحل	۲۱
۱۵	۲-۲-۱. مکانیزم تشکیل عوارض مورفودینامیک	۲۲
۲۱	۳-۲- دسته‌بندی سواحل	۲۳
۲۱	۳-۲-۱. دسته‌بندی هیدرودینامیکی سواحل	۲۴
۲۵	۳-۲-۲. اساس تقسیم‌بندی سواحل بر اساس انرژی امواج	۲۵
۲۷	۳-۲-۳-۱. سواحل پراکنشی:	۲۶
۲۹	۳-۲-۳-۲. سواحل تعادلی:	۲۷

۳۴	 سواحل انعکاسی: ۳-۲-۳-۲
۳۶	 تئوری عملکرد دهانه ها. ۴-۲
۳۷	 مهاجرت دهانه و بای پس رسوب ۱-۴-۲
۳۹	 انتقال رسوب به وسیله ی پشته دور از ساحل ۲-۴-۲
۳۹	 بای پس به وسیله ی عملکرد جریان جزر و مدی ۳-۴-۲
۴۱	 بسته شدن یا منشعب شدن دهانه ۴-۴-۲
۴۱	 فرضیه های از مکانیزم های بسته شدن دهانه ها ۵-۴-۲
۴۳	 سیر تکاملی فصلی دهانه های جزر و مدی ۶-۴-۲
۴۴	 تحلیل پایداری دهانه ۷-۴-۲
۴۵	 تعاریف روش عددی (نرم افزار مایک) ۵-۲
۴۸	 تعریف مسئله پیش بینی موج و محدودیت ها ۲-۵-۲
۴۹	 داده های مورد نیاز ۳-۵-۲
۴۹	 برپا سازی مدل: ۴-۵-۲
۵۰	 کالیبراسیون و ارزیابی مدل ۵-۵-۲
۵۱	 پارامترهای کالیبراسیون ۶-۵-۲
۵۲	 برپایی مدل ۷-۵-۲
۵۲	 ماژول Flow Model FM ۸-۵-۲
۵۳	 داده های ورودی FM ۹-۵-۲
۵۴	 خروجیهای ماژول Flow Model FM ۱۰-۵-۲
۵۴	 ماژول 3/21 coupled mike ۱۱-۵-۲
۵۷	 فصل ۳ پیشینه و سابقه تحقیق
۵۸	 پیشینه و سابقه تحقیق ۱-۳
۶۵	 نوسانات دریای خزر ۲-۱
۶۶	 دلایل نوسانات تراز آب دریای خزر ۱-۲-۱
۷۱	 فصل ۴ مواد و روش ها
۷۲	 اطلاعات جمع آوری شده ۱-۴
۷۲	 شیب صورت ساحل ۱-۱-۴
۷۴	 اندازه گیری باند شکست موج از ساحل ۲-۱-۴
۷۴	 ثبت عوارض مورفودینامیک ساحلی و بررسی تعداد شکست موج ۳-۱-۴

۷۴.....	نمونه برداری رسوب.....	۴-۱-۴.
۷۶.....	استفاده از تصاویر GIS و نقشه های توپوگرافی ساحل میانکاله.....	۵-۱-۴.
۷۶.....	تهیه نقشه توپوگرافی ساحل میانکاله.....	۶-۱-۴.
۷۶.....	جمع آوری اطلاعات مورد نیاز نرم افزار مایک.....	۷-۱-۴.
۷۶.....	داده های مورد استفاده در این پژوهش.....	۱-۷-۱-۴.
۷۷.....	تهیه فایل شبکه بندی.....	۲-۷-۱-۴.
۷۸.....	تهیه فایل عمق سنجی.....	۳-۷-۱-۴.
۷۹.....	داده های ورودی به مرزهای مدل.....	۴-۷-۱-۴.
۷۹.....	روش انجام کار.....	۲-۴.
۸۱.....	فصل ۵ بحث و نتیجه گیری.....	
۸۲.....	موارد بدست آمده در ساحل میانکاله.....	۱-۵.
۸۴.....	نتایج ساحل شرقی.....	۱-۱-۵.
۸۶.....	نتایج ساحل مرکزی.....	۲-۱-۵.
۸۷.....	نتایج ساحل غربی.....	۳-۱-۵.
۸۹.....	نتایج دسته بندی خط ساحلی میانکاله.....	۲-۵.
۹۰.....	یافته های مدل سازی عددی (ساحل میانکاله).....	۳-۵.
۹۴.....	کالیبره و صحت سنجی.....	۱-۳-۵.
۹۵.....	خروجی ها.....	۲-۳-۵.
۱۰۱.....	تحلیل عملکرد دهانه.....	۴-۵.
۱۰۵.....	نتایج مدل سازی در دهانه.....	۱-۴-۵.
۱۱۱.....	سناریو های مسدود شدن دهانه خلیج گرگان.....	۲-۴-۵.
۱۱۳.....	راهکار.....	۵-۵.
۱۱۵.....	پیشنهادهای.....	۶-۵.
۱۱۶.....	مراجع.....	
۱۲۰.....	پیوست ۱.....	
۱۲۵.....	پیوست ۲.....	
۱۲۷.....	پیوست ۳.....	

فهرست شکل

- شکل (۱-۱) : (a) مختصات جغرافیایی دریای خزر (b) حوضه‌های آبریز دریای خزر ۴
- شکل (۲-۱) : دهانه خلیج گرگان ۶
- شکل (۳-۱) : خلیج گرگان در منتهی‌الیه شرقی دریای خزر (تصویر ماهواره لندست ۲۰۰۲) ۷
- شکل (۴-۱) : نقشه تاریخی خلیج گرگان و شبه جزیره میانکاله در سال ۱۹۸۰ ۸
- شکل (۵-۱) : محیط تالاب میانکاله در زبانه ماسه‌ی میانکاله (عکس توسط این پژوهش) ۹
- شکل (۱-۲) : مدل شکست امواج ۱۴
- شکل (۲-۲) : جریان موازی ساحل ۱۵
- شکل (۳-۲) : تپه ماسه‌ی در ساحل میانکاله (عکس توسط این پژوهش) ۱۶
- شکل (۴-۲) : نیمرخ عرضی ساحل برای حالت تابستانه و زمستانه ۱۷
- شکل (۵-۲) : شاخک‌های ساحلی ۱۸
- شکل (۶-۲) : موج نقش ها در سواحل ۱۹
- شکل (۷-۲) : ریپل مای جریانی در ساحل میانکاله ۱۹
- شکل (۸-۲) : تراس‌های فرسایشی در ساحل غربی میانکاله (عکس توسط این پژوهش) ۲۰
- شکل (۹-۲) : دسته‌بندی خط ساحلی بر پایه موج و انرژی جزر ومد توسط هایس در سال ۱۹۷۹ ۲۲
- شکل (۱۰-۲) : مدل دهانه رنج جزر و مدی کم بر پایه سواحل مانع در خلیج مکزیک، موج تشکیل یک بدنه ماسه‌ای همچون یک ساحل کشیده داده است و انحنا در زبانه ماسه‌ای معمول است. دلتای جزرومدی روبه‌داخل و روشویی بر روی زبانه که توسط طوفان تشکیل شده، غالب است. ۲۳
- شکل (۱۱-۲) : دهانه با رنج جزر و مدی بالا ۲۴
- شکل (۱۲-۲) : دهانه جزایر مانع در حالت رنج جزر ومدی متوسط رسم شده ۲۵
- شکل (۱۳-۲) : توزیع لند فرم ساحلی با توجه به رنج جزر و مد ۲۵
- شکل (۱۴-۲) : ناحیه بندی نزدیک به ساحل ۲۶
- شکل (۱۵-۲) : مدل مفهومی سواحل پراکنشی نشان‌دهنده شکست ریزشی امواج بر روی پشته‌های ساحلی که تا چند صد متری قرار گرفته‌اند. ۲۸
- شکل (۱۶-۲) : ساحل پراکنشی با انرژی بالا با ناحیه شکستی به عرض ۵۰۰ متر. جنوب استرالیا، عکس توسط اندرو دی شورت ۲۹
- شکل (۱۷-۲) : مدل مفهومی از سواحل تحت سلطه موج longshore bar and trough، نشان‌دهنده یک پشته موازی ساحل و یک تقعر نسبتاً وسیع با جریان برگشتی به‌سوی ساحل ۳۰

- شکل (۲-۱۸) : پشته موازی ساحل جداشده به وسیله ی تقعر وسیع و عمیق North Stradbroke Island, Queensland توسط اندرو دی شورت. ۳۱
- شکل (۲-۲۰) : Treachery Beach, New South Wales (photo: A D Short) ۳۲
- شکل (۲-۲۱) : مدل مفهومی سواحل تحت سلطه موج (TBR) Transverse bar and rip ۳۲
- شکل (۲-۲۲) : جریان های بازگشتی عمیق و قوی تر، بسیار خوب توسعه پیدا کرده در نزدیک خط ساحل، New South Wales توسط اندرو دی شورت. ۳۳
- شکل (۲-۲۳) : مدل مفهومی سواحل تحت سلطه موج (LTT) Low tide terrace ۳۳
- شکل (۲-۲۴) : ساحل یکدست با یک جریان بازگشتی ضعیف Crowdy Head, New South Wales توسط اندرو دی شورت. ۳۴
- شکل (۲-۲۵) : مدل مفهومی سواحل تحت سلطه موج سواحل انعکاسی ۳۵
- شکل (۲-۲۶) : Hammer Head, south Western Australia (photo: A D Short). ۳۵
- شکل (۲-۲۷) : مدل حالت سواحل توسط رایت و شورت در سال ۱۹۸۴ و شورت در سال ۱۹۹۹، نشان دهنده جهت و اندازه حرکت رسوبات ۳۶
- شکل (۲-۲۸) : مدل مهاجرت دهانه ۳۸
- شکل (۲-۲۹) : نمایش طرحی از بسته شدن دهانه به وسیله ی فرآیند های طولی و عرضی در ساحل ... ۴۳
- شکل (۲-۳۰) : منحنی اسکوفیر ۴۵
- شکل (۳-۱) : تقسیم بندی خط ساحلی به ۲۲ قسمت ۵۹
- شکل (۳-۲) : تقسیم بندی خط ساحلی به ۲۲ قسمت ۵۹
- شکل (۳-۳) : تغییر شکل ساحل و دهانه خلیج گرگان ۶۰
- شکل (۳-۴) : پاسخگویی سواحل جنوب شرقی دریای خزر به تغییرات تراز آب دریا. ۶۱
- شکل (۳-۵) : حرکت رانه ساحلی در ساحل شرقی دریای خزر (منطقه ساحل میانکاله) ۶۲
- شکل (۳-۶) : توزیع جهت جریان و توزیع جریان تحت اثر موج ۶۳
- شکل (۳-۷) : انتقال رسوب به کناره های دهانه توسط جریان گردابی و رسوبگذاری در کناره های عرضی ۶۳
- شکل (۳-۸) : ارتفاع امواج (قرمز مربوط به بویه و مشکی مربوط به مدل) ۶۴
- شکل (۳-۹) : پریود امواج (قرمز مربوط به بویه و مشکی مربوط به مدل) ۶۴
- شکل (۳-۱۰) : وضعیت توپوگرافی خلیج گرگان در تراز منفی ۲۷/۶ متر ۶۴
- شکل (۳-۱۱) : نوسانات تراز آب دریای خزر تهیه شده توسط مرکز ملی مطالعات دریای خزر ۶۷
- شکل (۳-۱۲) : نمودار همبستگی آبدهی ولگا با تغییرات تراز آب دریای خزر (مرکز ملی اقیانوس شناسی) ۶۹
- شکل (۴-۱) : تقسیم بندی سواحل میانکاله به سه قسمت شرقی، مرکزی و غربی ۷۲
- شکل (۴-۲) : ابزار اندازه گیری شیب صورت ساحل شامل دو چوب مندرج ۲ متری، یک طناب ۵ متری، تراز، جی پی اس، متر ۷۳
- شکل (۴-۳) : اندازه گیری شیب صورت ساحل ۷۳

۷۴	شکل (۴-۴) : دوربین نقشه برداری مورد استفاده در پژوهش
۷۵	شکل (۵-۴) : نمونه برداری رسوبی
۷۶	شکل (۶-۴) : نقشه توپوگرافی ساحل میانکاله
۷۸	شکل (۷-۴) : شبکه‌بندی منطقه مورد پژوهش
۷۸	شکل (۸-۴) : نقشه فایل عمق سنجی خلیج گرگان
۷۹	شکل (۸-۴) : مرز های مدل
۸۳	شکل (۱-۵) : ده زون مورد بررسی نوسانات دریای خزر از شرق به غرب
۸۳	شکل (۲-۵) : تغییرات خط ساحلی در ساحل شرقی
۸۵	شکل (۳-۵) : تصاویر مربوط به سواحل شرقی
۸۵	شکل (۴-۵) : درصد وزنی ساحل شرقی میانکاله
۸۶	شکل (۵-۵) : منحنی تجمعی شرق زبانه ماسه‌ی میانکاله
۸۷	شکل (۶-۵) : منحنی تجمعی مرکز زبانه ماسه‌ی میانکاله
۸۸	شکل (۷-۵) : تصاویر مربوط به سواحل غربی میانکاله
۸۸	شکل (۸-۵) : منحنی تجمعی غرب زبانه ماسه‌ی میانکاله
۸۹	شکل (۹-۵) : هیستوگرام نقاط موازی زبانه ماسه‌ی
۹۱	شکل (۱۰-۵) : گلباد یک ساله ایستگاه سینوپتیک
۹۱	شکل (۱۱-۵) : گل موج بهار
۹۲	شکل (۱۲-۵) : گل موج تابستان
۹۲	شکل (۱۳-۵) : گل موج پاییز
۹۳	شکل (۱۴-۵) : گل موج زمستان
۹۳	شکل (۱۵-۵) : گل موج سالانه
۹۵	شکل (۱۶-۵) : اندازه ارتفاع موج بویه و مدل
۹۶	شکل (۱۷-۵) : ارتفاع و جهت امواج در محدود خلیج گرگان
۹۶	شکل (۱۸-۵) : جهت جریان آب در بیرون و درون خلیج
۹۷	شکل (۱۹-۵) : نقاط انتخابی برای خروجی از تغییرات سطح آب
۹۷	شکل (۲۰-۵) : خروجی اندازه تغییرات سطح آب
۹۸	شکل (۲۱-۵) : نقاط انتخابی برای مقایسه سرعت جریان در طول ساحل میانکاله
۹۸	شکل (۲۲-۵) : اندازه سرعت جریان در نقاط انتخابی شکل (۲۱-۵)
۹۹	شکل (۲۳-۵) : تغییر بار بستر در منطقه مطالعاتی
۹۹	شکل (۲۴-۵) : نرخ تغییرات بستر دریا
۱۰۰	شکل (۲۵-۵) : نرخ کلی انتقال ماسه

- شکل (۵-۲۶) : خروجی اندازه کلی نرخ انتقال ماسه در نقاط مشخص شده در شکل (۵-۲۱)..... ۱۰۰
- شکل (۵-۲۷) : مکان‌های پیمایش و نمونه‌برداری در کانال‌های آشوراده و چپقلی..... ۱۰۱
- شکل (۵-۲۸) : نمونه‌برداری درون کانال آشوراده..... ۱۰۱
- شکل (۵-۲۹) : درصد فراوانی اندازه ذرات برای هر نمونه..... ۱۰۲
- شکل (۵-۳۰) : رسوبات آغشته به مواد آلی در حجم رسوبی درون کانال آشوراده..... ۱۰۳
- شکل (۵-۳۱) : وجود رسوبات ماسه‌ی به همراه صدف‌های دو کفه‌ی در حاشیه شرقی کانال آشوراده... ۱۰۳
- شکل (۵-۳۲) : حجم رسوبی واقع در مرکز دهانه خلیج گرگان، تثبیت‌شده با پوشش گیاهی..... ۱۰۴
- شکل (۵-۳۳) : ریپل مارک جریان‌ی در ورودی کانال آشوراده..... ۱۰۴
- شکل (۵-۳۴) : رشد جلبک‌ها در کانال چپقلی، مملو از مواد آلی و ترکیبی از رسوبات ماسه‌ی و سیلتی ۱۰۵
- شکل (۵-۳۵) : نقاط انتخابی برای خروجی ارتفاع امواج..... ۱۰۶
- شکل (۵-۳۶) : اندازه ارتفاع امواج برای نقاط انتخابی در شکل (۵-۳۵)..... ۱۰۶
- شکل (۵-۳۷) : نقاط انتخابی برای مقایسه سرعت جریان در دو کانال آشوراده و چپقلی..... ۱۰۷
- شکل (۵-۳۸) : خروجی سرعت جریان در کانال چپقلی و آشوراده..... ۱۰۷
- شکل (۵-۳۹) : نقطه انتخابی برای خروجی در دهانه خلیج گرگان..... ۱۰۸
- شکل (۵-۴۰) : نرخ کلی انتقال رسوب (متر مکعب در ثانیه بر هر متر)..... ۱۰۸
- شکل (۵-۴۱) : اندازه غلظت رسوبات معلق..... ۱۰۹
- شکل (۵-۴۲) : نرخ تغییر بار بستر در دهانه خلیج گرگان..... ۱۰۹
- شکل (۵-۴۳) : پروفیل از دهانه قبل از طوفان..... ۱۱۰
- شکل (۵-۴۴) : پروفیل از دهانه اندکی بعد از طوفان..... ۱۱۰
- شکل (۵-۴۵) : پروفیل از دهانه بعد از طوفان..... ۱۱۱
- شکل (۵-۴۶) : مدل مفهومی از بسته شدن دهانه خلیج گرگان..... ۱۱۲
- شکل (۵-۴۷) : مدل مفهومی از سناریوی بسته شدن دهانه خلیج گرگان..... ۱۱۳
- شکل (۵-۴۸) : بهترین زون برای اتصال آب دریا به خلیج..... ۱۱۵
- شکل ۱ : زون ۱..... ۱۲۱
- شکل ۲ : زون ۲..... ۱۲۱
- شکل ۳ : زون ۳..... ۱۲۲
- شکل ۴ : زون ۴..... ۱۲۲
- شکل ۵ : زون ۵..... ۱۲۳
- شکل ۶ : زون ۶..... ۱۲۳
- شکل ۷ : زون ۷..... ۱۲۴
- شکل ۸ : زون ۸..... ۱۲۴

شکل ۹ : زون ۹ ۱۲۵

شکل ۱۰ : زون ۱۰ ۱۲۵

شکل ۱۱ : نقشه توپوگرافی میانکاله ۱۲۶

فهرست جدول

جدول (۱-۲) : نوع شکست موج با استفاده از عدد ایریبارن	۱۴
جدول (۲-۲) : رنج جزر و مد	۲۱
جدول (۳-۲) : رنج ارتفاع موج	۲۲
جدول (۴-۲) : مدل با پس دهانه و دسته بندی از پایداری مساحت مقطع عرضی کانال	۴۰
جدول (۱-۴) : مختصات نقاط نمونه برداری در ساحل میانکاله	۷۵
جدول (۲-۴) : موقعیت نقاط در راستای افقی زبانه ماسه‌ی	۷۵
جدول (۳-۴) : مرز های داده شده به مدل	۷۹
جدول (۱-۵) : موارد برداشت شده در ساحل میانکاله	۸۲
جدول (۲-۵) : اندازه جابه جای خط ساحل میانکاله	۸۴
جدول (۳-۵) : درصد وقوع امواج در هر فصل	۹۴
جدول (۴-۵) : اندازه ضرائب کالیبراسیون مدل	۹۴

فهرست نشانه‌ها

h	عمق آب	H_b	ارتفاع موج شکنا
x, y	مختصات دکارتی در حالت دو بعدی	h_b	عمق شکست
f	ضریب اصطحکاک باد	α	شیب بستر
c	ضریب شزی	H	ارتفاع موج
pa	فشار هوا	H_0	ارتفاع موج در آب عمیق
pw	فشار حجمی آب	L_0	طول موج در آب عمیق
v, u	سرعت متوسط عمقی در جهات	ξ_{br}	عدد ایریبارن در نقطه شکست
p, q	دانسیته شار در جهات	ξ_0	عددایریبارن در آب عمیق
ξ	تغییرات تراز سطح آب	Ω	عدد امگا
		T	پریود امواج
		V_f	سرعت سقوط ذرات
		E	طیف انرژی موج فرکانسی جهتی
		t	زمان
		f	فرکانس
		θ	جهت انتشار
		C_g	سرعت گروهی موج
		C	سرعت انتشار موج
		S	عبارت چشمه و چاه
		Cd_s	ضریب استهلاک سفیدک موج

فصل ۱ کلیات

حفاظت بهینه از سواحل مبتنی به شناخت کامل و جامع خصوصیات هیدرودینامیکی و عوارض حاصل از آن‌ها در مناطق ساحلی است. هدف از این شناسایی آشنا شدن با محیط ساحلی و تاثیر عوامل محیطی بر تغییر شکل ساحل است. هنگامی که به سواحل در سراسر جهان می‌نگرید، با سیستم‌های متفاوتی از عملکرد طبیعت در شکل‌دهی سواحل روبه‌رو می‌شوید (جزایر سدی، خلیج‌ها و مرداب‌ها، دهانه‌ها و ...). یکی از این محیط‌های پیچیده خلیج‌ها هستند که به‌وسیله زبانه‌ها و دهانه‌ها از دریا جدا شده‌اند. مورفولوژی این محیط‌های پیچیده دائماً به‌وسیله‌ی اثر موج و جزر و مد در حال تغییر است. موج و جریان جزر و مدی موجب حرکت رسوبات و انتقال آن‌ها در راستای طولی و عرضی و موجب فرسایش یا رسوب‌گذاری در سواحل می‌شوند. هر خلیج خصوصیات و سازوکار مختص به خود را دارد و شناخت محیط اطراف و نیروهای اثرگذار در منطقه موجب درک بهتر از سازوکار و پیش‌بینی چگونگی تغییرات آن در آینده می‌شود. برای نحوه تغییر شکل در آینده و چگونگی سازوکار این عوامل طبیعی از روش‌های تحلیلی و عددی در سراسر جهان استفاده می‌شود. از روش‌های تحلیلی که شامل برداشت دیتاها، نمونه‌برداری، عکس‌برداری، مقایسه با محیط‌های مشابه و آنالیز شواهد موجود برای درک فرآیندها و پیش‌بینی چگونگی عملکرد محیط‌های ساحلی می‌توان استفاده کرد. استفاده از روش‌های عددی نیز با توجه به قدرتمند شدن کامپیوترها در عرصه مدل‌سازی و با توجه به نرم‌افزارهای کاربردی در زمینه‌های مدل‌سازی محیط‌های ساحلی و دریای، امروزه کاربرد فراوان دارد. در این پژوهش نحوه سازوکار و عملکرد عوامل طبیعی در تغییر شکل زبانه میانکاله و خلیج گرگان در جنوب شرقی دریای خزر با استفاده از هر دو روش تحلیلی و عددی مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲- ضرورت پژوهش

خلیج گرگان و شبه‌جزیره میانکاله در جنوب شرقی دریای خزر یکی از زیستگاه‌های جانوری و مناظر طبیعی کشور ایران است و از اهمیت اقتصادی و توریستی بسزای برای ساکنین منطقه برخوردار است. با توجه به کم‌شیب بودن سواحل استان گلستان و حساسیت بالا نسبت به نوسانات، پس‌روی چند سال اخیر تراز آب دریای خزر موجب کاهش عمق آب خلیج گرگان و همچنین بسته شدن کانال خوزینی و خشک شدن چندین هکتار از اراضی خلیج گرگان شده است. تنها راه ارتباط خلیج به دریا توسط کانال آشوراده صورت می‌پذیرد که طی آخرین دوره پس‌روی تراز آب دریا، در حال بسته شدن است. عرض کانال به یک کیلومتر کاهش پیدا کرده و عمیق‌ترین نقطه کانال در حدود ۲ متر است. با بسته شدن کانال ورودی خلیج گرگان به یک مرداب یا تالاب فصلی تبدیل می‌شود.

شبه جزیره میانکاله در منتهی‌الیه جنوب شرقی دریای خزر، در دوازده کیلومتری شمال شهر بهشهر واقع در استان مازندران ایران، مساحت آن بیش از شصت و هشت هزار هکتار و ارتفاع آن بین ۱۵ تا ۲۸ متر کم‌تر از سطح دریای آزاد است. میانکاله از سال ۱۳۴۸ به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده تعیین شد و هم‌اکنون با عناوین پناهگاه حیات‌وحش، تالاب بین‌المللی و ذخیره‌گاه طبیعی زیست‌کره تحت حفاظت محیط‌زیست قرار دارد.

یکی از دلایل اهمیت میانکاله این است که در تمام سواحل جنوبی دریای خزر هیچ منطقه‌ای جز آن وجود ندارد که محیط طبیعی آن در وضعیتی نسبتاً دست‌نخورده باقی‌مانده باشد. تمامی سواحل دیگر به‌طور گسترده با ساخت‌وسازهای انسانی همچون جاده، شهر و روستا و کارخانه‌ها دگرگون شده‌اند. به همین دلیل سلامتی این منطقه اهمیت بسیاری در حفظ سلامتی کل دریای خزر دارد. سلامتی نسبی میانکاله موجب شده تا تالاب‌ها و سواحل این منطقه علاوه بر پرندگان مهاجر، محل تخم‌گذاری و زیستگاه اصلی بسیاری از ماهیان دریای خزر نیز باشد. ولی در سالیان اخیر با پس‌روی آب دریای خزر کل محیط میانکاله و خلیج گرگان تحت تأثیر قرار گرفته است. شناخت سازوکار این منطقه کمک شایانی در مدیریت‌های عمرانی در راستای حفظ این محیط‌زیست بکر کشور ایفا می‌کند.

۱-۳- اهداف پژوهش

در سال‌های اخیر خلیج گرگان در خطر بسته شدن دهانه ارتباطی خود قرار گرفته و به علت شرایط بحرانی آن مورد توجه قرار گرفته است. راهکارهای زیادی برای اتصال نگاه داشتن آب دریا با خلیج مطرح می‌شود که شامل پیشنهادهای از قبیل لایروبی، سازه محافظتی، احداث کانال مصنوعی و است. اخذ هر راهکار عمرانی در منطقه برای حفظ این خلیج نیازمند مطالعات اجمالی از نحوه عملکرد ساحل میانکاله و دهانه خلیج دارد. در این پژوهش سعی به شناخت عوامل تأثیر گذار بر منطقه، نحوه عملکردشان شده که به صورت اهداف ذیل آورده شده است.

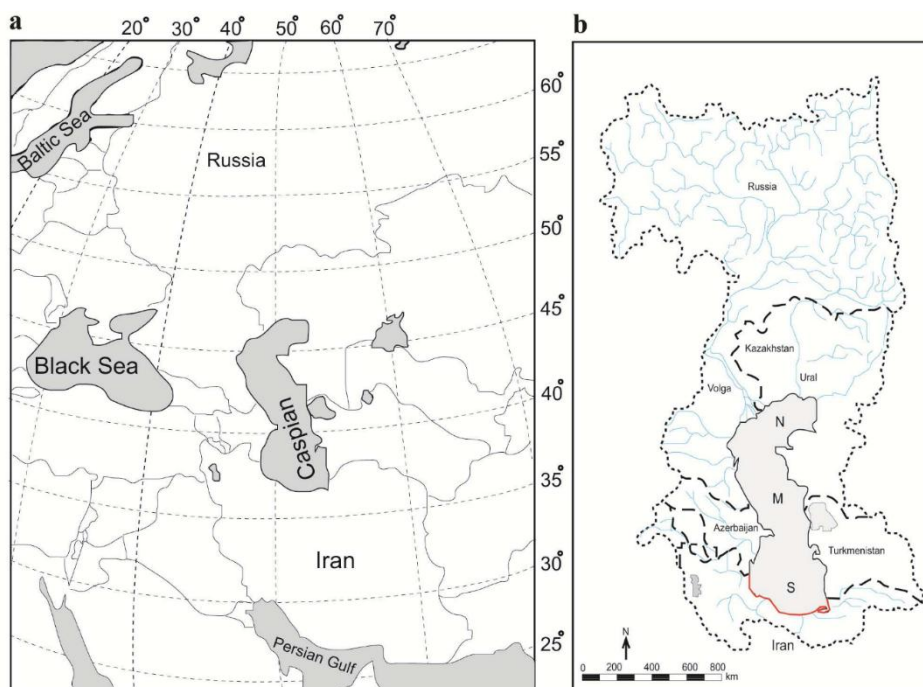
- ❖ بررسی علل نوسانات دریای خزر و تأثیر نوسانات بر مناطق کم شیب ساحلی (به‌صورت مطالعه و تحلیل تحقیقات به‌عمل آمده)
- ❖ استفاده از شواهد مورفودینامیکی، مورفولوژیکی، نمونه برداری و اندازه‌گیری برای آنالیز سازوکار زبانه میانکاله و دهانه خلیج گرگان
- ❖ برپایی مدلی عددی برای کل منطقه فوق‌الذکر از بندر امیرآباد تا دلتای گرگانرود
- ❖ ارائه مدلی مفهومی از عملکرد دهانه خلیج گرگان
- ❖ بررسی تصاویر تغییرات خط ساحلی میانکاله و نقشه‌های توپوگرافی منطقه مورد مطالعاتی
- ❖ انتخاب بهترین راهکار برای حفظ خلیج با توجه به نتایج این پژوهش

۴-۱- منطقه مطالعاتی

۱-۴-۱. دریای کاسپین

دریای کاسپین بزرگ‌ترین دریاچه دنیا، در شمال ایران بین عرض‌های 36° و 33° تا 47° و 7° و طول‌های 46° تا 43° و 54° و 50° واقع شده است. شکل (۱-۱) این دریاچه بزرگ تقریباً مستطیلی شکل، بین کشورهای ایران، ترکمنستان، قزاقستان، روسیه و جمهوری آذربایجان قرار دارد. بستر این حوضه بر اساس توپوگرافی به سه ناحیه کم‌عمق شمالی، ناحیه گودال مرکزی و بخش گودال جنوبی قابل تقسیم است.

رودهای اصلی واقع در شمال عبارت‌اند از ولگا، اورال و امیا حداقل ۸۸٪ آب این حوضه را تأمین می‌کند. رودهای غرب و شرق این حوضه مجموعاً ۷٪ رودهای ایران شامل: سفیدرود، ارس، اترک، هراز، تجن و گرگانرود تنها ۵٪ آب ورودی این دریا را تأمین می‌کند. عمده‌ترین منبع رسوبات رودخانه‌ها هستند و رودخانه‌های واقع در سواحل ایران یکی از منابع اصلی آورد رسوب به دریایی خزر است.



شکل (۱-۱) : (a) مختصات جغرافیایی دریای خزر (b) حوضه‌های آبریز دریای خزر

منطقه مورد مطالعه این پژوهش شامل چندین لند فرم است که می‌توان با مطالعه و چگونگی نحوه پیدایش آن‌ها، نوع رفتار و نحوه اثرگذاری‌شان بر کل منطقه را مورد ارزیابی قرارداد. این اشکال مورفولوژیکی به شرح ذیل می‌باشند.



۲-۴-۱. دهانه‌ها (کانال ارتباطی خلیج گرگان)

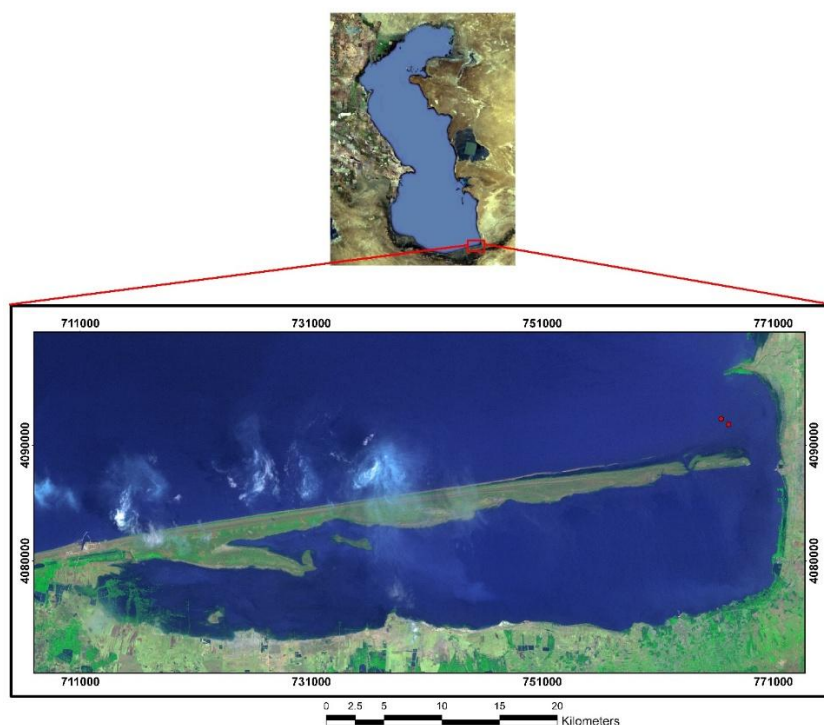
دهانه خلیج گرگان واقع در جنوب شرقی دریای خزر و انتهای شرقی خلیج گرگان با دو کانال ارتباطی چپ‌لی در قسمت شرقی و آشوراده در قسمت غربی که به وسیله یک حجم رسوبی در مرکز آن از هم جدا شده‌اند شکل (۲-۱). کانال آشوراده با حداکثر عمق ۴ متر و حداقل ۶۰ سانتی متر، تنها کانال مورد استفاده بومیان منطقه است. دهانه خلیج گرگان واقع در منتهی‌الیه شرقی خلیج، حاصل از پیشروی زبانۀ ماسه‌ای میانکالہ است. این دهانه با منشأ حرکت رسوب ساحلی و از نوع رسوخ و پیشروی ناشی از افزایش سطح دریا و تشکیل زبانۀ مانع است.



شکل (۱-۲): دهانه خلیج گرگان

۱-۴-۳. خلیج گرگان

خلیج گرگان با مساحتی حدود ۴۰۰ کیلومترمربع، بزرگ‌ترین خلیج دریای خزر است که بر اثر پیشروی زبانه ماسه میانکاله در جنوب شرقی دریای خزر تشکیل شده است. ۷۰ کیلومتر طول خلیج در جهت غربی شرقی و عرض آن بین ۱۳ تا ۱۴ کیلومتر است، مساحت آبخیز آن بیش از ۳۰۰۰ کیلومترمربع است که دوسوم آن در استان مازندران واقع شده است. درجه شوری آب خلیج در قسمت‌های شرقی به علت کم عمقی و افزایش تبخیر، قدری بیشتر از دریای خزر است. در دهانه رودهای پرآبی همچون قره‌سو و گهرباران با ورودی آب شیرین از درجه شوری کاسته و به گل آلودگی آن می‌افزایند. حدود ۲۵ رود و نهر کوچک از دامنه شمالی البرز وارد خلیج گرگان می‌شوند. خلیج‌ها بریدگی حاصل از پیشروی دریا در خشکی هستند و از جنبه‌های مختلفی اهمیت دارند. مهم‌ترین جلوه زمین‌شناسی بخش جنوبی سواحل دریای کاسپین به شمار می‌رود. کشیدگی پوسته در کرانه دریای کاسپین یک فروافتادگی جوان ایجاد کرده و به دنبال آن پیشروی دریا باعث پدید آمدن عریض‌ترین پهنه رسوبی در جنوب شرقی دریای کاسپین شده است. وجود تالاب‌ها و مرداب‌های پراکنده در حدفاصل این خلیج تا نکارود و کاهش عمق به سمت غرب، نشان از وسعت بیشتر آن در زمان پیدایش دارد. رسوبات منتقل شده از شاخه‌های فرعی نکارود و چندین آبراهه در جنوب خلیج، رودخانه قره‌سو و رودخانه، گرگانرود، از مهم‌ترین عوامل کاهش عمر مفید این خلیج به شمار می‌روند. عمق آن در حداکثر نقاط خود به اندازه ۴ تا ۵ متر بوده و از طریق دهانه منتهی‌الیه شرقی خود به دریای خزر اتصال دارد. شکل (۱-۳)



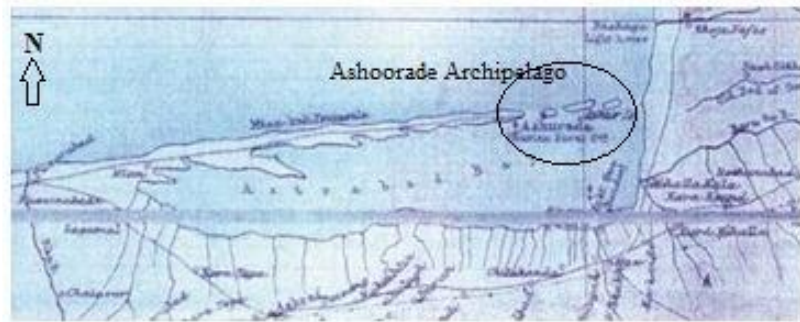
شکل (۳-۱): خلیج گرگان در منتهی‌الیه شرقی دریای خزر (تصویر ماهواره لندست ۲۰۰۲)

۵-۴-۱. زبانه ماسه‌ای یا شبه‌جزیره میانکاله

شبه‌جزیره میانکاله پس از خلیج گرگان، مهم‌ترین جلوه زمین‌شناسی سواحل شمال کشور به شمار می‌رود. زبانه ماسه‌ای در دهانه خور ها، خلیج‌ها، رودخانه‌ها و به‌موازات ساحل و در جهت آورد رسوب ساحلی^۱ تشکیل می‌شوند. زبانه میانکاله بزرگ‌ترین و طولی‌ترین زبانه ماسه‌ای سواحل شمال کشور است. امواج شمال غرب پس از شکست در خطوط ساحلی جریان‌های در طول ساحل (جریان طولی ساحل)^۲ ایجاد کرده‌اند و به‌این ترتیب رسوبات خروجی را از رودخانه‌های تجن، نکارود را به سمت شرق رانده که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. این زبانه حاصل از توپوگرافی مسطح، حرکت رسوبات از شرق به غرب و همچنین تغییرات تراز آب دریای خزر است. بررسی نقشه قدیمی برداشت شده در سال ۱۸۹۰ از سواحل جنوب شرقی دریای کاسپین و خلیج گرگان نشان می‌دهد که زمانی آشوراده امروزی مرکب از سه جزیره کوچکتر بوده است (عمادالدین، ۲۰۱۲). [1] این جزایر به دلیل شیب ملایم و ارتفاع کم در برابر نوسان سطح آب دریای کاسپین به سرعت واکنش نشان داده و جزایر مذکور به تدریج در پاسخ به کاهش سطح آب دریای کاسپین رفته رفته به یکدیگر متصل می‌گردند (عرفان و حامدی، ۲۰۱۵) [2]. شکل (۴-۱)

¹ -littoral drift

² - longshore current



شکل (۱-۴): نقشه تاریخی خلیج گرگان و شبه جزیره میانکاله در سال ۱۹۸۰

۱-۴-۶. مرداب‌ها و تالاب‌های ساحلی

مرداب‌های و تالاب‌ها مناظر ریخت‌شناسی هستند که در نقاط مختلف سواحل ایران تشکیل شده‌اند. این مناظر در سواحل جنوب کشور درخورها تشکیل شده‌اند و تابع رژیم جزر و مد دریا و اقلیم منطقه هستند. در سواحل شمالی به‌ویژه خلیج گرگان و تالاب گمیشان این مناظر در محیط‌های حفاظت‌شده از فعالیت امواج و تابع شرایط اقلیمی، رژیم رسوبی و آبی رودخانه‌های منطقه توسعه یافته‌اند. شکل (۱-۵) توانایی بالای رشد گیاهان آوندی لب‌شور در منطقه باعث به دام افتادن رسوبات در بین آن‌ها شده و ادامه این امر موجب گسترش خطوط ساحلی مرداب در بخش اعظمی از خلیج گرگان و سواحل شرقی دریای کاسپین شده است. مرداب‌های سواحل غربی استان و سواحل شرقی دریای کاسپین از نوع مرداب‌های شور^۱ هستند. مرداب و تالاب‌های سواحل جنوب شرقی دریای خزر حاصل از توپوگرافی مسطح و تغییر سریع تراز آب دریای خزر است (کاکرودی و همکاران ۲۰۱۲) [3]. در مطالعه دیگری که توسط نادری بنی و همکاران در سال ۲۰۱۴ انجام گرفت نحوه تشکیل زبانه میانکاله و تالاب میانکاله شرح داده شد. نادری بنی در تحقیقات خود در ساحل جنوبی دریای خزر در سال ۲۰۱۴ به این نتیجه رسید که قسمت جنوب شرقی دریای خزر به‌وسیله رسوبات بسیار ریزدانه و توپوگرافی مسطح آن، که حساس به تغییرات تراز آب دریای خزر است مشخص می‌شود؛ و شکل‌گیری مجموعه لاگون و مانع معمول‌ترین پاسخ ساحل به تغییر تراز آب دریای خزر است؛ و در طول آخرین دوره هولوسن بر طبق توپوگرافی مسطح ساحل و آب‌وهوای خشک منطقه، شکل‌گیری محیط نمکی و توسعه محیط رسوبی ناشی از تبخیر آب در منطقه به سرعت اتفاق می‌افتد [4].

^۱ -saltmarsh



شکل (۱-۵) : محیط تالاب میانکاله در زبانه ماسه‌ی میانکاله (عکس توسط این پژوهش)

۱-۴-۷. دلتاها (دلتای گرگانرود)

دلتاها یکی از محیط‌های رسوبی حد واسط هستند که در محیط‌های چون مصب رودخانه‌های وارده به اقیانوس‌ها، دریا‌های نیمه بسته، دریاچه‌ها، مرداب‌ها و جاهای که سرعت تأمین رسوب بیش از سرعت توزیع آن توسط فرایندهای دریایی باشد، ایجاد می‌شوند. مطالعات انجام‌شده بر روی دلتاهای عهد حاضر، نشان می‌دهد که میزان رسوب سالیانه وارده به حوضه، نسبت بار بستر به بار معلق رودخانه، آب‌وهوا و جنس سنگ منشأ در مقدار رسوب وارده به دلتا مؤثرند. رودخانه‌های منتهی به بخش جنوبی دریای خزر سالیانه حجم بسیار زیادی از رسوبات را وارد دریا می‌کنند (۴۰ میلیون تن) که از این میان رودخانه گرگانرود در ناحیه شرق و سفیدرود در بخش غرب و مرکزی سواحل جنوبی شاخص‌ترین آن‌ها هستند. در دلتای گرگانرود رسوبات ریزدانه از نوع رس، رس سیلتی و سیلت رسی نشئت می‌یابند. فراوانی مواد معلق دانه‌ریز در رسوبات گرگانرود و تداوم آن باعث شکل‌گیری دلتای کمانی شکل در ناحیه کم‌عمق اراضی ساحلی و شیب بسیار ملایم توپوگرافی در این قسمت از ساحل شده است. این مواد تحت تأثیر جریانات موازی ساحل در راستای جنوب به شمال (S-N) حرکت کرده و به تدریج رسوب‌گذاری می‌کنند. تداوم این پدیده باگذشت زمان سبب تشکیل ناحیه کم‌عمق در حوضه دریایی شده است که تشکیل مرداب گمیشان مرهون این فرایند فیزیکی است [5]. متوسط دبی ماهانه در ایستگاه بصیرآباد در گرگانرود برابر با ۱۴,۷۱ مترمکعب در ثانیه و حداکثر دبی ماهانه

ثبت شده، در ایستگاه آق قلا ۱۷,۸۲ مترمکعب در ثانیه و دبی رسوبی گرگانرود برابر با ۲۱۴۳۳۲۵ تن در سال است (رحیمی پور انارکی، ۱۳۸۵) [6].

۱-۵- بخش‌های پایان‌نامه

روند این پژوهش در راستای درک بهتر خواننده و پیوستگی بین بخش‌های پایان‌نامه به شکل ذیل تدوین شده است. ابتدا در فصل دوم تعاریفی از روش‌های مورد استفاده این پژوهش برای دسته بندی سواحل میانکاله و دهانه خلیج بر اساس شواهد فیزیکی و هیدرودینامیکی و تئوری‌های مربوط به عملکرد دهانه‌ها بیان می‌شود. سپس در همین فصل تعاریفی از ماژول‌های نرم افزار مورد استفاده این پژوهش (مایک ۲۱) ارائه می‌شود.

در فصل سوم مروری بر سابقه تحقیقات مرتبط با این پژوهش می‌شود و در ادامه سوابق تحقیقاتی مرتبط با نوسانات تراز آب دریای خزر و برای درک سازو کار آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل آخر مواد و روش‌های مورد استفاده برای شناخت سازو کار سواحل میانکاله و دهانه خلیج معرفی شده و در ادامه فصل به توضیح شرایط آماده سازی ماژول‌های نرم افزاری مورد استفاده این پژوهش پرداخته شده و نتایج دسته بندی سواحل و عملکرد دهانه خلیج گرگان و نتایج نرم افزار مایک تحت هیدرودینامیک منطقه ارائه می‌شود. مدل‌های مسدود شدن دهانه خلیج گرگان ارائه می‌شود و در انتهای فصل با توجه به اطلاعات بدست آمده از شرایط منطقه، پیشنهادی در خصوص راهکار موثر برای پویا نگاه داشتن خلیج گرگان ارائه می‌شود.

فصل ۲ تعاریف

۲-۱- تعاریف مرتبط با نحوه عملکرد سواحل

۲-۱-۱. تعریف ژئومورفولوژی

ژئومورفولوژی علم مطالعه و بررسی اشکال ناهمواری‌های زمین مخصوصاً مطالعه ماهیت تعریف شده است، این واژه از زبان یونانی گرفته شده و از سه جزء (ژئو= زمین، مورف= شکل و لوژی= شناسی) ترکیب یافته است.

ژئومورفولوژی به انگلیسی (Geomorphology) یا زمین‌ریخت‌شناسی علم مطالعه سیستماتیک و بین‌رشته‌ای زمین چهره‌ها و مناظر آن‌ها به علاوه فرایندهای درونی و بیرونی کره زمین است که اشکال را خلق کرده و آن‌ها را تغییر می‌دهند. ژئومورفولوژی شاخه‌ای از رشته‌ی جغرافیای طبیعی است که به بررسی چگونگی به وجود آمدن اشکال مختلف طبیعی در سطح زمین می‌پردازد و تغییرات حاصل از عوامل درونی و بیرونی زمین را بر روی این اشکال دنبال می‌کند تا بتواند رفتار آن‌ها را تبیین نموده و به پیش بینی آینده آن نائل شود. هدف از این علم، مطالعه اجزای اصلی تشکیل دهنده‌ی ناهمواری‌ها است و از روش اصولی توصیف علمی ناهمواری شامل شناسایی اجزای متفاوت عوارض زمین و چگونگی روابط بین آن‌ها و طبقه‌بندی این عوارض به صورت سیستماتیک بهره می‌گیرد. باد، امواج، جزر و مد و جریان‌های دریایی مهم‌ترین فرایندهای تأثیرگذار در آب‌های ساحلی هستند. این فرایندها انرژی لازم را برای شکل‌دهی یا تغییر نوار ساحلی از طریق فرسایش، حمل و رسوب‌گذاری تأمین می‌کنند. باوجود این که امواج، جزر و مد و جریان‌های دریایی در ارتباط با همدیگر عمل می‌کنند، ولی یکی از فرایندها ممکن است اثر دیگر فرایندها را افزایش یا کاهش دهد.

فرایندهای ساحلی از راه‌های مختلفی ایجاد می‌شوند و برخی نیز چندین منشأ دارند. انواع جریان‌های ساحلی عبارت‌اند از:

- ❖ جریان گردابی: زمانی که آب حاصل از شکست امواج، به‌طور زاویه‌دار به خط ساحلی می‌رسند، این نوع جریان تشکیل می‌شود.
- ❖ جریان ناشی از امواج: هنگامی که امواج به‌طور زاویه‌دار به خط ساحلی می‌رسند، موجب جریان آب در امتداد ساحل می‌شوند و این جریان را ایجاد می‌کند.
- ❖ جریان جزر و مدی: در اثر حرکات جزر و مدی و بالا و پایین رفتن آب بر اثر جزر و مد ایجاد می‌شود.
- ❖ جریان اقیانوسی: حرکت توده‌ای و آرام آب در واکنش به تغییرات شوری و دمای آب و فشار اتمسفر و باد است.
- ❖ جریان ناشی از وزش باد: در جهت وزش باد ایجاد می‌شود.

❖ جریان رودخانه‌ای: جایی که رودخانه وارد دریا می‌شود، این نوع جریان ایجاد می‌شود.

همچنین جریان‌های ناشی از اختلاف چگالی نیز وجود دارد که آب از مناطق با چگالی بیشتر به مناطقی با چگالی کمتر حرکت می‌کند ولی در سواحل تأثیری ندارند.

منطقه مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر سه عامل باد موج و جریان‌های موازی ساحلی قرار دارد.

۲-۱-۲. موج

وزش باد روی سطح توده‌های بزرگ آبی از جمله اقیانوس‌ها، دریاها و دریاچه‌ها باعث شکل‌گیری امواجی در امتداد وزش باد می‌شود و با افزایش طول بادخیز انرژی موج افزایش می‌یابد. بخشی از امواج، به‌سوی کرانه‌ها حرکت می‌کنند. 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 یک‌سوم بالای یک گروه موج (که ارتفاع موج مشخصه نامیده می‌شود)

عمق شکست: (h_b) عمق آب در نقطه‌ی شکست

از نظر کیفی، شکست موج به یکی از صورت‌های شکل (۱-۲) رخ می‌دهد.

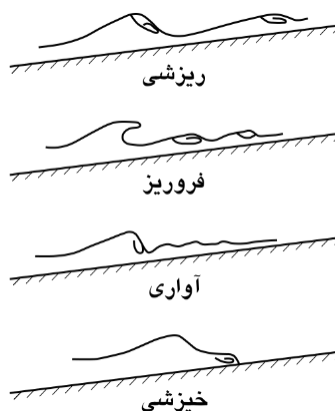
- شکست ریزشی^۱: تقارن نسبی، تشکیل ناحیه مخلوط آب‌وهوا (کف‌آلود) در نزدیکی تاج موج و حرکت آن به سمت جلو با سرعت ظاهری موج، پخش آشفتگی از سطح به کف
- شکست شیرجه‌ای فروریز^۲: عدم تقارن موج، شیرجه بخشی از ذرات آب در پای موج جلویی خود، آشفتگی در محل شیرجه، آشفتگی بیشتر در مقایسه با شکست ریزشی
- شکست غلتشی خیزشی^۳: به دلیل شیب زیاد بستر، پای موج ناپایدار می‌شود و یک ناحیه کف‌آلود وسیع در مقابل سینه موج ایجاد می‌شود.

¹ -spilling

² -plunging

³ -surging

افزون بر سه نوع یادشده، برخی از محققان، یک حالت انتقالی نیز میان شکست فروریز و شکست خیزشی در نظر می گیرند که شکست انهدامی آواری^۱ نامیده می شود.



شکل (۱-۲) : مدل شکست امواج

نحوه ی شکستن موج، وابسته به طبیعت بستر و مشخصات موج است. برای نمایش این وابستگی، پارامتر بی بعدی به نام عدد ایریبارن به صورت زیر تعریف می شود.

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} \quad \text{فرمول (۱-۲)}$$

که در آن، α شیب بستر، H ارتفاع موج در مکان موردنظر و L_0 طول موج در آب عمیق است. عدد ایریبارن در آب عمیق (ارتفاع موج H_0) نقطه ی شکست (ارتفاع موج H_{br}) به ترتیب به صورت ξ_0 و ξ_{br} نمایش داده می شوند. بر اساس این پارامتر، می توان انواع شکست موج را توصیف کرد.

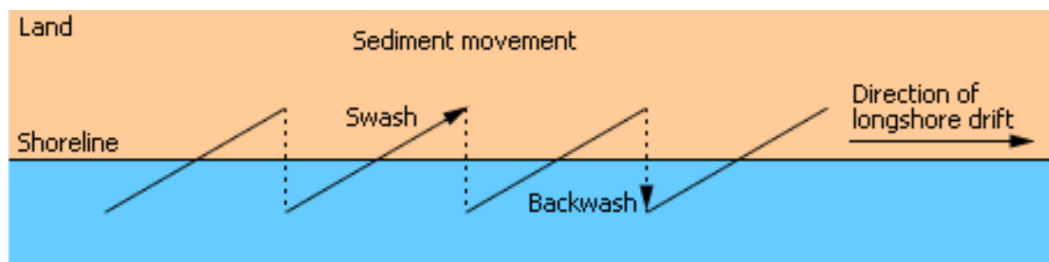
جدول (۱-۲) : نوع شکست موج با استفاده از عدد ایریبارن

شیب بستر	عدد ایریبارن	نوع شکست
شیب بسیار ملایم	$\xi_0 < 0.4$, $\xi_{br} < 0.5$	شکست ریزشی
شیب تند	$0.5 < \xi_0 < 3.3$, $0.4 < \xi_{br} < 2.0$	شکست فروریز
شیب بسیار تند	$3.3 < \xi_0$, $2.0 < \xi_{br}$	شکست خیزشی

¹ -collapsing

۳-۱-۲. جریان موازی ساحل

جریان موازی ساحل یک فرایند جغرافیایی است که باعث انتقال رسوب (از جمله رس، لای و ماسه) در امتداد ساحل می شود. این فرایند در ناحیه شکست و در نزدیکی ساحل انجام می شود. تلاطم ناشی از شکست موج، باعث به حرکت درآمدن و معلق شدن رسوبات (به دو شکل بار بستر و بار معلق) در ناحیه شکست می شود. سپس جریان های ساحلی در جهت موازی و عمود بر ساحل، این رسوبات را با خود منتقل می کنند. به طور کلی نرخ انتقال رسوب، به صورت مستقیم، وابسته به سرعت جریان است. تغییر سرعت جریان منجر به تغییر در غلظت رسوبات معلق می شود. افزایش سرعت جریان منجر به افزایش غلظت رسوب و در نتیجه فرسایش بستر می شود. هم چنین کاهش سرعت، باعث کم شدن غلظت و رسوبگذاری در بستر می شود؛ بنابراین، تغییرات سرعت جریان، در درازمدت منجر به تغییر شکل خط ساحلی و نیمرخ ساحلی می شود. شکل (۲-۲)



شکل (۲-۲): جریان موازی ساحل

۲-۲- معرفی مهم ترین عوارض مورفودینامیکی در سواحل

۱-۲-۲. مکانیزم تشکیل 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 جزرو مد) 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 تپه‌ها ۳ متر که غالباً توسط پوشش گیاهی تثبیت شده‌اند. جهت توسعه آن‌ها تقریباً به موازات ساحل (کرمی خانیکی، ۱۳۸۳) و از نظر مورفودینامیکی تپه‌ها به شکل عرضی^۱ گسترش یافته‌اند [7]. اهمیت آن‌ها به عنوان ساختارهای حفاظت طبیعی در مقابل عوامل فرساینده مناطق ساحلی بسیار بالاست و می‌توان با توسعه و سازمان‌دهی و حتی با ایجاد آن‌ها با استفاده از روش‌های مصنوعی شرایط مناسبی را برای حفاظت ساحلی پدید آورد. به‌طور کلی ۷۶٪ سواحل جنوبی دریای کاسپین فاقد تپه‌های ماسه‌ای است که می‌توان به دلیل شرایط فیزیکی و ساختار کلی سواحل و همچنین توسعه فعالیت‌های انسانی و تخریب و ویرانی آن‌ها دارد. [5] اما وجود نرم‌تنان فراوان در تپه‌های ماسه‌ای که باد حاکم در منطقه قادر به حمل و جابه‌جایی آن‌ها نمی‌باشند و از طرفی این دو کفه‌ای‌های خاص محیط‌های آبی و لب‌شور هستند و همچنین اثر این دو کفه‌ای‌ها به صورت سالم در کل تپه پراکنده هستند. درواقع این تپه‌ها رشته‌های ساحلی و یا به قولی طناب ساحلی زیر آبی قدیمی دریای کاسپین است که در هنگام پیشروی در این رسوبات را دریا از قسمت‌های عمیق‌تر به سمت ساحل می‌آورد که در هنگام پس‌روی شروع به عقب کشیدن آن‌ها می‌کند و از آنجای 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 [8].

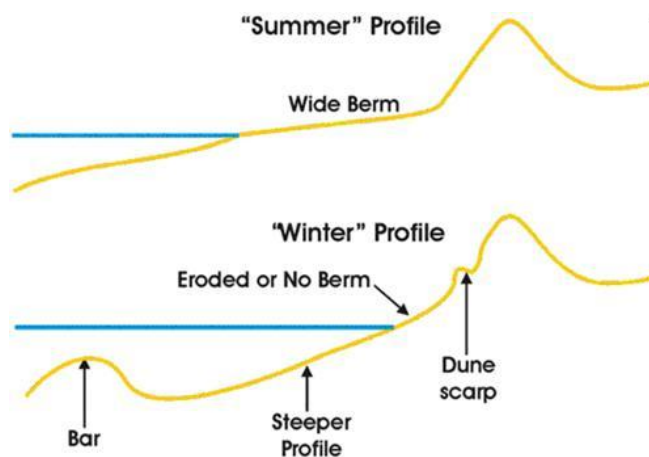


شکل (۲-۳) : تپه ماسه‌ای در ساحل میانکاله (عکس توسط این پژوهش)

❖ نهشت و برداشت (Cut and Fill): مقطع ساحلی در اثر انرژی رسیده از طوفان و امواج سهمگین فصول سرد سال (Storm Period) ارتفاع آن‌ها کاهش می‌یابد زیرا امواج طوفانی باعث شست‌وشوی

¹-transverse dunes

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 سمت ساحل و بازسازی ساحل می‌شوند و در این دوره زمانی ساحل شکل محدبی به خود می‌گیرد. شکل (۲-۴) 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 آنجاکه 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 (۲-۴): نیمرخ عرضی ساحل برای حالت تابستانه و زمستانه

❖ سواحل بالا و پایین^۱: 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 روبه‌دریا رسوبات ماسه‌ی ریزدانه‌تر را به خط ساحلی برمی‌گرداند و درنهایت سواحل بالا و پایین شکل می‌گیرد.

^۱ -upper and lower beach

❖ چینه‌بندی ساحلی^۱: در دوره‌های طوفانی رسوبات دانه‌ریز در حجم رسوبات کنار دریا به وسیله‌ی مؤلفه‌ی روبه‌دریا، جریان‌های ساحلی به طرف دریا حرکت می‌کنند و ذرات درشت‌تر مثل رسوبات ماسه‌ی دانه‌درشت در ساحل بر جای خود می‌مانند اما در دوره‌ی آرامش با افزایش قدرت مؤلفه‌ی 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 به صورت دوره‌های طوفانی و امواج مرده است.

❖ شاخک‌های ساحلی^۲: 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، کم‌ثرزفای 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 (۵-۲)



شکل (۵-۲): شاخک‌های ساحلی

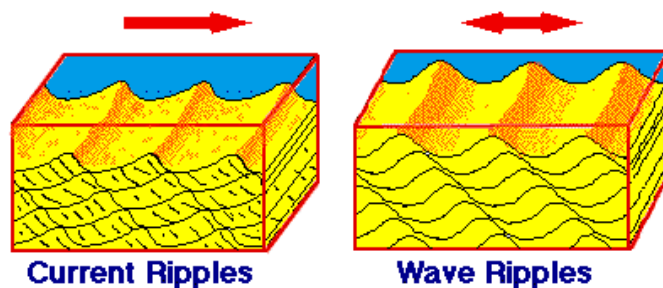
❖ موج‌نقش ماسه‌ی^۳: در ناحیه داغ آب ساحلی که جنس رسوبات در صورت ساحل ماسه‌ی دانه‌ریز باشد (به همراه سیلت و رس) و انرژی هیدرودینامیک پیوسته و با شدت کم باشد تپه پشته

^۱ -beach stratification

^۲ - beach cusp

^۳ -ripple mark

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 (ایوانز، ۱۹۹۴) [9]. موج‌نقش‌های نامتقارن در آب‌های کم‌عمق و تحت اثر موج شکسته شده در امتداد ساحل دیده می‌شوند که نشان‌دهنده جریان ضعیف در منطقه است (مونرو و همکاران، ۱۹۹۷) [10]. شکل (۶-۲) و (۷-۲).



شکل (۶-۲): موج نقش‌ها در سواحل



شکل (۷-۲): ریپل مای 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 ترادف 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. شکل (۸-۲) اندازه ارتفاع تراس‌ها نشان‌دهنده میزان فرسایش‌پذیری منطقه است. [5]



شکل (۸-۲): تراس‌های فرسایشی در ساحل غربی میانکاله (عکس توسط این پژوهش)

❖ بارهای رسوبی (Relief & Deposit): 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. 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.

۲-۳- دسته‌بندی سواحل

معمولاً سواحل از ابعاد مختلفی بررسی می‌شوند. از نظر جغرافیای، ساحل منطقه وسیعی از خشکی و دریا است که در آن عوامل مختلف خشکی و دریا با یکدیگر در تعامل بوده و شرایطی را ایجاد می‌کنند که با هریک از مناطق خشک و دریای متمایز است. از نظر مهندسی سواحل، منطقه ساحلی از پشت تلماسه‌ها (در سواحل ماسه‌ای) و یا پرتگاه (در سواحل صخره‌ای) شروع شده و تا منطقه شکست امواج ادامه پیدا می‌کند. از دیدگاه حقوقی، اراضی ساحلی منطقه‌ای است که به عرض ۲ کیلومتر از بالاترین مد دریا در طول ساحل شروع شده و تا عمق ۶ متر از پایین‌ترین تراز جزر در داخل دریا ادامه دارد.

۲-۳-۱. دسته‌بندی هیدرودینامیکی سواحل

دهانه‌ها عمدتاً تحت تأثیر برهمکنش دویروی موج و جزر و مد قرار دارند. شناخت اینکه سواحل بیشتر تحت تسلط کدامین نیرو شکل می‌گیرند، این امکان را فراهم می‌کند که درک بهتری نسبت به تغییر و تحولات آن در آینده داشته باشیم. در مرحله اول ساحل تحت تأثیر رنج جزر و مد و تأثیر آن بر فلات قاره (سطح شیب‌دار ملایم بستر آب‌های کم‌عمق دریاها) است. از این‌رو جزر و مد در سه دسته ذیل تقسیم می‌شوند. جدول (۲-۲)

جدول (۲-۲) : رنج جزر و مد

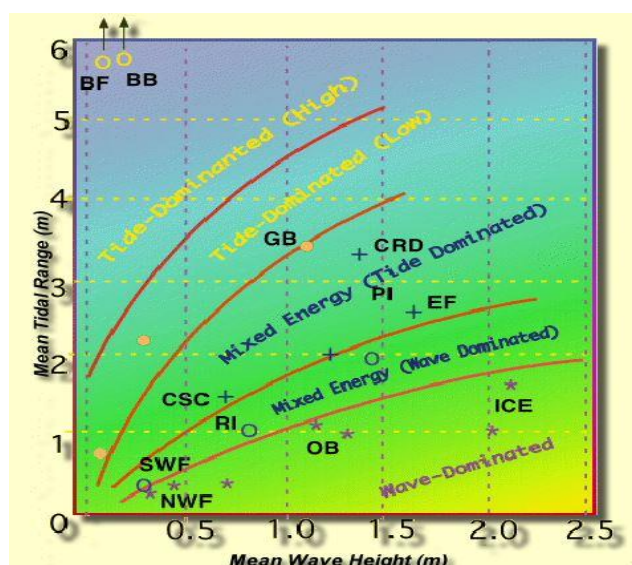
میانگین جزر و مد	
کمتر از ۲ متر	جزر و مد پایین (Micro tidal)
بین ۲ تا ۴ متر	جزر و مد متوسط (Meso tidal)
بیشتر از ۴ متر	جزر و مد بالا (Macro tidal)

موج که به‌سوی ساحل می‌آید در شکل‌دهی ساحل تأثیر می‌گذارد. از این‌رو انرژی موج به‌صورت ذیل دسته‌بندی شده است. جدول (۳-۲)

جدول (۲-۳) : رنج ارتفاع موج

میانگین ارتفاع موج	
کمتر از ۰,۶ متر	موج با انرژی پایین
بین ۰,۶ تا ۱,۵ متر	موج با انرژی متوسط
بیش از ۱,۵ متر	موج با انرژی بالا

به علت اینکه پارامترهای رنج جزر و مد و انرژی موج بر سیستم دهانه‌ها و ساحل تأثیرگذار است، از این رو (هایس، ۱۹۷۹) و (هایس و داویس، ۱۹۸۴) از این اطلاعات برای دسته‌بندی بر اساس تسلط قدرت موج^۱، تسلط قدرت جزر و مد^۲ و تحت سلطه هم موج هم جزر و مد^۳ استفاده کرده‌اند که در شکل (۲-۹) می‌بینید؛ و هر کلاس خصوصیت مورفولوژیکی مخصوص به خودش را دارد. به‌عنوان مثال اندازه نسبی دلتای جزر یا مد و مکانیزم انتقال رسوب از دهانه، به نسب تحت سلطه بودن قدرت موج یا قدرت جزر و مد در منطقه وابسته است. هر کلاس طیفی از رنج جزر و مد و ارتفاع موج را پوشش می‌دهد [11].



شکل (۲-۹) : دسته‌بندی خط ساحلی بر پایه موج و انرژی جزر و مد توسط هایس در سال ۱۹۷۹. [11]

¹ -wave domain
² -tide domain
³ -mixed energy

همان‌طور که توسط هایس در سال ۱۹۷۶ بیان‌شده، سواحل از نظر رژیم هیدرودینامیک به سه دسته تقسیم‌شده‌اند. خصوصیات هر دسته به شرح ذیل است.

❖ سواحل تحت سلطه فرایند موج

شکل‌گیری این دسته از سواحل تحت قدرت موج است، به‌طوری‌که عموماً موج با قدرت بالا و جزر و مد پایینی در منطقه وجود دارد. در این سواحل زبانه ماسه‌ای به‌صورت بلند و کشیده است، دلتای حاصل از جزر بسیار ضعیف یا ناموجود است در صورتی‌که دلتای حاصل از مد بسیار خوب تشکیل می‌شود. در پشت زبانه و درون خلیج tidal flat, marsh به‌صورت حاشیه‌ی و کم وجود دارد. بر روی زبانه ماسه‌ی تپه‌های ماسه‌ی به‌خوبی تشکیل می‌شوند و روشویی^۱ بر روی زبانه ماسه‌ی معمول است. شکل (۲-۱۰) مدل ارائه‌شده توسط هایس و کانا در سال ۱۹۷۶ است [12].

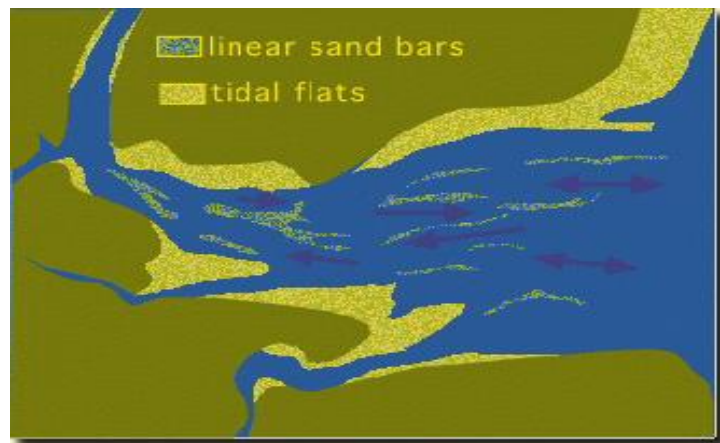


شکل (۲-۱۰) : مدل دهانه رنج جزر و مدی کم بر پایه سواحل مانع در خلیج مکزیک، موج تشکیل یک بدنه ماسه‌ای همچون یک ساحل کشیده داده است و انحنا در زبانه ماسه‌ای معمول است. دلتای جزرومدی روبه‌داخل و روشویی بر روی زبانه که توسط طوفان تشکیل‌شده، غالب است [12].

❖ سواحل تحت سلطه فرایند جزر و مد

^۱ - wash over

این سواحل تحت رژیم جزر و مد شکل می‌گیرند. به‌طوری‌که سلطه جزر و مد بیش از قدرت موج است. در این سواحل جزایر مانع و زبانه‌های مانع تحت فرسایش ناشی از جزر و مد قرار گرفته و کم‌کم از بین می‌رود؛ و رسوب‌گذاری در دهانه به‌صورت خطی و عمود بر ساحل است؛ و در درون خلیج tidal flat marsh, به‌صورت گسترده و پهن‌آور است. شکل ظاهری دهانه به‌صورت قیفی شکل است. شکل (۱۱-۲) مدل ارائه‌شده از این دهانه‌ها است.



شکل (۱۱-۲): دهانه با رنج جزر و مدی بالا [12].

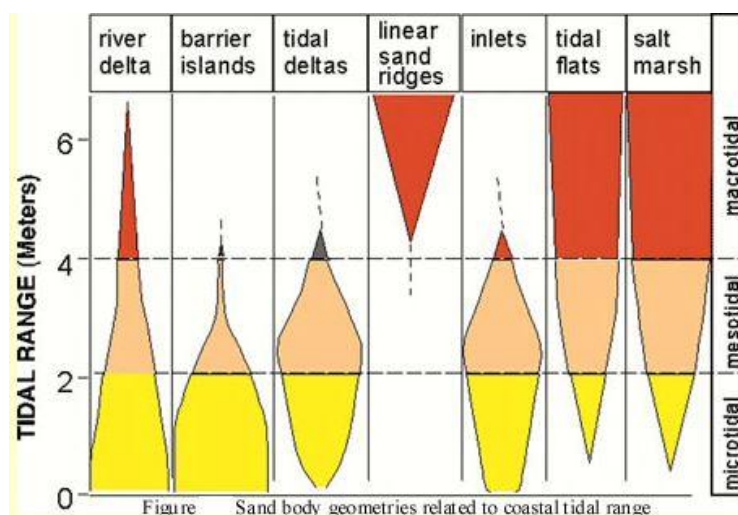
❖ سواحل تحت سلطه هم موج و هم جزر و مد

این سواحل تحت ترکیبی از انرژی موج و جزر و مد قرار دارند. به‌طوری‌که هر دو فرایند در شکل‌دهی سواحل تأثیرگذار هستند. موانع سدی در این سواحل کوچک و چاق هستند و در این سواحل ممکن است یک یا چند دهانه شکل بگیرد. دلتای حاصل از جزر و دلتای مد به‌خوبی شکل گرفته و پویا هستند. Salt marsh, tidal flat به‌صورت گسترده و فراوان و تپه‌ها ماسه‌ای عموماً بزرگ شکل می‌گیرد. مدلی از این دهانه‌ها در شکل (۱۲-۲) می‌بینید.



شکل (۲-۱۲): دهانه جزایر مانع در حالت رنج جزر ومدی متوسط رسم شده [12].

هایس در سال ۱۹۷۵ دسته‌بندی دیگری را با توجه به توزیع لند فرم ساحلی در انواع حالت جزر و مدی بیان کرده است که در شکل (۲-۱۳) دیده می‌شود [13].



شکل (۲-۱۳): توزیع لند فرم ساحلی با توجه به رنج جزر و مد [13].

این پژوهش با استفاده از بررسی شکل ظاهری منطقه و مقایسه اندازه‌های موج و جزر و مد، ساحل جنوبی دریای خزر را از نوع سواحل تحت سلطه موج بدست آورده است. سواحل تحت سلطه قدرت موج خود به چند دسته تقسیم می‌شوند که ویژگی‌ها و سوبگذاری مختص به خود را دارند که در ادامه به آن پرداخته شده است.

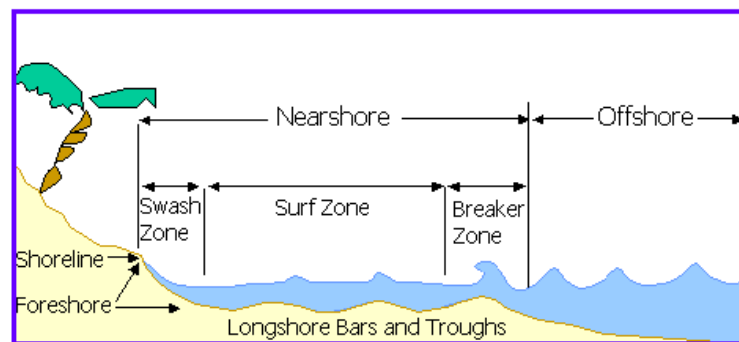
۲-۳-۲. اساس تقسیم‌بندی سواحل بر اساس انرژی امواج

در طبقه‌بندی سواحل اتفاق نظری وجود ندارد و بر مبنای (عوامل و پدیده‌های زمین‌شناسی، عوامل هیدرودینامیکی، عوامل اقلیمی، فعالیت‌های انسانی) که هر کدام از ویژگی خاصی برخوردارند تقسیم‌بندی گردیده‌اند. نزدیکی ساحل، عمق آب و شیب بستر دریا، فاکتورهای مهم در طبقه‌بندی

محیط‌های دریایی است. محیط‌های ساحلی در سطح جداکننده بین خشکی و دریا قرار دارند و توسط فرایندهای دریای متأثر می‌شوند. همه سواحل تا حدودی هر دو فرآیند فرسایش و ته‌نشینی را تجربه می‌کنند. از این رو سواحل بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی به ۲ گروه سواحل با چهره‌های فرسایشی و سواحل با چهره ته‌نشینی تفکیک می‌شوند.

در سال ۱۹۸۱ هاوارد و رینک دو ساحل جورجیا و کالیفرنیا را از نظر سطح انرژی هیدرودینامیکی حاکم مقایسه نمودند. آن‌ها مشخص کردند که ساحل جورجیا ماهیتاً از سواحل کم انرژی و ساحل کالیفرنیا برعکس ساحلی بسیار پرانرژی و فعال است. روش آن‌ها در تقسیم‌بندی سواحل و مقایسه آن‌ها با یکدیگر بر اساس مطالعه رژیم امواج، ساختارهای رسوبی بستر و نوع دینامیک رسوبات صورت گرفت. به طور اعم سواحل از نظر سطح انرژی امواج به سه دسته ۱- سواحل انعکاسی ۲- سواحل تعادلی ۳- سواحل پراکنشی تقسیم می‌شوند. [14]

برای درک بهتر از این تقسیم‌بندی ابتدا باید تعاریفی از ناحیه شستشو، ناحیه شکست و ناحیه نزدیک ساحل را بیان کرد؛ که در شکل (۲-۱۴) آورده شده است.



شکل (۲-۱۴): ناحیه بندی نزدیک به ساحل

❖ ناحیه شستشو^۱: ناحیه شستشو در سواحل کم انرژی انعکاسی^۲ دارای عمق و پهنای کم است. دارای چین‌بندی ساده‌ی شامل خاک‌ریز، کاسپ^۳، صورت ساحل^۴ و پله انتهایی^۵ می‌باشند. ناحیه نزدیک به ساحل^۶ کم عمق است. با افزایش انرژی امواج سواحل تعادلی شکل می‌گیرند و ساختار مورفودینامیک بستر نیز دچار تغییر می‌شود. در این حالت خاکریز باریک و پرشیب‌تر شده و پله که نشانه سواحل کم انرژی است از بین می‌رود و رسوبات ناحیه شستشو و شکست باهم ترکیب‌شده و در رسوبات دانه‌ریز جور شدگی افزایش می‌یابد؛ اما این حالت در سواحل فرسایشی

¹ -swash zone

² -reflective

³ -cusp

⁴ Beach face

⁵ -basal step

⁶ -near shore zone

با از بین رفتن خاکریز و کاسپ ها دنبال می شود و عرض صورت ساحل به علت عملکرد قوی امواج گاهی تا ناحیه پشت ساحل ادامه می یابد.

❖ ناحیه شکست امواج^۱: در ناحیه شکست امواج شدت تغییرات مورفودینامیکی بین سواحل انعکاسی و فرسایشی بسیار بیشتر است. در سواحل انعکاسی شکست امواج در نوار باریک تری صورت می گیرد و امواج از نوع خیزشی هستند که این حالت امواج موجب تشکیل پله در ناحیه پرشیب شستشو در ساحل می شود. در این نوع سواحل بار رسوبی و فرورفتگی های^۲ وجود ندارد. در ساحل تعادلی بارهای موازی با ساحل و فرو گودال ها و کانال ها شکل می گیرند؛ اما در سواحل پراکنشی ساحل واجد بخش پهن در ناحیه شکست امواج است. ناحیه شکست امواج ارتباط مستقیم با شیب ساحل دارد از این رو در سواحل پرشیب موج در خطی نزدیک به ساحل بستر را احساس کرده و موجب کم عرض شدن ناحیه شکست می شود.

❖ ناحیه نزدیک به ساحل: این بخش از ساحل در تمامی دنیا با بروز پدیده خزش^۳ امواج مشخص می شود. در حقیقت اولین مکانی که امواج بستر خود را لمس می کنند و قبل از شکست از روی آن می گذرند همین نقطه است. به علت پایین بودن رژیم امواج در قبل از این ناحیه و وضعیت آرامش در بستر بیشترین عوارض رسوبی در قبل از ناحیه نزدیک به ساحل شامل بیوتوربایسون یا ساختارهای حاصل از عوامل زیستی است.

۲-۳-۱. سواحل پراکنشی^۴:

امواج غالب در این نوع از سواحل به صورت امواج بلند می باشند. رسوبات دانه ریز و پرپود امواج کوتاه است. این نوع سواحل در مناطق تحت سلطه طول موجگاه^۵ و در محیط های دریایی باز مشاهده می شوند. سواحل پراکنشی تا ژرفای ۳۰ متر گسترش داشته و پهنای بیش از چند کیلومتر دارند. ناحیه پشت به ساحل خیلی پهن و مسطح و بدون خاکریز مشخص و لایه بندی رسوبات در ناحیه پشت ساحل بسیار بزرگ مقیاس است. ناحیه شستشو دارای پهنای زیاد و شیب ملایم و رسوبات آن ماسه ای دانه ریز است. قطر ذرات رسوبی از ناحیه پشت ساحل تا کم ژرفای دریایی نسبتاً ریزدانه و یکنواخت

^۱ -surf zone

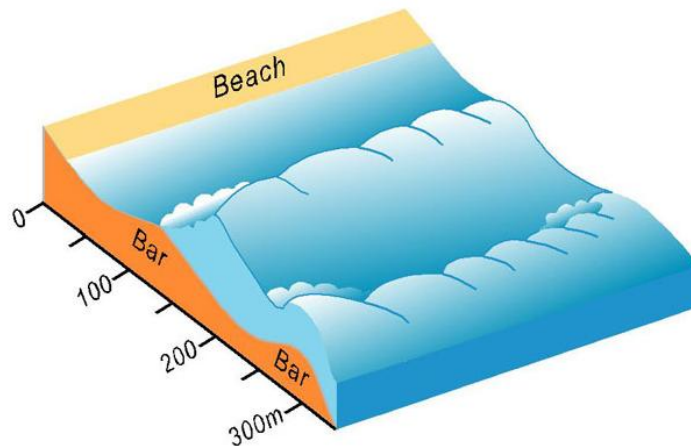
^۲ -trough

^۳ -shoaling

^۴ -dissipative

^۵ -fetch limited

بوده و جور شدگی خوبی را دارا است. ساختارهای رسوبی موجود در بستر شامل رپل های متقاطع^۱، رپل های موجی سینوسی شکل منقطع^۲، رپل های سینوسی و رپل های موجی پیوسته با عوارض زیستی^۳ است. در عمق بین ۱ تا ۲ متر یک بار رسوبی و پس از آن یک فرورفتگی و مجدداً یک بار رسوبی مشاهده می شود. (مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر، گزارش مرحله سوم، ۱۳۸۶) [15]. در سواحل پراکنشی به علت شیب کم (کمتر از ۲ درجه) پروفیل ساحلی موج ها شکسته شده و انرژی خود را تخلیه می کنند. در این سواحل ناحیه شکست عرض و پهنای وسیعی دارد و تا ۵۰۰ متر نیز می رسد تعداد شکست های موج در این ناحیه بیشتر از ۳ است و تعداد بارهای موازی هم در منطقه دیده می شود. در سواحل پراکنشی عوارض مورفودینامیکی همچون کاسپ و کاسپ ها عظیم^۴ به ندرت دیده می شوند. نوع شکست موج در این سواحل معمولاً از نوع ریزشی است. ساحل تمایل به ایجاد جریان شکافنده ندارد. شکل (۲-۱۵) و (۲-۱۶)



شکل (۲-۱۵): مدل مفهومی سواحل پراکنشی نشان دهنده شکست ریزشی امواج بر روی پشته های ساحلی که تا چند صد متری قرار گرفته اند.

^۱ - Cross Ripple
^۲ - Discontinuous Sinus Wave Ripple
^۳ - bioturbated
^۴ - mega cusps



شکل (۲-۱۶): ساحل پراکنشی بانرژی بالا با ناحیه شکستی به عرض ۵۰۰ متر. جنوب استرالیا، عکس توسط اندرو دی شورت

نتایجی که در این نوع سواحل انتظار می‌رود:

- ❖ نرخ انتقال رسوب طولی: متوسط
- ❖ نرخ انتقال رسوب عرضی یا رو به ساحل^۱: متوسط
- ❖ دانه‌بندی رسوبات: ریزدانه
- ❖ رسوبات بادی: بالا

۲-۲-۳-۲. سواحل تعادلی^۲:

در این نوع ساحل رژیم امواج قوی‌تر شده و پهنای ناحیه شکست امواج بین صدها تا هزار متر می‌رسد. ناحیه ساحلی تا ژرفای ۳۰ متری ادامه می‌یابد. دارای ناحیه پشت ساحل باریک تا نسبتاً پهن بوده و ارتفاع ماکزیمم امواج بین ۱ تا ۲/۵ متر است و دارای پیرویی در حد ۱۰ ثانیه هستند. دارای یک‌بار رسوبی مشخص در ژرفای کمتر از ۴ متر بوده و قطر دانه‌های رسوبی از ناحیه پشت ساحل تا خط ساحل افزایش می‌یابد. سپس با یک کاهش مشخص در ژرفای کمتر از یک متر مجدداً تا ژرفای ۴ متر افزایش می‌یابد. با افزایش عمق حوضه قطر ذرات کاهش می‌یابد جور شدگی ذرات رسوبی در ناحیه خط ساحل تا عمق ۱ متر بدترین حالت را دارا بوده و رسوبات در ناحیه پشت ساحل و اعماق بالاتر از ۴ متر از جور شدگی خوبی برخوردار می‌شوند. درصد کربنات کلسیم در ناحیه مشرف به خط ساحل به حداکثر میزان خود می‌رسد. (مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر، گزارش مرحله سوم، ۱۳۸۶) [15]. این سواحل شامل صفاتی از هر دو شکل سواحل پراکنشی و انعکاسی است. در سواحل

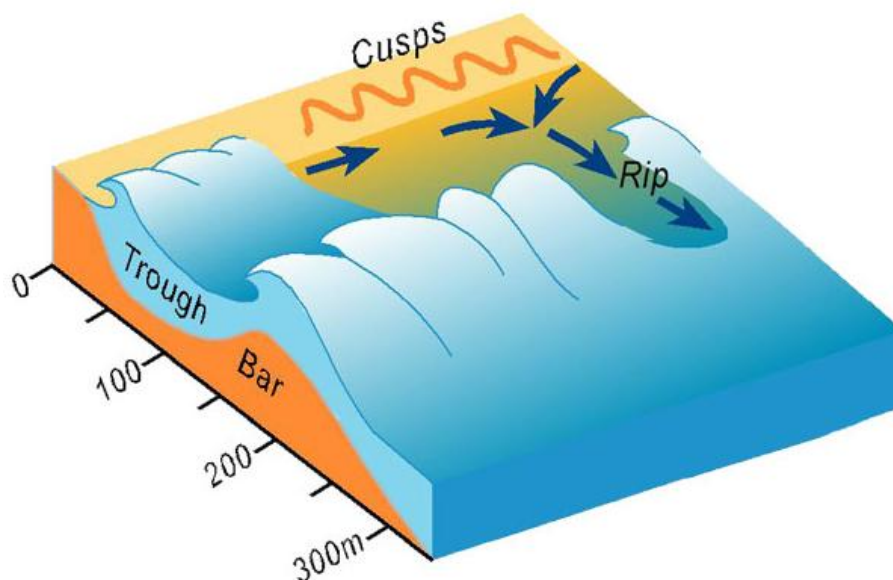
^۱ -onshore sediment transport

^۲ -intermediate beach

میانی به علت اینکه شیب، کمتر از سواحل انعکاسی بوده شکست موج در ناحیه شکست امواج بیشتر اتفاق افتاده (بین ۱ تا ۳ شکست) و معمولاً نوع شکست موج از نوع فروریز و ریزشی است. شیب این گونه سواحل بین ۲ تا ۶ درجه و وجود بار رسوبی به صورت ریتمیک است. وجود کاسپ های عظیم در این سواحل معمول بوده و کاسپ ها معمولاً بر روی شاخ کاسپ های عظیم شکل می گیرد. پشته های نزدیک به ساحل در سواحل میانی بیشتر دیده می شود تا سواحل پراکنشی و شیب تیزی هم به سوی دریا هم به سوی خشکی دیده می شود. برای سواحل میانی ۴ تقسیم بندی بر اساس شکل ظاهری توسط رایت و شورت در سال ۱۹۸۴ ارائه شده که به ترتیب از انرژی کم به انرژی زیاد دسته بندی شده است [16].

❖ The longshore bar- trough (LBT)

این دست از سواحل با امواجی با میانگین ۱,۵ تا ۲ متر روبه بو هستند که بر روی پشته ی ماسه ی که در فاصله ۱۰۰ تا ۱۵۰ متری با عرض ۵۰ تا ۱۰۰ متر و عمق ۲-۳ متر، می شکنند. صورت ساحل می تواند کاملاً صاف و یکدست باشد یا مانند سواحل انعکاسی با کاسپ باشد و پشته ی ساحلی در هر ۲۵۰-۵۰۰ متر به وسیله ی یک جریان شکافنده قطع می شود [17]. شکل (۲-۱۷) و (۲-۱۸)



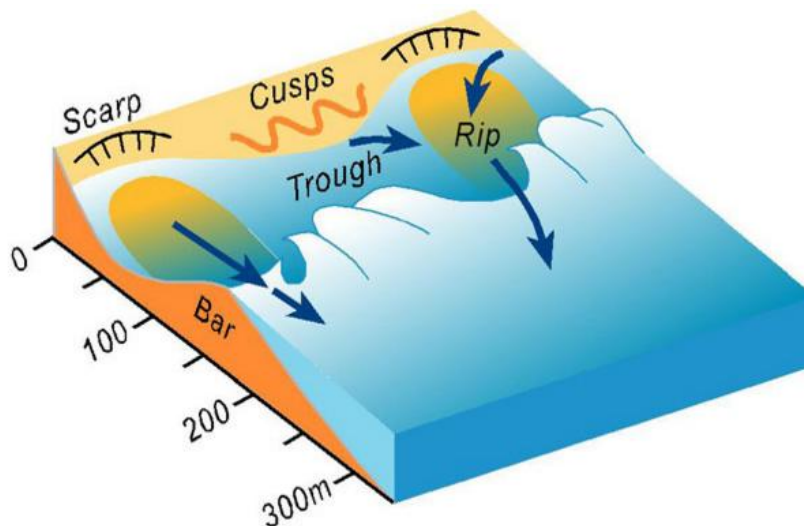
شکل (۲-۱۷): مدل مفهومی از سواحل تحت سلطه موج longshore bar and trough، نشان دهنده یک پشته موازی ساحل و یک تقعر نسبتاً وسیع با جریان برگشتی به سوی ساحل [17].



شکل (۲-۱۸): پشته موازی ساحل جدا شده به وسیله ی تقعر وسیع و عمیق, North Stradbroke Island, Queensland توسط اندرو دی شورت [17].

❖ Rhythmic bar and beach (RBB)

این دست از سواحل شامل رسوبات ماسه‌ی ریز تا متوسط با قطر ۰,۳ میلی‌متر هستند که در معرض امواج بزرگ‌تر از ۱,۵ متر قرار دارند. پشته ماسه‌ی به‌وسیله‌ی یک فرو رفتگی عمیق از صورت ساحل جدا شده که به‌وسیله‌ی آن موج شکسته شده ایجاد جریان به سمت ساحل می‌کند و با برخورد جریان برگشتی بسیار قوی ایجاد جریان شکافنده می‌کند. شکل (۲-۱۹) و (۲-۲۰)



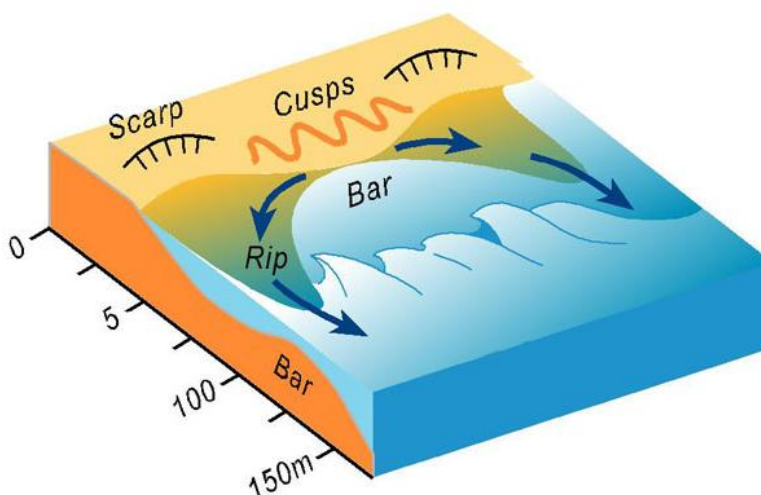
شکل (۲-۱۹): مدل مفهومی سواحل تحت سلطه موج (RBB) Rhythmic bar and beach همراه با کاسپ و تراس فرسایشی حاصل از جریان بازگشتی قوی [17].



شکل (۲-۲۰) : [17] Treachery Beach, New South Wales (photo: A D Short).

❖ Transverse bar and rip (TBR)

این دست از سواحل عموماً در جای که رسوبات از نوع ماسه‌ی رنج متوسط تا ریزدانه به قطر ۰,۳ میلی‌متر و تحت امواجی با ارتفاع میانگین ۱,۵ متر قرار دارد، ایجاد می‌شود. پشته‌های ماسه‌ی توسط جریان شکافنده قطع می‌شوند. پشته‌ها عموماً در فاصله هر ۱۵۰ متر از هم جدا می‌شوند. امواج به سنگینی بر روی پشته می‌شکنند و همین شکست بر روی کانال‌های شکافنده قدرت کمتری دارد که باعث ایجاد جریان سواش ضعیف‌تر در دو طرف صورت پشته شود و این اختلاف قدرت جریان سبب ایجاد جریان شکافنده بزرگ‌تری می‌شود. شکل (۲-۲۱) و (۲-۲۲)



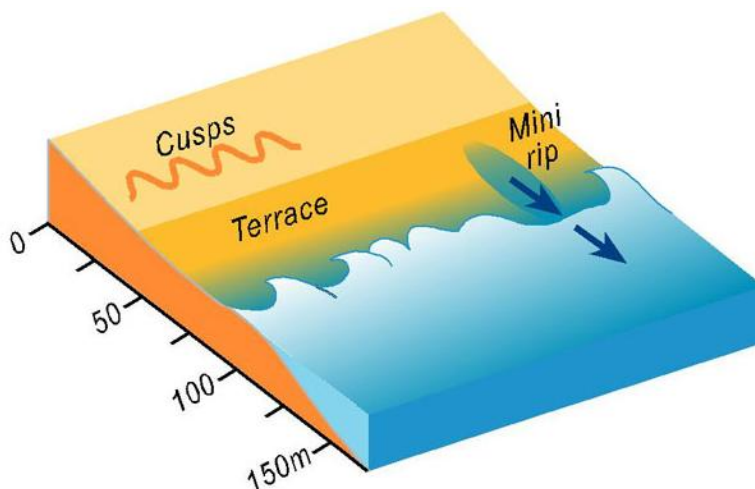
شکل (۲-۲۱) : مدل مفهومی سواحل تحت سلطه موج [17] Transverse bar and rip (TBR)



شکل (۲-۲۲): جریان‌های بازگشتی عمیق و قوی‌تر، بسیار خوب توسعه پیدا کرده در نزدیک خط ساحل، New South Wales توسط اندرو دی شورت [17].

❖ Low tide terrace (LTT):

این سواحل در مناطقی که ارتفاع موج کمتری در حدود ۱ متر دارند رخ می‌دهد. جنس رسوبات ماسه‌ای ریزدانه تا متوسط است و پشته‌ی ماسه‌ی در فاصله‌ی نزدیک‌تری به ساحل قرار دارد و به صورت ادامه‌دار و تقریباً یکدست به ساحل چسبیده و فرورفتگی، بسیار کم عمق است. صورت ساحل یکدست است که ممکن است در هر چند صد متر با یک جریان شکافنده بسیار ضعیف قطع شود. شکست موج نیز در این سواحل از نوع فروریز بوده و موج دقیقاً بر روی پشته ماسه‌ی می‌شکند. شکل (۲-۲۳) و (۲-۲۴)



شکل (۲-۲۳): مدل مفهومی سواحل تحت سلطه موج Low tide terrace (LTT) [17].



شکل (۲-۲۴) : ساحل یکدست با یک جریان بازگشتی ضعیف. Crowdy Head, New South Wales توسط اندرو دی شورت [17].

نتایجی که در این گونه سواحل انتظار می‌رود:

نرخ انتقال رسوب طولی: بالا

نرخ انتقال رسوب عرضی یا رو به ساحل: بالا

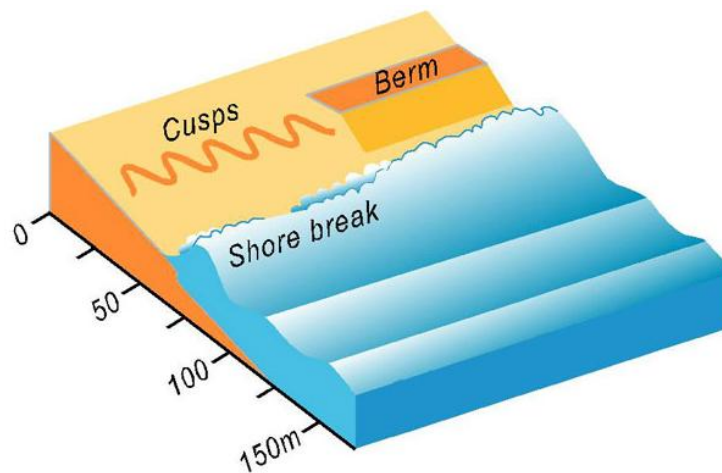
دانه‌بندی رسوبات: متوسط تا ریزدانه

رسوبات بادی: متوسط

۲-۳-۳. سواحل انعکاسی:

رژیم امواج در این نوع ساحل کم انرژی و گاهی غیرفعال است. نوع امواج غالب در آن بیشتر از نوع امواج کوتاه است. رسوبات در پهنه ساحلی ماسه‌ای درشت‌دانه با یک صورت ساحلی نسبتاً شیب‌دار که یک حالت پلکانی در قسمت انتهایی صورت ساحل مشاهده می‌شود. در ناحیه نزدیک به ساحل یا رسوبات ماسه‌ای ریزدانه گسترش دارند. سیستم امواج کوتاه با پهنای باریک بین ده تا صد متر با ارتفاع کمتر از یک متر و پریود ده ثانیه می‌باشند. در این نوع ساحل قطر دانه‌های رسوبی از ناحیه پشت ساحل تا خط ساحل به ترتیب افزایش می‌یابد و به حداکثر خود می‌رسد؛ و سپس در ناحیه کم‌ژرفای دریایی با افزایش عمق قطر ذرات کاهش می‌یابد. جور شدگی در ناحیه پشت ساحل و کم‌ژرفای دریایی خوب است اما در ناحیه خط ساحل جور شدگی بد می‌شود. درصد کربنات کلسیم از ناحیه پشت ساحل تا خط ساحل افزایش می‌یابد و سپس به تدریج به سوی اعماق کاهش می‌یابد (مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر، گزارش مرحله سوم، ۱۳۸۶) [15]. در سواحل انعکاسی اصولاً به علت

شیب زیاد شکست موج اتفاق نمی‌افتد تعداد موج شکسته شده در ناحیه شکست امواج یکی یا کمتر است؛ و نوع شکست بیشتر موارد از نوع خیزشی بوده، تعداد بارهای رسوبی در ناحیه شکست یکی یا کمتر است. در این گونه از سواحل عوارض مورفودینامیکی همچون کاسپ ها معمول است، البته کاسپ های عظیم در این گونه سواحل دیده نمی‌شود. شکل (۲۵-۲) و (۲۶-۲)



شکل (۲۵-۲) : مدل مفهومی سواحل تحت سلطه موج سواحل انعکاسی [17].

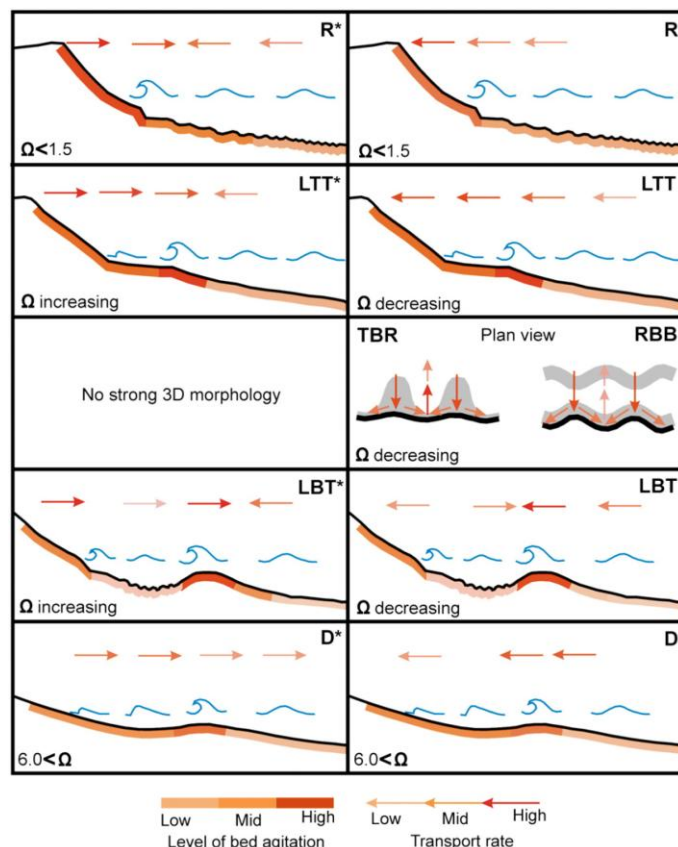


شکل (۲۶-۲) : Hammer Head, south Western Australia (photo: A D Short). [17].

نتایجی که در سواحل انعکاسی انتظار می‌رود:

- ❖ نرخ انتقال رسوب طولی: کم
- ❖ نرخ انتقال رسوب عرضی یا رو به ساحل: کم
- ❖ دانه‌بندی رسوبات: متوسط تا درشت‌دانه
- ❖ رسوبات بادی: کم

با توجه به تحقیقات اخیر انجام شده در زمینه‌ی میزان انتقال رسوب در این ۳ دست سواحل توسط ترولز آگاررد و همکاران در سال ۲۰۱۳ این نتیجه حاصل شد که کمترین نرخ انتقال رسوب مربوط به سواحل انعکاسی و بیشترین نرخ انتقال مربوط به سواحل میانی است؛ و نحوه انتقال رسوب و شدت جریان‌ها در شکل (۲-۲۷) مشخص است [18].



شکل (۲-۲۷): مدل حالت سواحل توسط راییت و شورت در سال ۱۹۸۴ و شورت در سال ۱۹۹۹، نشان‌دهنده جهت و اندازه حرکت رسوبات [16] [19].

۲-۴- تئوری عملکرد دهانه‌ها

به گفته بررون در سال ۱۹۷۸ دهانه‌های جزر و مدی عمدتاً توسط سه گروه اصلی از دهانه‌ها تشخیص داده می‌شوند. آن‌های که منشأ زمین‌شناسی دارند. آن‌های که منشأ آبی دارند و آن‌های که حرکت رسوب ساحلی یا رانه ساحلی منشأ آنهاست. دهانه‌ها با پیش زمینه زمین‌شناسی عمدتاً به صورت فرم دادن صخره‌ها ایجاد دهانه می‌کنند. این دهانه‌ها از قوانین مربوط دهانه‌های جزر و مدی با دهانه رسوبی پیروی نمی‌کنند. دهانه‌های که رودخانه در محل اتصال با دریا ایجاد می‌کنند، متعلق

به دسته منشاء آبی^۱ هستند. قدرت آب رودخانه باعث ایجاد این دهانه ها شده است و چنین دهانه های در معرض جریان های جزر و مدی هستند که درون دهانه رودخانه نفوذ کرده و در تغییر شکل آن مشارکت می کند. دهانه ها با منشاء حرکت رسوب ساحلی به وسیله انتقال رسوب در امتداد ساحل کنترل می شوند. در اینجا فرایند های حاکم تعیین کننده ی پایداری و تعادل دهانه هستند. بیشتر دهانه ها در سواحل جهان از منشاء حرکت رسوب ساحلی هستند. فاکتور های غالب در به وجود آمدن همچنین دهانه های عوامل ذیل هستند . [20]

❖ رسوخ و پیشروی ناشی از افزایش سطح دریا و تشکیل زبانه مانع

❖ به وسیله تشکیل موانع در امتداد یک دهانه یا خلیج

بیشتر دهانه های که از منشاء حرکت رسوب ساحلی هستند سالهای زیادی پایدار نمی مانند. به دلیل جریان جزر و مدی ناکافی و دپوی رسوب غالب است.

۲-۴-۱. مهاجرت دهانه و بای پس رسوب

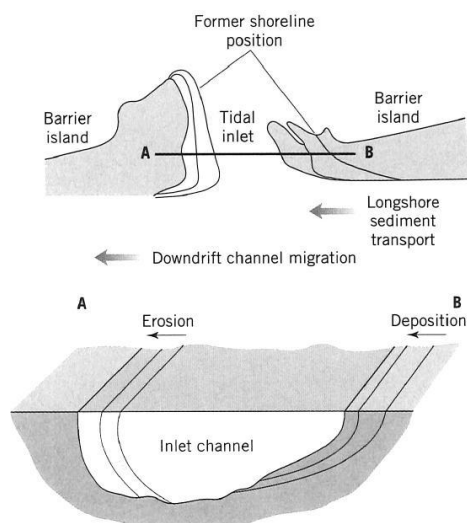
بر طبق بررون در سال ۱۹۷۸ با نگاهی به تاریخچه دهانه های جزر و مدی مبرهن و واضح است که هندسه دهانه ها دائما در حال تغییر است. مهمترین قسمت که بیشترین تفاوت را دارد، طول کانال ورودی، پیکربندی آن و همچنین مقطع عرضی گلوی دهانه است. بعضی از دهانه ها انتقال ماسه یا رسوب طبیعی را تجربه می کنند، مواد از یک سوی دهانه به سوی دیگر انتقال پیدا می کند. انتقال رسوب تا حدی یا کاملا می تواند بر روی یک پشته دریایی صورت پذیرد. این عامل وابسته به آن است که پشته دریایی در ناحیه کم عمق ساحلی قرار داشته باشد. این انتقال به عنوان یک مکانیزم جابه جایی توسط عملکرد موج و جریان است. جریانهای جزر و مدی نیز می توانند انتقال رسوب انجام دهند. جریان مد عمدتا مواد را درون دهانه ی کانال دپو می کند و بعد از آن جریان جزر مواد رسوبی را می شوید و به سوی اقیانوس می برد، یا اینکه مواد رسوبی توسط جریان طولی ساحل انتقال یابد، بنابراین مواد رسوبی در بالا دست ممکن است فرسایش کرده و به پایین دست انتقال یابد. بیشتر دهانه های که در سواحل تحت رانه ساحلی قرار دارند، خصوصیات مهاجرتی به سمتی که رانه ساحلی حاکم است را دارند. در بعضی موارد نیز ممکن است رسوب از پایین دست به بالا دست انتقال یابد.

دهانه های که به سمت بالا دست مهاجرت می کنند معمولا با اندازه کوچک و متوسط هستند، و معمولا در سواحل رخ می دهد که حمل نقل خالص رسوبی پایین و نرخ انتقال رسوب پایینی دارند. اندازه حرکت و مهاجرت دهانه ها در سواحل ماسه ی به بزرگی رانه ساحلی، سرعت جزر و مد، دیگر جریانها و اختلاف فاز بین هر جریان طولی و جریان جزر و مدی، وابسته است. به عنوان نتیجه گیری

¹ - Hydrological

از دپوی ماسه، سمتی بزرگتر از سمت دیگر است و کانال اغلب تحت نیرو به سمت پایین دست در حال حرکت است [22] [21].

همانطور که توسط بررون و همکاران در سال ۱۹۷۸ به صورت مختصر بیان شده که، تاریخچه عمومی دهانه ها به صورت تدریجی از لحاظ شکل هندسی، در حال تغییر می باشند. برخی از دهانه ها ی جزر و مدی بعد از تغییر شکلشان پایدار باقی می مانند. بیشتر دهانه های جزر و مدی در امتداد ساحل کالیفرنیا قرار دارد که به وسیله ی رشد زبانه ماسه ی از یک سو و قرار گرفتن در مجاورت یک دماغه صخره ی^۱ پایدار شده اند. دهانه ها مهاجرت می کند و زبانه ماسه ی گسترش پیدا می کند، این معمول ترین مشخصه در بیشتر سواحل جهان است. جای که موج غالب باشد حمل و نقل رسوب طولی در یک جهت سلطه دارد که می توان در شکل (۲-۲۸) مشاهده کرد. زمانی که موج انتقال رسوب طولی می کند، ماسه به سمت بالا دست انتقال می یابد (یعنی به بالا دست دهانه رسوب اضافه می شود) در نتیجه با رشد زبانه مقطع عرضی کاهش یافته و سرعت جریان در دهانه اضافه می شود، و شستو شو در کانال اضافه می شود. سمت پایین دست دهانه ترجیحا فرسایش یافته و کانال به پایین دست مهاجرت می کند [23].



شکل (۲-۲۸) : مدل مهاجرت دهانه [23]

دی التریس در سال ۱۹۷۵ ترکیب انباشت کانال را پارامتر مهم و منحصر به فردی دانسته است که اگر ورودی کانال از جنس ماسه ی تحکیم شده باشد در مقابل فرسایش بیشتر مقاومت کرده و از مهاجرت جلوگیری می کند. به صورت مقایسه ی، کانال های (دهانه ها) کم ژرفا مهاجرت مکرر را نشان می دهند. عمق گلوی دهانه که توسط جریان ها فرسایش پیدا کرده، به نظر می رسد که یکی از فاکتور های است که دهانه های که مهاجرت می کنند را از دهانه های پایدار جدا می کند [24].

¹- head land

فیتجرالد و همکاران در سال ۱۹۷۸، در تحلیل خود در گسترش تاریخچه دهانه های جزر و مدی در جنوب ساحل کالیفرنیا به این نتیجه دست یافتند که دهانه ها با عمق بیشتر از ۸ متر در طول گذشت حتی ۱۰۰ سال کماکان پایدار باقی مانده اند، این در حالی است که دهانه های با عمق کم تر ۳-۴ متر تاریخچه مهاجرت طولی و تجاوز زبانه ماسه ی را دارند [22]. بررون و فیتجرالد اولین توصیف از مکانیزم طبیعی بای پس رسوب در دهانه را ارائه کردند. این ارزیابی را به وسیله ی بررسی رفتار تبادل ماسه از بالا دست به پایین دست و نسبت فرسایش ساحلی در هلند، دانمارک و فلوریدا (آمریکا) صورت دادند. بعضی دهانه ها دارای نواری یا پشته رسوبی^۱ در ورودی خود هستند. آنها مواد رسوبی را بای پس می کنند از بالا دست به پایین دست ساحل، این دهانه ها به عنوان بای پس نواری دسته بندی می شوند. دیگر دهانه ها، پشته یا نوار رسوبی کوچک تری دارند. و به نظر می رسد که بای پس رسوب به وسیله جریان های پیچیده تری و عملکرد موج در طول جریان جزر صورت پذیرد [25].

۲-۴-۲. انتقال رسوب به وسیله ی پشته دور از ساحل

این تیپ از بای پس فقط در محیط های که تحت سلطه فرایند موج قرار دارد و کشنده ساحلی قوی مورد نظر است می تواند رخ دهد. رانه یا کشنده ساحلی مواد رسوبی را در امتداد زبانه عبور می دهند. در انتهای بالا دست مواد رسوبی از سوی به سوی دیگر دهانه بر روی پشته رسوبی مغروق عبور می کنند. اندازه موادی منتقل شده، به خصوصیات رسوبی مواد و بزرگی موج و جریان وابسته است. با افزایش مقدار مواد که توسط رانه ساحلی حمل می شود، محیط پشته یا نوار افزایش یافته و عمق این پشته ها کاهش پیدا خواهد کرد. عمق بالای پشته ساحلی عموماً محدود به عمق شکست موج در شرایط طوفانی می شود. در بیشتر موارد مهاجرت دهانه کانال در جهت رانه ساحلی است. رسوبی که از روی پشته عبور می کند تحت اثر عملکرد موج در بانک رسوبی بالا دست دپو شده و منجر به مهاجرت و جا به جایی دهانه می شود.

۲-۴-۳. بای پس به وسیله ی عملکرد جریان جزر و مدی

عموماً بای پس رسوب به وسیله ی جریان جزر و مدی با مهاجرت کانال و پشته و انتقال به وسیله ی جریان جزر و مدی در کانال صورت می پذیرد. انتقال به وسیله جریان جزر و مد در کانال، در راستای جزر و مد صورت می پذیرد. عموماً چندین مکانیزم طبیعی برای بای پس رسوب در دهانه های جزر و مدی تشخیص داده شده اند. ۱- به وسیله ی سلطه موج، انتقال ماسه در امتداد حاشیه بیرونی دلتای جزر؛ نامگذاری شده به bar bypassing. ۲- انتقال سراسری ماسه به وسیله ی کانال جریان جزر و

¹ - bar

مدی ۳- به وسیله مهاجرت کانال جزر و مدی و فرسایش نوار ماسه ی. رفتار بای پس رسوب، بستگی به نسبت بین مقدار ناخالص انتقال رسوب طولی $(M) (\frac{m^3}{yr})$ به ورودی دهانه و ماکزیمم مقدار حجم آب تخلیه شده در جزر و مد $Q_{max} (\frac{m^3}{s})$ دارد. این نسبت در فرمول آورده شده است.

فرمول (۲-۲)

$$r = \frac{M}{Q_{max}}$$

بررون و گریستن همچنین ذکر کرده اند که بسیاری بای پس در دهانه ها با ترکیب سراسری این مکانیزم ها اتفاق می افتد. کمی بعد این دو فرد در سال ۱۹۶۰ رابطه جدیدی را برای این نسبت معرفی کردند.

فرمول (۳-۲)

$$r' = \frac{p}{M_{tot}}$$

در رابطه فوق p ، منشور جزر و مدی (tidal prism) در دهانه در طول جزر و مد بهاره (m^3) و M_{tot} مقدار رسوبی که هر ساله وارده دهانه می شود که بر حسب $(\frac{m^3}{yr})$ است. پارامتر جدید r' رابطه ی قوی را برای رسوب آورده شده به دهانه توسط جریان طولی ساحل و جریان جزر و مدی برای بیرون کشیدن و فرسایش مواد دیو شده فراهم می کند.

جدول (۴-۲) : مدل بای پس دهانه و دسته بندی از پایداری مساحت مقطع عرضی کانال [20]

$\frac{p}{M_{tot}}$	پایداری کانال (channel stability)	مدل انتقال یا مدل بای پس
< 20	ناپایدار. دهانه ممکن است توسط دیوی رسوب در طول طوفان بسته شود. برای کانال های کشتی رانی مناسب نیست.	بای پس پشته رسوبی
20-30	تنوع وسیع کانال در موقعیت و اندازه، امکان وجود چند کانال، لایروبی و احداث جتی برای نگهداری عمق ناوبری مستلزم است.	معمولا بای پس پشته رسوبی
50-150	کانال اصلی، باز و قابل استفاده، پایاب (shoals) حاصل از جزر به خوبی توسعه پیدا می کند.	بای پس پشته رسوبی و بای پس توسط جریان جزر و مدی
> 150	به عنوان یک کانال پایدار، به خوبی جوابگو است. پشته کوچک. فلاشینگ خوب	به صورت فصلی و بای پس توسط جریان جزر و مد.

۲-۴-۴. بسته شدن یا منشعب شدن دهانه

بسته شدن دهانه های جزر و مدی یا دهانه های رودخانه ای عموماً در شرایط هیدرودینامیکی جزر و مد پایین^۱ و در محیط های که تحت سلطه موج قرار دارند، در جای که اختلاف شدید فصلی از جریان رودخانه ای و موج دارد، اتفاق می افتد. دهانه ها هر ساله برای چندین ماه به سبب ایجاد پشته رسوبی در امتداد ورودی دهانه یا به سبب رشد زبانه ماسه ای از بالا دست به سوی پایین دست بسته می شوند.

۲-۴-۵. فرضیه های از مکانیزم های بسته شدن دهانه ها

دهانه ها به سادگی بسته می شوند زیرا دهانه ها ظرفیت جریان کافی برای جلوگیری از دیپوی رسوب را ندارند. در بعضی از مواقع کم کم این اتفاق می افتد اما در بعضی از موارد به صورت اپیزودیک اتفاق می افتد. مثلاً در طول یک طوفان که سبب بسته شدن دهانه می شود. نشان داده اند که در نتیجه چندین طوفان که رسوب بیش از اندازه ی را از دریا به سوی دهانه حمل می کند، یک دهانه می تواند کم عمق یا بسته شود. این و عوامل زیر باعث کم عمق شدن دهانه می شود [26].

- ❖ طولانی شدن کانال دهانه تحت رشد کردن و بلند شدن زبانه ماسه ای به یک سمت
- ❖ منشعب شدن کانال اصلی به دو یا چند کانال یا ایجاد یک کانال یا بیشتر توسط طبیعت یا عامل مصنوعی
- ❖ باز کردن دهانه جدید
- ❖ تغییر در مساحت خلیج که به وسیله دهانه با دریا متصل است (به وسیله ی احداث یک سد یا احیای مساحت حوضچه کانال)

در عمل می دانیم که یک دهانه با جریان نسبی کم (با داشتن Tidal prism کوچک) تمایل به بسته شدن در چند شرایط را دارد. مثلاً در شرایط طوفان، بای پس به وسیله پشته یا به وسیله ی مکانیزم های جریان توانایی حذف رسوب از دهانه را ندارند. کانالها ممکن است مکرراً توسط رسوب پر شوند یا در بدترین حالت بسته شوند. همچنین مکانیزم های در بسیاری از دهانه ها در هند مسلط هست، جای که دهانه در طول یک بارندگی شدید یا طوفان شدید بسته می شود، این در حالی است که در جاهای دیگر به علت جریان افزایش جریان باز باقی می ماند [20]. به عنوان یک نتیجه مستقیم ورودی نیز ممکن است نا پایدار و در آخر بسته شود. به عنوان نتیجه از باز شدن چندین ورودی در زبانه ماسه ای

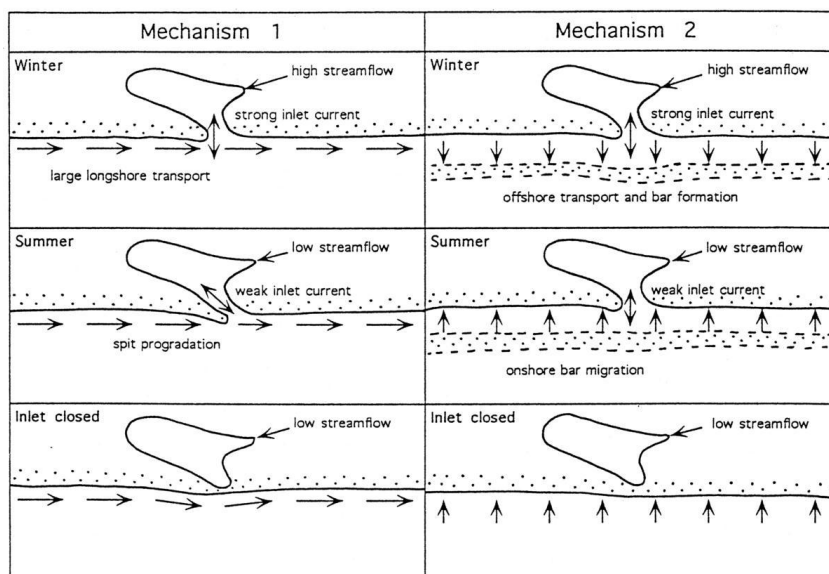
¹ -micro tidal

در طول چند طوفان می توان اینگونه تحلیل کرد که هم دهانه قدیمی هم جدید هر دو همان tidal prism را دارند که دهانه منفرد اصلی داشته، این بدان معنی است که مقطع عرضی کوچکتر و عمق کوچک تر برای هر کدام در مقایسه با مقطع منفرد اصلی است. در نتیجه همه آنها ممکن است کم عمق شوند نا پایدار شوند و در پایان یکی یا چندی از آنها بسته شود. مثالی از همچین مکانیزم باز و بسته شدن در دهانه هیو است که در ساحل مرکزی ویتنام توسط استیو و تانگ در سال ۲۰۰۶ معرفی شده است. در طول فصل بارانی و سیل خیز در نوامبر ۱۹۹۹ در هیو، رودخانه متصل به دریا جریان شدیدی را ایجاد کرده که منجر به باز شدن چندین دهانه در زبانه ماسه ی شده، کمی بعد از اتمام سیل، دهانه ی که جریان پویا تر و مسیر کوچکتری برای جزر و مد داشته باز باقی می ماند در حالی که بقیه دهانه ها که جریان ناکافی داشته مسدود شده اند [27]. راناسینگ و همکاران در سال ۲۰۰۳ دو مدل مفهومی از مکانیزم های بسته شدن دهانه ها بر پایه مطالعات ارائه دادند. مکانیزم اول بر پایه تقابل بین دو جریان جزر و مد و جریان طولی ساحل ارائه شده است. به عنوان یک نتیجه از انقطاع جریان طولی در ورودی دهانه یک پایاب^۱ در بالا دست دهانه شکل می گیرد. این پایاب در بالا دست دهانه ممکن است گسترش بیابد. این عامل به بزرگی جریان طولی ساحل و مقدار جریان جزر و مد بستگی دارد. اگر جریان جزر و مدی دهانه به اندازه کافی قوی نباشد، نمی تواند مانع گسترش زبانه ماسه ای در مقطع دهانه شود. یا آنقدر قوی نباشد که بتواند آنرا بشوید و فرسایش دهد، در این صورت نشست مواد رسوبی در روبه روی کانال ادامه پیدا می کند تا جای که این زبانه رسوبی به سمت پایین دست حرکت کند و در انتها موجب بسته شدن دهانه شود. این دو متوجه شده اند که این مکانیزم از بسته شدن دهانه ها عمدتاً در سواحل مستقیم با رنج انتقال رسوب بالا توسط جریان طولی ساحل اتفاق می افتد.

مکانیزم دوم بسته شدن دهانه ها توسط تعامل جریان جزر و مد و انتقال رسوب رو به ساحل یا انتقال رسوب عرضی^۲ کنترل می شود. این مکانیزم در مرحله ی اول در نواحی با رژیم مد پایین اتفاق می افتد، جای که جریان جزر و مدی کوچک تر از m/s ۱ باشد. رنج انتقال رسوب طولی کمتر از انتقال رسوب توسط جریان عمود بر ساحل به وسیله شرایط امواج دورا باشد. امکان بسته شدن دهانه تحت مکانیزم دوم به قدرت جزر و مد و اندازه انتقال رسوب از دریا وابسته است. زمانی که جریان جزر ضعیف باشد و در شرایطی که پشته های رسوبی انباشته شده در دور از ساحل به صورت مداوم به نزدیک ساحل انتقال یابد و باعث بسته شدن دهانه می شوند. این دو مکانیزم در شکل (۲-۲۹) نمایش داده شده است [28].

¹ - shoals

² - onshore sediment transport



شکل (۲-۲۹): نمایش طرحی از بسته شدن دهانه به وسیله ی فرآیندهای طولی و عرضی در ساحل [28]

۲-۴-۶. سیر تکاملی فصلی دهانه های جزر و مدی

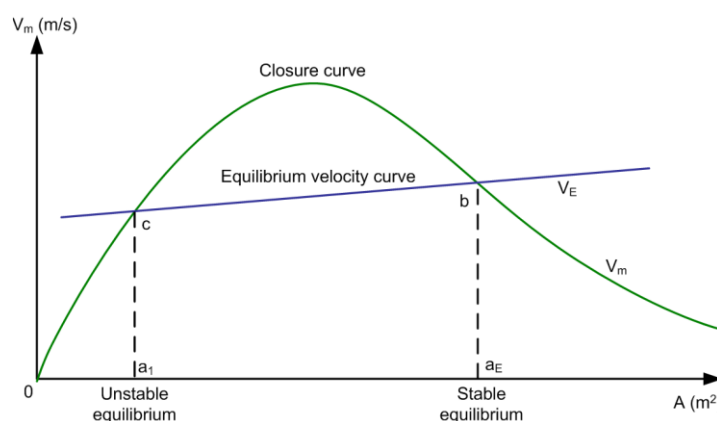
پایداری دهانه های جزر و مدی توسط بررون به اینگونه معرفی گردید: هر دو پارامتر منشور جزر و مدی (tidal prism) در شرایط جزر و مد بهاره و رانه ساحلی نا خالص سالانه از پارامترهای حاکم بر پایداری دهانه است. این دو پارامتر در هر زمان متفاوت هستند. رنج جزر و مد و از این رو تفاوت منشور جزر و مدی به این علت است که موقعیت زمین و خورشید و ماه در حال تغییر است. بیشترین تغییر در هر دو هفته یک بار در چرخه Spring- Neap اتفاق می افتد. علاوه بر این تغییرات فصلی از منشور جزر و مدی می تواند به علت شرایط آب و هوایی (فشار هوا و باد) باشد این شرایط برای نواحی که وزش باد و بادهای موسومی برای دوره ای از سال غالب بوده، مشخصاً صدق می کند. تغییرات فصلی از سطح تراز آب دریا در خط ساحلی هند در خلیج بنگال، تصویر خوبی از این پدیده است. در مواردی یا در جای که تنوع منشور جزر و مدی در هر دوره از سال قابل توجه است، به منظور بررسی ثبات و پایداری دهانه باید به طور جداگانه در نظر گرفته شود. تنوع رانه ساحلی (M_{tot}) را تا حد زیادی در مناطقی که تجربه طوفانهای موسومی و وزش باد را دارند را مشاهده می کنیم. در بعضی از موارد هر دو عامل منشور جزر و مدی و تنوع رانه ساحلی سالانه (M_{tot}) در یک سو عمل می کنند. بارانهای سنگین باعث افزایش تخلیه جزر می شود و در همان زمان رانه ساحلی (M_{tot}) تحت انرژی موج ورودی بیشتر (به وسیله ی تنوع فصلی از اقلیم موج در طول دوره موسومی) افزایش می یابد. نسبت $\frac{P}{M_{tot}}$ ممکن است هنوز هم توصیفی برای پایداری باشد ولی به احتمال زیاد این نسبت کاهش خواهد یافت زیرا نسبت افزایش (M_{tot}) بیشتر از نسبت افزایش P (منشور جزر و مدی) است. نتیجه این است که شرایط برای پایداری بدتر خواهد شد. مطالعه رفتار طبیعی از دهانه های

موسومی در خلیج بنگال در دریای عربی (شمالی ترین نقطه اقیانوس آرام بین اعراب و هند)، مثالی از تنوع فصلی از دهانه ها است که توسط بررون و همکاران در سال ۱۹۷۸ بیان شده است. دهانه ها در این مناطق در معرض تغییرات فصلی بزرگی هم در رانه ساحلی و هم جریان مد قرار دارند. برای سه تا چهار ماه از سال باد های موسومی غالب هستند، در نتیجه عملکرد موج نسبتا قوی تر و بسیار مقاوم تر است. در همان زمان میزان بارش در حوضه بالا دست (بالا دست خلیج یا رودخانه، جای که آب دریافت می کند) تحت بارش های موسومی افزایش می یابد. در طول دوره غیر موسومی دهانه کانال تحت رانه ساحلی کم و ضعیف (تنها ۱۰٪ یا ۲۰٪ رانه ساحلی در دوره ی موسومی) ممکن است باز و کاملا پایدار باشد. در این دوره دهانه کانال گسترش پیدا می کند و عمیق تر شده و ارتباط بهتری را در سرتاسر موانع ایجاد می کند. از آنجای که رانه ساحلی کاهش پیدا کرده، جریان های جزر و مدی افزایش پیدا می کند و قادر به شستن رسوبات دپو شده در کانال و در ورودی دهانه می شود. اگر چه بسیاری از دهانه های جزر و مدی می توانند مقدار قابل توجهی از جریان آب تازه را در طول یک دوره موسومی تخلیه کنند، با این حال در بقیه سال تقریبا کم آب هستد [20].

۲-۴-۷. تحلیل پایداری دهانه

دهانه ها در اندازه و پایداری گوناگونی هستند. بعضی از آنها به حرکت و مهاجرت تمایل دارند در حالی که بقیه نسبتا ثابت و دائمی هستند. یک طوفان شدید می تواند موجب باز شدن یک دهانه جدید درون مانع سدی شود یا حتی سبب بسته شدن دهانه موجود شود. هر دهانه در معرض دو نیروی متضاد قرار دارند. موج تولید شده و دیگر جریانات از یک سو که باعث هل دادن تدریجی رسوب به درون دهانه می شوند و جریان جزر و مدی که توسط جزر و مد، عمل باد و جریان ایجاد شده از رودخانه از سوی دیگر سبب حمل رسوب به بیرون کانال و به سوی دریا یا به سوی پشت موانع سدی می شود. اندازه و پایداری دهانه ها توسط این دو نیروی متضاد تعیین می شود. این مفهوم برای اولین بار به صورت تحلیلی توسط اسکوفیر گسترش پیدا کرد. این مفهوم در دیاگرام اسکوفیر که شامل منحنی بسته شدن و منحنی اندازه سرعت بود به اوج خود رسید است. در دیاگرام اسکوفیر برای پایداری دهانه دو منحنی رسم شده است که در شکل (۲-۳۰) نمایش داده شده است. با توجه به گراف زمانی که مساحت مقطع دهانه به صفر نزدیک شود، (برای دهانه ها با مساحت مقطع عرضی کم) سرعت جریان نیز در دهانه تحت اثر افزایش اصطحکاک، به صفر میل می کند. برای دهانه های با مساحت مقطع عرضی بزرگ، منشور جزر و مدی به حداکثر مقدار خود رسیده و سرعت با سطح مقطع نسبت عکس پیدا می کند. اسکوفیر در سال ۱۹۴۰ یک سرعت بحرانی ثابت به اندازه ی 1 m/s را پیشنهاد داد که می توان آنرا به صورت یک خط افقی رسم نمود. به زبان دیگر 1 m/s ممکن است به عنوان اندازه سرعت یا بزرگی سرعت مورد نیاز برای متعادل نگه داشتن دهانه تفصیر

شده باشد. اگر چه که عمل موج به عنوان یک منبع رسوبی تمایل به کم کردن سطح مقطع دارد، جریان جزر و مدی رسوبات دپو شده که موجب کاستن مساحت مقطع عرضی می شود را می شویند و آنرا به حالت تعادل باز می گردانند. منحنی اسکوفیر برای تحلیل پایداری دهانه ها به کار می رود برای تعیین اینکه آیا دهانه موجود با توجه به موقعیت آن بر روی منحنی تمایل به باز بودن یا بسته شدن را دارد. در مورد نقطه b باید گفت که قسمت پایدار منحنی است. اگر مساحت کانال افزایش بیابد (در منحنی از نقطه b به سمت راست رفته) سرعت جریان درون کانال کاهش می یابد تا اینکه به مساحت قبلی (حالت تعادل) خود برسد. اگر مساحت کانال کاهش بیابد (در منحنی از نقطه b به سمت چپ رفته) سرعت جریان درون کانال افزایش می یابد و باعث شستوشوی رسوب در کانال می شود تا اینکه مساحت کانال افزایش یافته و به حالت تعادل بازگردد. نقطه c مکان نا پایدار کانال است. زمانی که کانال مساحتش کاهش یابد، یعنی از نقطه c به سمت چپ حرکت کند، سرعت جریان کاهش یافته تا اینکه کانال بسته شود. زمانی که مساحت کانال افزایش بیابد (از نقطه c به سمت راست رفته) سرعت جریان افزایش می یابد تا جای که شروع به کاهش سرعت می کند، تا به نقطه پایدار برسد. اگر منحنی پایداری مماس یا پایین تر از منحنی پایداری حدی قرار بگیرد، آن کانال مسدود می شود [29].



شکل (۲-۳): منحنی اسکوفیر

۲-۵- تعاریف روش عددی (نرم افزار مایک)

بسته نرم افزاری مایک (MIKE) متعلق به شرکت دانمارکی DHI است و شامل مدل های جریان، موج، انتقال رسوب، آلودگی، رودخانه و مدل های دیگر است. مراحل مدل سازی به سه دسته پیش پردازش، پردازش و پس پردازش تقسیم می شود. این بسته نرم افزاری شامل کلیه ابزارهای مورد نیاز برای هر سه مرحله است. از ابزارهای پیش پردازش می توان از به ابزارهای مورد نیاز رقومی کردن نقشه های کاغذی و

اسکن شده، تهیه فایل عمق سنجی با مش یکنواخت و غیریکنواخت و تهیه فایل‌های حاوی شرایط مرزی به صورت سری زمانی، اشاره کرد و همچنین ابزارهای جهت تجزیه و تحلیل و تهیه انیمیشن از نتایج خروجی در مرحله پس پردازش است.

۲-۵-۱. ماژول SW

مبنای این مدل برای پیش بینی موج، حل معادلات انتقال انرژی همراه با ترم های چشمه و چاه می باشد. به منظور لحاظ کردن طبیعت تصادفی امواج دریا، معادله انرژی در شکل طیفی آن در نظر گرفته می شود، شکل معادلات انتقال در حالت دو بعدی به صورت زیر می باشد:

فرمول (۲-۴)

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

E : طیف انرژی موج فرکانسی جهتی

t : زمان

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 حرکت 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 به صورت زیر تعریف می شود:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{surf}$$

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 غیر خطی امواج، S_{dis} معرف استهلاک انرژی موج در اثر پدیده سفیدک راس موج، S_{surf}

معرف استهلاک انرژی موج ناشی از شکست موج در ناحیه کم عمق می باشد.

داده‌های ورودی در مدل SW شامل موارد زیر است:

- ❖ داده‌های ژرفاسنجی^۱ که خصوصاً در نواحی کم‌عمق از اهمیت بیشتری برخوردار است.
- ❖ داده‌های مربوط به هندسه مرزهای مدل
- ❖ داده‌های مربوط به اندازه گام زمانی، تعداد گام زمانی و زمان شروع و خاتمه شبیه‌سازی عددی
- ❖ نحوه فرمولاسیون طیفی (پارامتری غیرکوپله جهتی، کاملاً طیفی) و نحوه فرمولاسیون زمانی (شبه پایدار، غیر پایدار)
- ❖ نحوه گسسته سازی طیفی (گسسته سازی بسامدی و جهتی)
- ❖ داده‌های مربوط به روش حل (تعداد ترازهای محاسباتی در نظر گرفته شده برای محاسبات انتقال، تعداد گام‌ها در محاسبات چشمه)
- ❖ داده‌های تراز سطح آب (ثابت یا متغیر)
- ❖ داده‌های مربوط به شرایط جریان (ثابت یا متغیر)
- ❖ داده‌های باد
- ❖ داده‌های مربوط به پوشش یخ
- ❖ وجود یا عدم وجود انتقال انرژی
- ❖ داده‌های مربوط به شرایط اولیه (شرط سکون، شرط استفاده از طیف‌های تجربی و غیره)
- ❖ داده‌های مربوط به شرایط مرزی در مرزهای مدل

دقت مدل SW، رابطه نزدیکی با دقت داده‌های باد دارد. به‌صورت تقریبی می‌توان گفت که حدود ۱۰٪ خطا در سرعت باد منجر به ایجاد خطای ۲۰٪ در ارتفاع موج شبیه‌سازی شده می‌شود.

¹ Bathymetry

داده‌های باد را می‌توان به صورت های زیر به مدل معرفی کرد:

- ❖ ثابت در زمان و مکان: باد با یک مقدار و جهت ثابت در کلیه نقاط دامنه در تمام دوره شبیه‌سازی می‌وزد.
- ❖ ثابت در زمان و متغیر در مکان: اندازه و جهت باد در گره های مختلف متغیر است ولی در تمام دوره شبیه‌سازی مقدار ثابتی دارد.
- ❖ متغیر در زمان و ثابت در مکان: سرعت و جهت باد در کلیه نقاط یکسان است ولی نسبت به زمان متغیر بوده و می‌توان آن را به صورت یک سری زمانی به برنامه معرفی کرد.
- ❖ متغیر در زمان و مکان: اندازه و جهت باد در کلیه نقاط مدل و در طی دوره شبیه‌سازی متغیر است.

۲-۵-۲. تعریف مسئله پیش‌بینی موج و محدودیت‌ها

- ❖ شناخت مسئله موج: برای پیش‌بینی امواج می‌بایست پدیده حاکم بر امواج شناسایی شود. در این موارد می‌بایست پدیده‌های فیزیکی ژرفا کاستگی، پراش، پیچش، بازتاب، اتلاف ناشی از اصطکاک، شکست امواج، تولید امواج ناشی از باد، توزیع بسامدی موج، توزیع جهتی موج، اندرکنش موج-موج و اندرکنش جریان موج در نظر گرفته شوند. لازم به ذکر است که مدل SW به جز پدیده‌های بازتاب و پراش، سایر موارد را می‌تواند در نظر بگیرد.
- ❖ انتخاب نوع فرمولاسیون مدل: برای به دست آوردن مشخصات امواج در مناطق ساحلی و نزدیک ساحل که اغلب شامل انتقال امواج معین آب عمیق به آب کم‌عمق است می‌بایست از فرمولاسیون کوپله جهتی استفاده نمود (در این حالت امواج آب عمیق توسط یک مدل بزرگ‌تر، اندازه‌گیری یا ... در دسترس است). توجه به این نکته ضروری است که فرمولاسیون کوپله جهتی شامل پدیده تشکیل و رشد امواج در اثر باد نمی‌باشد. در مواردی که پدیده تشکیل امواج ناشی از باد مهم است، می‌بایست از فرمولاسیون کاملاً طیفی استفاده نمود که نیازمند محاسبات بیشتر می‌باشد و مسلماً نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌کند. مدل کاملاً طیفی معمولاً برای پیش‌بینی امواج و تحلیل آن در مقیاس‌های کوچک و بزرگ کاربرد دارد. در مقیاس‌های بزرگ معمولاً از المان بندی بزرگ استفاده می‌شود و فقط در مناطق ساحلی و آب کم‌عمق از المان بندی ریز استفاده می‌شود.
- ❖ تعریف دامنه محاسباتی: دامنه محاسباتی شامل محدوده‌های موردنظر و محدوده‌های تأثیرگذار روی ناحیه موردنظر می‌باشد. انتخاب دامنه محاسباتی به صورت سعی و خطا می‌باشد؛ زیرا از یک طرف دامنه محاسباتی باید تا حد ممکن کوچک انتخاب شود تا حجم عملیات ریاضی

کاهش یابد و از طرف دیگر ناحیه انتخابی می‌بایست تمامی محدوده‌های تأثیرگذار را در برگیرد. دقت گسسته سازی در دامنه جغرافیایی می‌بایست با دقت انجام شود تا تراز بستر و بارگذاری روی سیستم به‌طور مناسب در مدل تعریف شود. همچنین گسسته سازی در دامنه طیفی که نشان‌دهنده بسامد و جهات امواج می‌باشد نیز می‌بایست طوری صورت گیرد تا تمامی امواج موجود در منطقه را در برگیرد. به‌منظور مهیا ساختن شرایط مناسب با دقت بالا برای انتقال چگالی کنش موج، عدد کورانت که بر اساس سرعت گروهی موج به دست می‌آید در کل محیط باید کوچک‌تر از یک باشد. لازم به ذکر است که عدد کورانت را می‌توان به‌صورت خروجی از مدل دریافت کرد که در بخش‌های بعدی نحوه دریافت آن به‌عنوان خروجی ذکر می‌شود.

۲-۵-۳. داده‌های موردنیاز

اجرای یک مدل‌سازی نیازمند به چند سری از داده‌ها است. داده‌های موردنیاز برای ماژول SW مایک شامل داده‌های:

- ❖ داده‌های تراز بستر: این داده‌ها می‌توانند توسط عمق سنجی‌های محلی و یا از مراکز هیدروگرافی مهم دنیا نظیر MIKE C-MAP تهیه شود.
- ❖ اطلاعات باد: این داده‌ها می‌توانند شامل چارت‌های سینوتیک، داده‌های جمع‌آوری‌شده از توفان‌ها، اندازه‌گیری‌های سرعت و جهت باد در زمان‌های متوالی و در محل‌های خاص و یا سایر موارد باشد.
- ❖ اطلاعات مربوط به جریان‌ات و تراز آب: این اطلاعات زمانی که اندرکنش موج-جریان یا تغییرات تراز سطح آب برای مدل‌سازی موردنظر مهم باشد، می‌بایست تهیه شوند. معمولاً لازم است قبل از کاربرد مدل با اجرای ماژول جریان داده‌های موردنیاز را تولید نمود.
- ❖ اطلاعات در خصوص مشخصات بستر برای تنظیم پارامترهای استهلاک بستر.
- ❖ داده‌هایی در خصوص مشخصات بستر برای تنظیم پارامترهای استهلاک بستر.

۲-۵-۴. برپا سازی مدل:

منظور از تنظیم مدل، تبدیل داده‌ها و رخداد‌های مشاهده‌شده در طبیعت به شکلی می‌توان به مدل‌های عددی وارد ساخت.

- ❖ المان بندی و اطلاعات تراز بستر: ماژول SW با کاربرد المان بندی و اطلاعات مناسب تراز بستر می‌تواند منجر به نتایج مناسبی از مدل‌سازی امواج شود. تنظیم المان شامل انتخاب ناحیه موردنظر برای مدل‌سازی، مناسب برای داده‌های تراز بستر، موج، باد و جریان و تعریف کدهای موردنیاز برای مرزهای مختلف می‌باشد. به‌علاوه دقت المان بندی در دامنه جغرافیایی نیز توجه

به پایداری مدل عددی تنظیم شود. تعریف عمق آب در مدل موردنظر یکی از مسائل مهم مدل سازی می باشند. در صورتی که در مرحله تعریف تراز بستر و المان بندی در زمان کمتری صرف شود ممکن است در مرحله کالیبراسیون به چندین روز زمان بیشتر دارد تا کمبود دقت در تعریف تراز بستر جبران شود. فایل المان بندی که شامل اطلاعات بیشتر است توسط بخش شبکه ساز ساخته می شود. شبکه ساز ابزاری برای تولید نامنظم است که شامل تعریف و تغییر مرزها نیز می باشد.

❖ مرزهای دور از ساحل: مرزهای دور از ساحل که در آن ها اطلاعات امواج در دسترس نیست اغلب به صورت مرزهای خشکی یا جذب کننده عمل می کنند. از این مرزها هیچ موجی نمی تواند وارد دامنه مدل شود و امواج منتشرشده به سمت این مرزها کاملاً مستهلک می شوند. در صورتی که اطلاعات موج اقیانوسی در دسترس باشد (به طور مثال از طریق اندازه گیری یا مدل سازی های مجزا) مرز دیگری می توان بکار برد. در این حالات شرایط مرزی می تواند به صورت طیف موج یا پارامترهای موج (T_p, H_{m0})، تعریف شود. لازم به ذکر است که شرایط مرزی که با پارامترهای موج تعریف می شوند می توانند در مکان و زمان متغیر باشند.

❖ میدان باد: پیش بینی یا پس بینی موفق امواج وابستگی زیادی به دقت میدان باد مورد استفاده در مدل دارد. با توجه به این که میدان باد اصلی ترین نیروی وارد شده به حوزه است، خروجی های مدل وابستگی شدیدی به دقت و قابل اطمینان بودن آن دارد. میدان باد در مدل می تواند به صورت ثابت در مکان زمان یا متغیر در مکان زمان تعریف شود. همان طور که قبلاً اشاره شد تولید امواج ناشی از باد فقط در فرمولاسیون کاملاً طیفی وجود دارد.

۲-۵-۵. کالیبراسیون و ارزیابی مدل

❖ هدف: با تکمیل تمامی مراحل فوق الذکر، می توان اولین شبیه سازی امواج را انجام داد و عملیات کالیبراسیون و ارزیابی مدل را آغاز نمود. به منظور کالیبراسیون مدل از یک سری داده اندازه گیری شده استفاده می شود. در مرحله کالیبراسیون پارامترهای مدل طوری تنظیم می شوند که نتایج حاصل از مدل و مقادیر اندازه گیری شده بدون تغییر پارامترهای آن، با انجام یک یا چند شبیه سازی (برای مواردی که داده های آن موجود است) مورد ارزیابی قرار می گیرد. پس از ارزیابی مدل و حصول نتایج مناسب، می توان اطمینان حاصل کرد که مدل کالیبره شده در شبیه سازی سایر موقعیت های مشابه موقعیت مرحله کالیبراسیون و ارزیابی، نتایج رضایت بخشی خواهد داشت. در هر صورت نتایج حاصله از مدل کالیبره شده نیز می بایست مورد بررسی قرار گیرد و از منطقی بودن نتایج اطمینان حاصل کرد.

❖ شرایط کالیبراسیون و ارزیابی: داده‌ها و شرایطی که برای کالیبراسیون و ارزیابی مدل انتخاب می‌شود می‌بایست تمامی حالات و شرایطی که مدل بعداً برای مدل‌سازی آن‌ها استفاده می‌شود را پوشش دهد. البته با توجه به این که برای کالیبراسیون و ارزیابی مدل می‌بایست داده‌های اندازه‌گیری موجود باشد و معمولاً داده‌های اندازه‌گیری شده زیاد نیستند لذا حالات و شرایط کمی برای کالیبراسیون و ارزیابی مدل باقی می‌ماند.

۲-۵-۶. پارامترهای کالیبراسیون

در مرحله اول کالیبراسیون زمانی که نتایج مدل با نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقایسه می‌شوند در بسیاری از موارد بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده تفاوت‌هایی وجود دارد. هدف از کالیبراسیون تنظیم مدل به نحوی است که این اختلافات به حداقل برسند. مهم‌ترین فاکتور در کالیبراسیون دقت داده‌های ورودی به مدل است. همچنین به‌منظور کاهش اختلاف بین نتایج و مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای زیر را نیز باید تنظیم نمود:

❖ اصطکاک بستر: افزایش ضریب اصطکاک بستر در آب کم‌عمق معمولاً منجر به افزایش استهلاک انرژی می‌شود و باعث می‌شود ارتفاع موج کاهش و پریود آن افزایش یابد (و بالعکس) در آب عمیق با توجه به این که امواج بستر را حس نمی‌کنند تأثیر این پارامترها ناچیز است.

❖ پارامترهای شکست: پارامترهای شکست موج نیز می‌توانند در برخی موارد به‌عنوان پارامتر کالیبراسیون مورد استفاده قرار گیرند. پارامتر a نرخ استهلاک انرژی پس از شکست را کنترل می‌کند درحالی که پارامتر عمق شکست را کنترل می‌کند. با افزایش a ، نرخ استهلاک انرژی افزایش می‌یابد. افزایش (نیز مقدار عمق شکست را کاهش می‌دهد. در مواردی که از فرمولاسیون پارامترهای کوپله جهتی استفاده می‌شود می‌توان از پارامتر شکست موج ناشی از شیب نیز استفاده نمود. با افزایش این پارامتر، اتلاف کاهش می‌یابد و در نتیجه ارتفاع و پریود موج افزایش می‌یابد.

❖ سفیدک سرموج: در بسیاری از موارد می‌توان از مقادیر پیش‌فرض پارامترهایی که کنترل‌کننده نرخ استهلاک سفیدک سرموج هستند استفاده نمود. این پارامترها Cds نام دارد. در صورتی که در کالیبراسیون مدل برای آب عمیق عدم همخوانی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده وجود داشته باشد و پارامترهای پریود و ارتفاع شبیه‌سازی شده کوچک‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده باشد با کاهش ضریب Cds می‌توان به نتایج بهتری دست یافت.

- ❖ میدان باد: دقت مدل به شدت به دقت میدان باد بکار رفته در مدل بستگی دارد. به طور متوسط ۱۰٪ خطا در سرعت باد منجر به ۲۰٪ خطا در ارتفاع موج متناظر آن میدان باد می شود.
- ❖ جریان و تراز آب: در مواردی که مدل در آب کم عمق بکار می رود اطلاعات دقیق جریان و تراز آب تأثیر مهمی در نتایج شبیه سازی دارد.

۲-۵-۷. برپایی مدل

منظور از برپایی مدل، معرفی هندسه و شرایط طبیعی مسئله با حداکثر دقت ممکن و به شکل قابل حل توسط مدل است. به علاوه چگونگی حل مسئله توسط مدل نیز در این فرایند در قالب پارامترهای مختلف به مدل معرفی می گردد. [30]

۲-۵-۸. ماژول Flow Model FM

Flow Model FM یک سیستم مدلسازی جامع برای مدل سازی های دوبعدی و سه بعدی توسعه یافته است. این سیستم مدل سازی برای عملکردهای مختلط در اقیانوسها، مناطق ساحلی و مناطق با اهمیت محیط زیستی همچون خلیج ها توسعه یافته است و از زیر برنامه های زیر تشکیل شده است. [31]

❖ زیر برنامه هیدرودینامیک

❖ زیر برنامه نقل و انتقالات دریایی

❖ زیر برنامه مدل سازی آزمایشگاهی

❖ زیر برنامه انتقال گل ولای

❖ زیر برنامه انتقال ماسه

زیر برنامه هیدرودینامیکی، تغییرات سطح آب و جریان در واکنش به نیروهای مختلف در محیط های 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 بدست می آید.

فرمول (۲-۶)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

فرمول (۷-۲)

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \gamma \left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - f v v_x + h \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{p_a}{p_w} \right]$$

فرمول (۸-۲)

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - f v v_y + h \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{p_a}{p_w} \right]$$

در معادلات فوق پارامترها به صورت زیر معرفی می گردد:

h : عمق آب

t : زمان

x,y : مختصات دکارتی در حالت دو بعدی

f : ضریب اصطکاک باد

C : ضریب شزی

Pa : فشار هوا

Pw : جرم حجمی آب

v,u : سرعت متوسط عمقی در جهت های مختلف

P,q : دانسیته شار در جهت های مختلف

ξ : تغییرات تراز سطح آب

۹-۵-۲. داده های ورودی FM

❖ داده های جزر و مد: در این قسمت هم می توان از داده های جزر و مدی که خود نرم افزار به

صورت جهانی برای سال های مختلف در خود دارد، استفاده کرد و هم می توان از داده های

جزر و مدی استخراج شده توسط سازمان بنادر را به کار برد.

- ❖ داده‌های باد: داده‌های باد به دلیل وسعت منطقه، علاوه بر ایجاد موج در خلیج که در ماژول SW اثر آن لحاظ گردید، باعث تشدید اثر جریانات در خلیج می‌شوند پس در ماژول Flow Model FM به عنوان داده‌های ورودی به مدل اعمال می‌شود.
- ❖ داده‌های ژرفاسنجی: داده‌های ژرفاسنجی مورد استفاده در این ماژول دقیقاً همان داده‌های ژرفاسنجی مورد استفاده در ماژول SW است. مشابه بودن فایل‌های ژرفاسنجی برای هردو ماژول این امکان را فراهم می‌کند که به علت مشابهت مش بندی فایل ژرفاسنجی، بتوان بررسی دقیق‌تری روی خروجی‌ها صورت گیرد.
- ❖ داده‌های مربوط به شرایط مرزی: داده‌های مورد استفاده برای شرایط مرزی، با توجه به منطقه مورد نظر، شامل داده‌های جزر و مد، سرعت جریان، دبی و ... است.
- ❖ تنش تشعشعی^۱: تنشهای تشعشعی که به عنوان خروجی از ماژول SW بدست آمده است، در ماژول FM به عنوان داده ورودی به کار می‌رود تا سرعت‌های خروجی از نرم افزار حاصل عملکرد همزمان باد، موج و جزرومد در منطقه باشد.

۲-۵-۱۰. خروجی‌های ماژول Flow Model FM

خروجی‌های ماژول FM نیز همچون ماژول SW شامل خروجی محدوده‌ای، خروجی خطی و خروجی نقطه ای می‌باشد با این تفاوت که پارامترهای منتجه در هر خروجی به صورت زیر خواهد بود:

- ❖ سرعت جریان
- ❖ جهت جریان
- ❖ ارتفاع سطح آب
- ❖ سرعت جریان در جهت محور X
- ❖ سرعت جریان در جهت محور Y

۲-۵-۱۱. ماژول 3/21 coupled mike

ماژول 3/21 coupled mike از جعبه نرم‌افزاری مایک می‌باشد که یک سیستم مدلینگ دینامیکی برای کاربردهای ساحلی و مصب‌های رودخانه‌ای می‌باشد. برای انتقال رسوب ناشی از موج، از زیرمجموعه‌های مدل ماژول اصلی couple model FM که شامل ماژول هیدرودینامیکی یا جریان

¹ Radiation Stresses

(hydrodynamic, HD)، انتقال رسوب (SAND TRANSPORT, ST) و طیفی موج (SPECTRAL WAVE, SW) استفاده شده است. مدل هیدرودینامیک یا جریان (HD)، جزر و مد رودخانه، باد، جریان‌های ناشی از امواج، برکشند طوفان و جریانات جزر و مدی را شامل هست. با بکارگیری این مدل می‌توان، تغییرات سطح آب و جریانات را در هر مکان از منطقه مورد مطالعه، بررسی نمود. لازم به ذکر است که این مدل، جریانات را در یک سیل تک لایه (به‌طور عمودی همگن) شبیه‌سازی می‌کند. جریان‌ها شامل جریان کشندی، جریان ناشی از موج یا ترکیبی از این دو می‌باشند. درواقع این نرم‌افزار روشی برای تحلیل برهمکنش متقابل بین امواج و جریان‌ها با استفاده از یک رابطه دینامیکی بین مدل‌های HD و SW ارائه می‌دهد. همچنین از طریق ایجاد یک رابطه بین سه مدل SW, ST, HD قادر به مدل‌سازی نحوه بازخورد کامل بین تغییرات تراز بستر در اثر گردش‌های ناشی از موج و جریان به‌صورت توأم ارائه می‌دهد. در این مدل تنش‌های تشعشی از مدل SW به مدل HD داده می‌شود و به‌صورت هم‌زمان اثر جریان بر روی اندازه امواج از ماژول HD به ماژول SW داده می‌شود که دقت بالاتر را در مدل‌سازی حاصل می‌کند. روش حل عددی این پژوهش با استفاده از این ماژول صورت پذیرفته است [32].

فصل ۳ پیشینه و سابقه تحقیق

۳-۱- پیشینه و سابقه تحقیق

یکی از عوامل اثر گذار در منطقه مطالعاتی اثر نوسانات دریای خزر در تغییر شکل سیمای ظاهری است، از این رو عمده سوابق مطالعاتی در این پژوهش به مبحث نوسانات تراز دریای خزر اختصاص داده شده است.

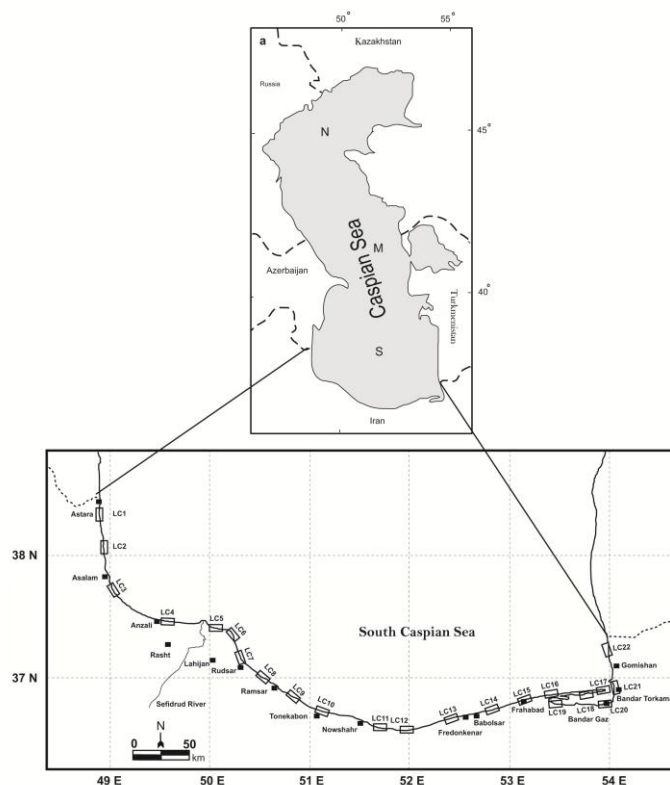
تحقیقات فراوانی در خصوص علت نوسانات دریای خزر و تأثیر این نوسانات بر محیط‌های کم شیب ساحلی ارائه گردیده است؛ که در قسمت علل نوسانات دریای خزر مورد بررسی قرار گرفته است.

مختصری از تحقیقات انجام شده در خصوص تأثیر نوسانات بر سواحل میانکاله و خلیج گرگان و سواحل جنوب شرقی دریای خزر به شرح ذیل می باشد.

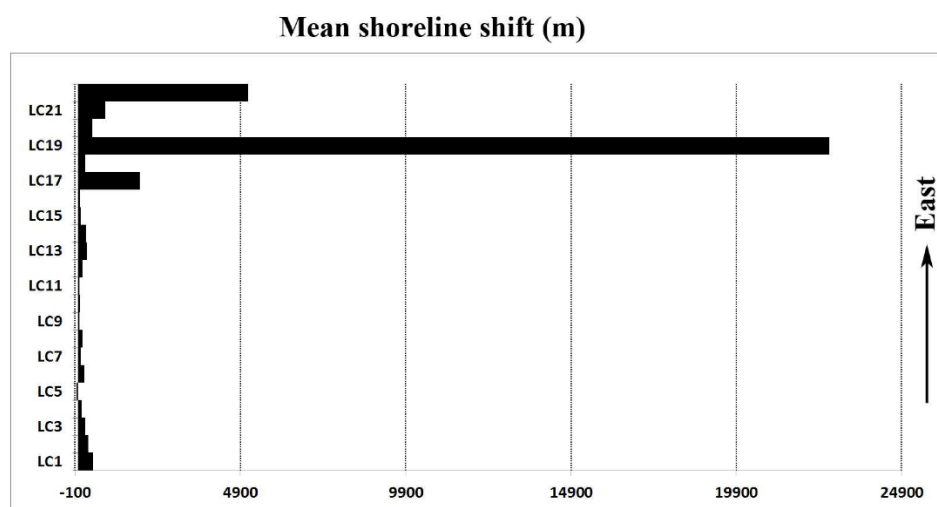
کاکرودی و همکاران در سال ۲۰۱۲: تغییر خط ساحل در طول تغییر سطح آب دریا نشان دهنده میزان آسیب پذیری آن منطقه است. بررسی میزان آسیب پذیری این امکان را فراهم می کند که مدیریت بهتری در ساخت و سازهای ساحلی و برنامه ریزی های ساحلی داشته باشیم. مطالعات فراوانی در زمینه تغییرات خط ساحلی در دریا انجام شده است. کاکرودی و همکاران با تقسیم کردن خط ساحلی جنوب دریای خزر به ۲۲ زون و با استفاده از آنالیز و تحلیل عکس ها در محیط GIS و استخراج خط ساحلی در چند دوره زمانی، میزان تغییرات خط ساحلی جنوب دریایی خزر، در زمان تغییر سریع تراز آب دریا بین سالهای ۱۹۷۵ میلادی تا سال ۲۰۰۱ را مورد مطالعه قرار داده که در شکل (۳-۱) و (۳-۲) آورده شده است [3]. همین پژوهش نشان داده که بیشترین تغییر خط ساحل در حدود ۱,۷ کیلومتر بوده و در طول بالا آمدن سطح آب دریا، در سواحل با شیب کم و عمدتاً در محیط های تالابی مشاهده می شود. نتایج مطالعه تصاویر ماهواره ای بخش جنوب شرقی دریای خزر نشان می دهد که در زمان پشروی آب دریای خزر طی سالهای ۱۹۳۰ تا ۱۹۸۷ دهانه با سرعت ۱۰ متر در سال به سوی خلیج گرگان پیشروی داشته است. مساحت خلیج گرگان در سال ۱۹۷۵ به ۳۲۳ کیلو متر مربع رسید و در سال ۲۰۰۴ با افزایش سطح تراز آب دریای خزر مساحت خلیج گرگان به ۵۳۱ کیلو متر مربع تغییر کرد. این بدان معنی است که خلیج گرگان واجد آسیب پذیری بسیار بالای نسبت به تغییرات سطح تراز آب دریای خزر می باشد. همچنان نتایج مطالعات نشان می دهد که مصب رودخانه گرگانرود از جنوب به سمت شمال جا به جا شده است. از سال ۱۸۸۰ تا ۱۹۷۸ دلتای گرگانرود با سرعت ۱۶۰ متر در سال به سمت دریای خزر پیشروی داشته است.

کاکرودی به این نتیجه رسید که محیط های تالابی بهترین مکان برای مطالعه بر روی نوسانات آب دریای خزر است. هم زبانه ماسه ای و هم خلیج گرگان بشدت توسط تغییرات سریع سطح آب دریا

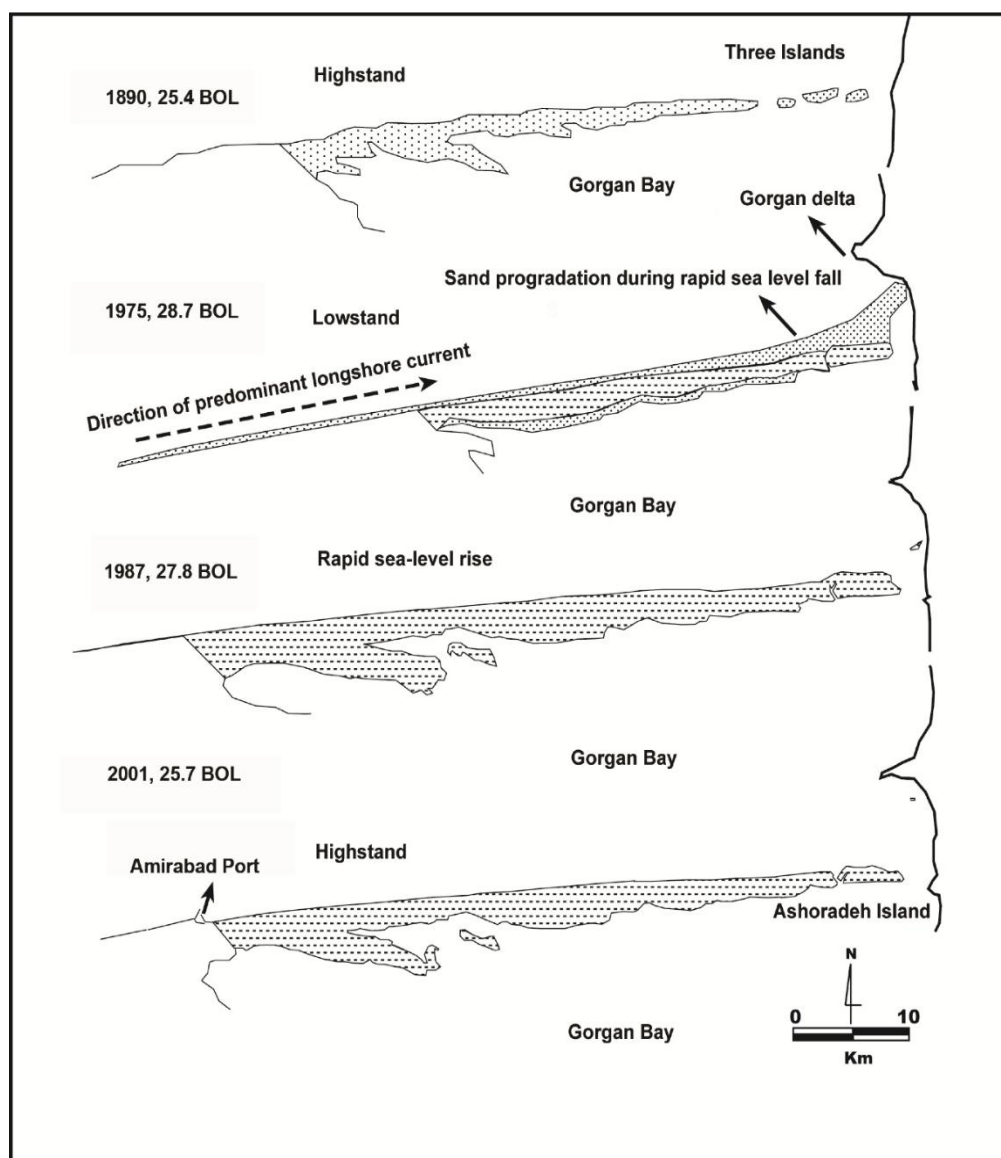
کنترل می‌شوند. همچنین کاکرودی در تحقیق فوق‌الذکر در زبانه ماسه‌ای میانکاله با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای به این نتیجه رسید که در زمان پس‌روی آب دریای خزر قدرت جریان طولی در ساحل افزایش یافته و باعث افزایش انتقال رسوب طولی شده است که نتیجه آن رسوب‌گذاری بیشتر در دهانه خلیج گرگان بوده است. شکل (۳-۳)



شکل (۳-۱): تقسیم‌بندی خط ساحلی جنوب دریای خزر به ۲۲ قسمت [3].



شکل (۳-۲): اندازه جا به جای خط ساحلی در مکان‌های نشان داده شده در شکل (۳-۱) [3].



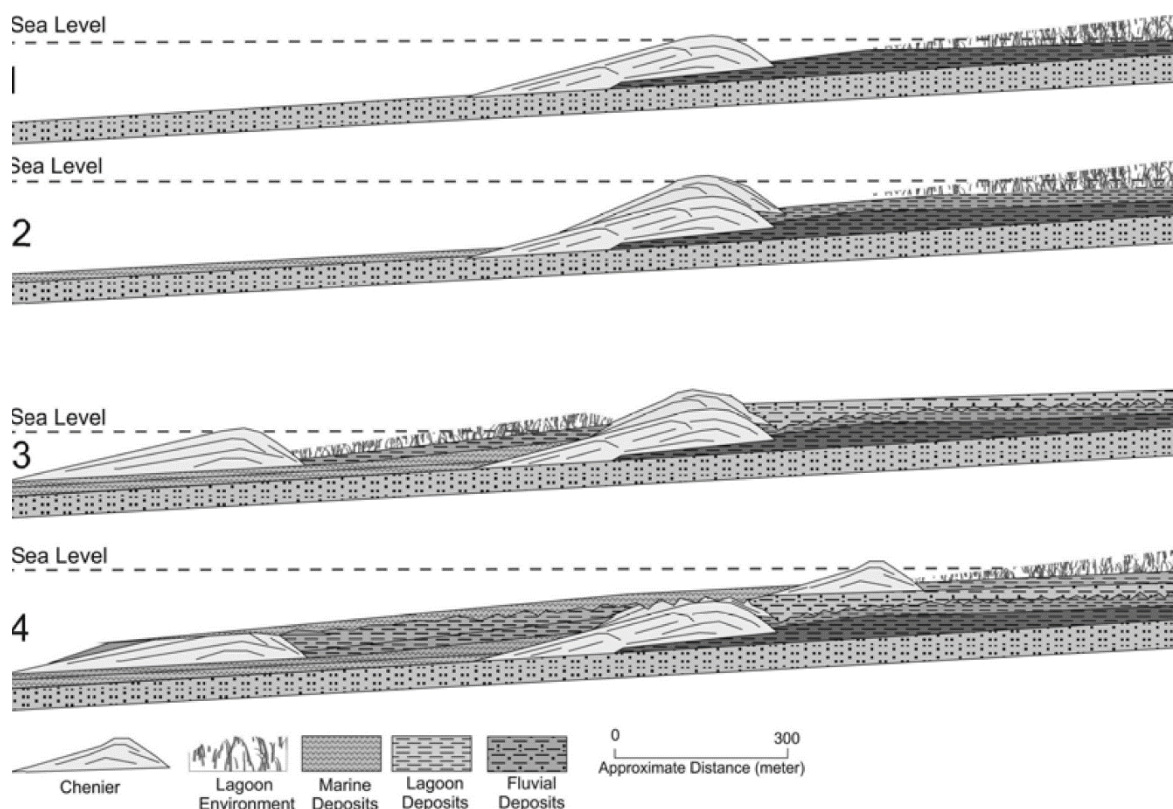
شکل (۳-۳): تغییر شکل ساحل و دهانه خلیج گرگان [3].

کرونبرگ در سال ۲۰۰۰ بالا آمدن آب دریای خزر را بین سالهای ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۵ را مورد بررسی قرارداد. او به این نتیجه رسید که بالا آمدن آب بر روی دلتاها به صورت غرقاب و فرسایش اثر گذاشته و در ساحل داغستان به وسیله فرسایش و توسعه زبانه ماسه‌ای و لاگون پشت آن نشان داده شده است؛ و همچنین زبانه ماسه‌ای در دوره پایین آمدن تراز آب می‌تواند به عنوان پشته‌های کوچک بدون لاگون شکل بگیرد. [33]

تحقیقاتی نیز در مورد مانع گومیشان و خلیج حسن قلی در شمال دهانه خلیج گرگان انجام شده است. ناظمی در سال ۲۰۰۵ با بررسی عکس‌های ماهواره‌ای از سالهای ۱۹۶۷ تا ۱۹۹۱ به این نتیجه رسید که مجموعه مانع و لاگون گومیشان در قسمت شمالی بیشتر تحت تأثیر جریان‌های دریایی و در قسمت

جنوبی آن تحت تأثیر ترکیبی از جریان‌های دریایی و تغییر تراز آب دریا قرار دارد [34]. کاکرودی (۲۰۱۲) و امینی (۲۰۱۲) به این نتیجه رسیده‌اند که سیر تکاملی مانع^۱ گومیشان و خلیج حسن قلی توسط تغییر تراز آب دریا و رژیم هیدرودینامیک ادامه پیدا می‌کند [3] [35].

طرح ارائه‌شده توسط نادری بنی در رابطه با نحوه ایجاد زبانه و لاگون جدید در جنوب شرقی دریای خزر در طول تغییر تراز آب دریای خزر در شکل (۳-۴) آورده شده است [4].

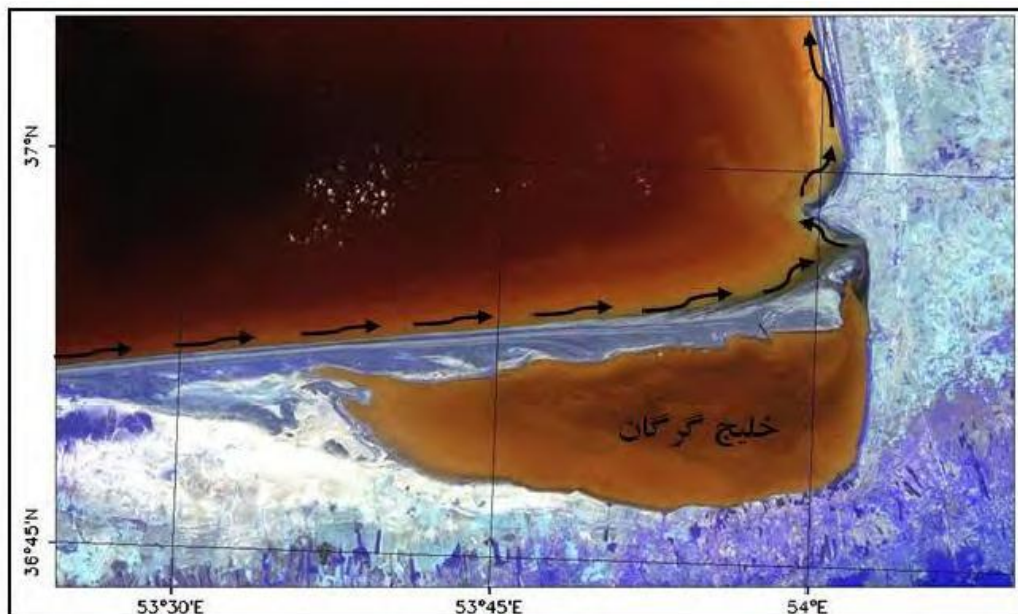


شکل (۳-۴): پاسخگویی سواحل جنوب شرقی دریای خزر به تغییرات تراز آب دریا. (۱) در محیط‌های کم‌عمق و مسطح مجموعه مانع و لاگون شکل می‌گیرد. (۲) بالا روی تراز آب به صورت تدریجی تمایل به توسعه این مجموعه و افزایش ارتفاع پشته رسوبی می‌کند... (۳) با کاهش تراز آب، مجموعه‌ی مانع و لاگون به سوی دریا مهاجرت کرده و لاگون سابق به وسیله‌ی دیوای مواد رسوبی پوشیده می‌شود و پشته رسوبی سابق احتمالاً توسط عملکرد موج فرسایش می‌یابد. (۴) در افزایش سریع آب دریا، مجموعه لاگون و مانع به سمت خشکی تجاوز کرده و پشته رسوبی سابق فرسایش می‌یابد. رسوبات دریایی در لاگون دیو می‌شوند و مانع و لاگون جدید در موقعیتی جدیدی شکل می‌گیرند [4].

نزدیک‌ترین بویه به منطقه مورد مطالعه بویه بندر امیرآباد است که در فاصله ۵ کیلومتری از خط ساحل و واقع در آب عمیق است. این بویه شامل اطلاعات باد و موج منطقه است که جریان حاصل از

^۱ - barrier

آن به شرح ذیل است. اطلاعات ذیل نتایج تحقیق همت ا... رورده و همکاران در سال ۱۳۹۲ با استفاده از اطلاعات بویه موج نگار امیرآباد و نرم افزار مایک ۲۱ است [36].

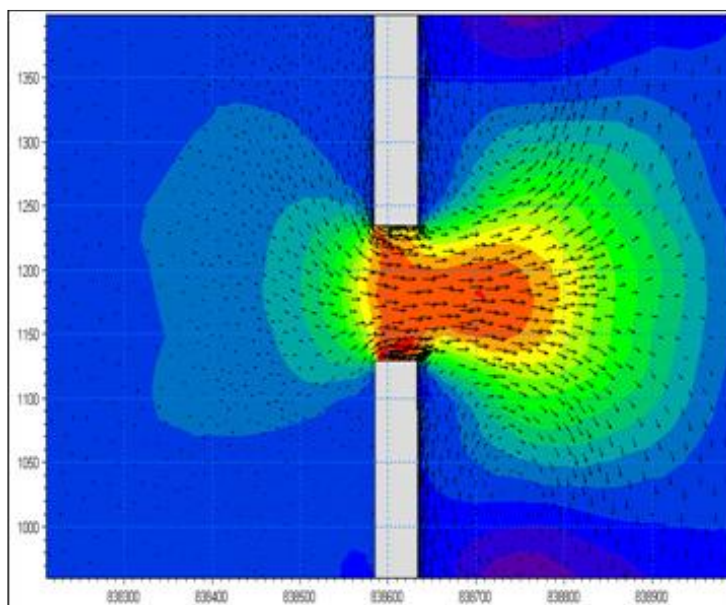


شکل (۵-۳): حرکت رانه ساحلی در ساحل شرقی دریای خزر (منطقه ساحل میانکاله) [36].

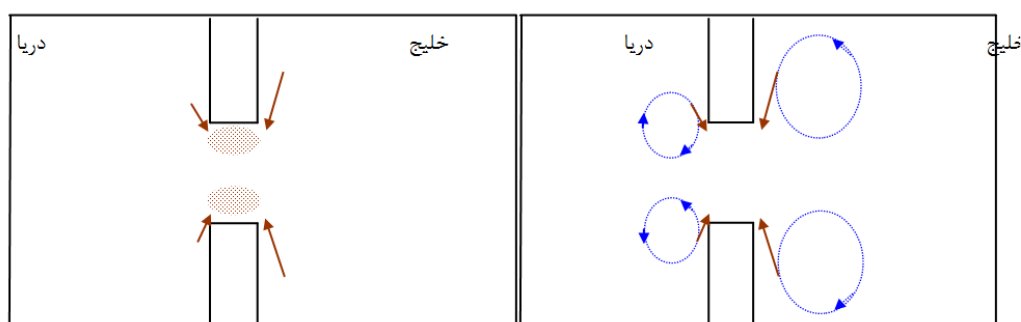
حداکثر ارتفاع امواج بافاصله گرفتن از خط ساحلی در آبهای با عمق ۱۵ متر، به بالای ۲ متر می‌رسد که با نزدیک شدن به دهانه ورودی خلیج گرگان، ارتفاع امواج به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد و در داخل خلیج، امواج قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود. جهت رانه ساحلی در سواحل میانکاله از سمت غرب به سمت شرق است. شکل (۵-۳)

حداکثر سرعت جریانی که در منطقه رخ می‌دهد، در منطقه شکست موج و در ادامه به سمت خط ساحلی تا ۵ سانتی‌متر بر ثانیه ایجاد می‌شود و کمترین سرعت جریان در مناطق دورتر از خط ساحلی به سمت آبهای نیمه عمیق و عمیق رخ می‌دهد.

پژوهشی توسط منیره سادات کیایی در سال ۱۳۹۳ با استفاده از نرم افزار مایک و ماژول couple model fm صورت پذیرفت. پژوهشگر با استفاده از این ماژول اقدام به مدل سازی جریانات و انتقال رسوب در دهانه ها کرده است که نتایج مدل حاکی از کارامدی این ماژول در مدل سازی نحوه انتقال رسوب و نحوه توزیع جریان در دهانه خلیج را به اثبات رساند [37]. شکل (۶-۳) و (۷-۳)

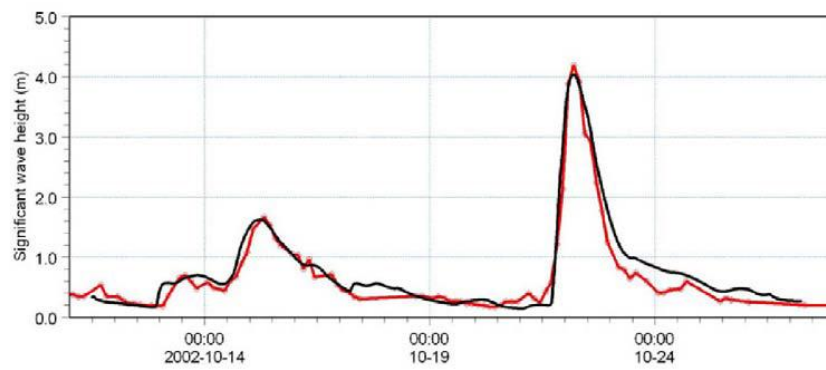


شکل (۳-۶): توزیع جهت جریان و توزیع جریان تحت اثر موج [37].

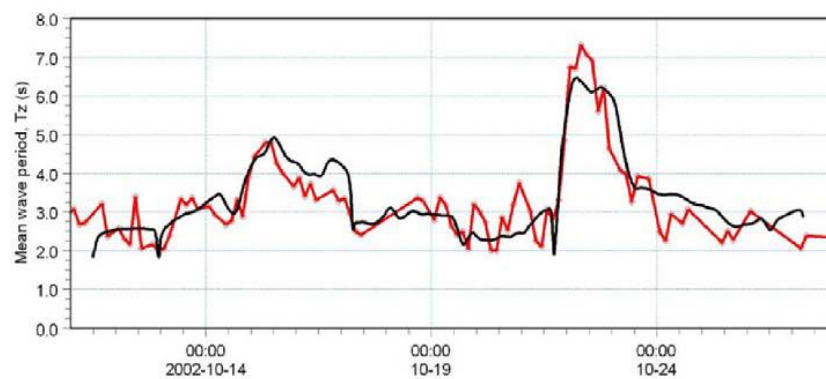


شکل (۳-۷): انتقال رسوب به کناره های دهانه توسط جریان گردابی و رسوبگذاری در کناره های عرضی [37].

پژوهشی در سال ۲۰۱۲ تحت عنوان مدل سازی امواج دریای خزر توسط سازمان بنادر و دریانوردی و مرکز ملی اقیانوس شناسی با همکاری موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) با استفاده از نرم افزار مایک ۲۱ صورت پذیرفت که طی این پژوهش از داده های سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۳ استفاده به عمل آمد. نتیجه این پژوهش مدلی جامع برای کل دریای خزر بوده و کارآمدی نرم افزار مایک را در مدل سازی ارتفاع امواج، پرید امواج در دریای خزر را به خوبی نشان داده شده است [38]. شکل (۳-۸) و (۳-۹)

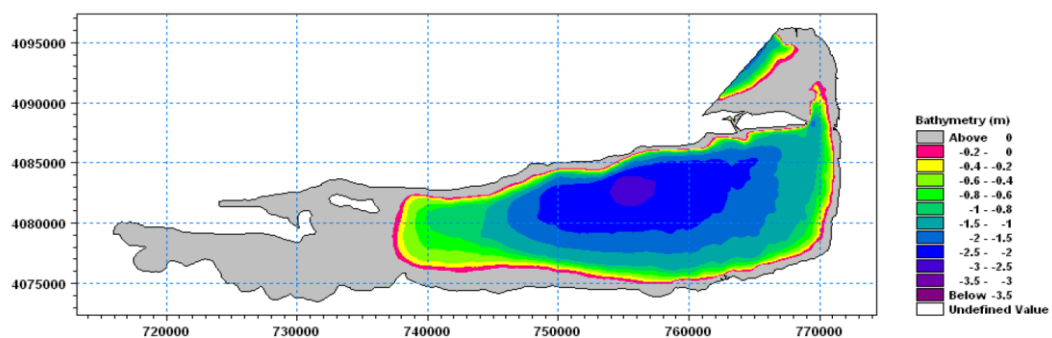


شکل (۳-۸): ارتفاع امواج (قرمز مربوط به بویه و مشکی مربوط به مدل) [38].



شکل (۳-۹): پریود امواج (قرمز مربوط به بویه و مشکی مربوط به مدل) [38].

در پژوهشی که سعید شربتی در سال ۱۳۹۵ با نرم افزار مایک ۲۱ به انجام رساند به این نتیجه رسید که خلیج گرگان در تراز منفی ۲۷/۶ متر عملاً هیچگونه ارتباطی با دریای کاسپین نخواهد داشت شکل (۳-۱۰) [39].



شکل (۳-۱۰): وضعیت توپوگرافی خلیج گرگان در تراز منفی ۲۷/۶ متر

تحقیقاتی نیز با توجه به نمونه‌برداری‌ها و با استفاده از عکس‌برداری و آنالیز شواهد ژئومورفولوژی صورت پذیرفت که به شرح ذیل است.

مریم السادات فرهاد باستان در سال ۱۳۸۹ در تحقیق خود در تأثیر عوامل هیدرودینامیکی در زبانه میانکاله به نتایج زیر رسیده است [40].

❖ باد غالب و مؤثر بر زبانه میانکاله به‌طور عمده در ماه‌های گرم از غرب و در ماه‌های سرد از شرق و شمال شرق است. به‌طور کلی در فصل سرد فرسایش و در فصل گرم رسوب‌گذاری اتفاق می‌افتد.

❖ جریان غالب در میانکاله از غرب به سمت شرق بوده و جریان موازی ساحل جریان حاکم بر تغییر شکل زبانه ماسه‌ی میانکاله است.

خوشروان و همکاران در سال ۱۳۹۰ در تحقیقی اقدام به ناحیه بندی سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از شواهد رسوبی کرده‌اند. در این پژوهش آن‌ها با استفاده از شواهدی محل بارهای رسوبی^۱، اندازه تراس‌های فرسایشی^۲، محل سوراخ‌های زیستی، تاجک‌های ماسه‌ی، موجک‌های ماسه‌ی^۳ اقدام به دسته‌بندی سواحل تحت سواحل رسوب‌گذاری، سواحل فرسایشی و سواحل میانه از تالش تا میانکاله کرده‌اند [8].

رحیمی پور انارکی، حمید به بررسی هیدرودینامیک جریان و پیش بینی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در خلیج گرگان پرداخته است. در این تحقیق با مطالعه بادهای منطقه، اندازه گیریهای میدانی جریانات دریایی و با نمونه برداری از آب و رسوبات بستر، هیدرودینامیک امواج و جریانات دریایی و الگوی فرسایش و رسوبگذاری سواحل منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. [6]

۱-۲- نوسانات دریای خزر

تراز آب حوضه‌های آبی عامل مهمی در روند فعالیت‌های طبیعی آن‌ها به شمار می‌آید. حجم و سطح آب حوضه و شکل سواحل تابعی از تراز آب حوضه است. بررسی محیط‌های ساحلی مبتنی بر شناخت عوامل تأثیرگذار بر آن است. این عوامل از جمله هیدرودینامیک امواج، جهت وزش و قدرت باد، ترکیب رسوبی منطقه و یکی از عوامل بالقوه البته در دریای خزر تغییرات تراز آب دریای خزر است. هدف این پژوهش شناخت این عوامل و بررسی اثر آن‌ها بر زبانه ماسه‌ی میانکاله و دهانه خلیج گرگان است. خلیج گرگان در جنوب شرقی دریای خزر با مشکل بسته شدن دهانه فعلی خود روبه‌رو است. پرسش این

¹ - sediment bar

² - Erosion terrace

³ - ripple mark

پژوهش این است که عوامل اثرگذار بر بسته شدن این دهانه چه عواملی هستند و پاسخگویی این دهانه به عوامل فوق چگونه است.

۱-۲-۱. دلایل نوسانات تراز آب دریای خزر

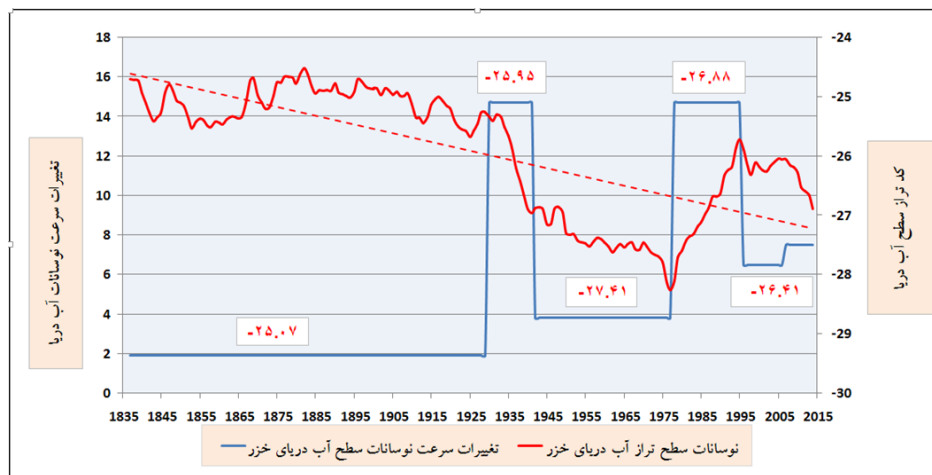
به طور کلی عواملی که باعث نوسانات تراز آب حوضه‌های آبی بسته می‌شوند، در چهار دسته کلی قرار داده‌اند که تغییرات تراز آب خزر در این چهار دسته مورد بررسی قرار گرفته است:

- ❖ عوامل مؤثر در تغییر حجم آب: تغییر دما و تغییر میزان شوری
- ❖ عوامل تأثیرگذار بر حجم حوضه رسوبی: آورد رسوب توسط رودخانه و حرکات تکتونیک
- ❖ عوامل مؤثر بر بیلان آب حوضه: ورودی آب رودخانه‌ها
- ❖ عواملی که باعث حرکت آب در درون حوضه می‌شوند.

دریای خزر یک دریای نوسانی است، دامنه این نوسانات در مقیاس‌های زمانی مختلف متفاوت است. برای مثال در طول پانصد سال گذشته دامنه نوسانات تراز آب ۷ متر در طی ۱۸۰ سال اخیر بالغ بر ۴ متر، در طی چهل سال اخیر حدود ۲/۵ متر و در ۲۰ سال اخیر از سال ۷۴ تا ۹۴ نزدیک به ۱/۴ متر بوده است؛ و آخرین تراز آب در نیمه اول سال آبی ۹۴-۹۵ نسبت به دوره مشابه سال قبل ۲۶ سانتیمتر افت داشته است. (۱۰۰ تا ۱۵۰ برابر آب‌های آزاد) که در شکل (۳-۱۱) آمده است. دریای خزر یک محیط بسته است که با اقیانوسی در ارتباط نیست و وابسته به رژیم تراز آب دریا است. تراز آب دریایی خزر ۲۷- متر پایین‌تر از اقیانوس قرار دارد. با اینکه دریای خزر یک دریاچه است و تغییرات در آن باید به صورت دریاچه‌ی در نظر گرفته شود، ولی از چند دیدگاه می‌توان آن را به اقیانوس مشابه دانست؛ مانند طول آن در جهت شمال جنوب به اندازه ۱۲۰۰ کیلومتر و در جهت شرق به غرب در حدود ۳۲۶ کیلومتر است. حجم آبی که در آن قرار دارد در حدود ۷۸۰۰۰ کیلومتر مکعب است. عمق آب در عمیق‌ترین نقاط در حدود ۱۰۰۰ متر و همچنین مدهای طوفانی به اندازه ۱۰ متر در آن اتفاق می‌افتد؛ و همچنین دریای خزر در دوره پلیوسن به اقیانوس متصل بود. دریای خزر بهترین مکان برای بررسی تغییرات تراز آب است زیرا محیطی مشابه محیط اقیانوس داشته و همچنین تغییراتی که در یک سال در آن اتفاق می‌افتد برابر با چند صدسال در اقیانوس است. از این رو تغییرات دریای خزر فرصت مناسبی را برای مطالعه بلندمدت سیر تکاملی خط ساحل فراهم می‌کند (کاپلین و همکاران، ۱۹۹۵ و کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۲) [41] [42].

مشهودترین چرخه تغییر تراز آب دریای خزر در طول ۶۶ سال در قرن ۲۰ ام اتفاق افتاد که سطح تراز آب دریای خزر با ۳ متر کاهش از سال ۱۹۲۹ تا ۱۹۷۷ میلادی روبه‌رو شده و تراز آن به ۲۹ متر زیر تراز اقیانوس رسید. این کاهش در یک بازه ۴۸ ساله اتفاق افتاد؛ و از سال ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۵ در یک

دوره ۱۸ ساله با ۳ متر افزایش دوباره به تراز گذشته خود بازگشت که در شکل (۳-۱۱) مشخص است. دریای خزر پس از جدا شدن از دریای سیاه در دوره زمانی پلیوسن میانی (در حدود ۵ میلیون سال پیش) چرخه‌های متعدد نوسان تراز آب را تجربه کرده است (ریچاگوف، ۱۹۹۷) [43]. در ۱۰۰ سال اخیر سطح آب این دریا، تغییرات شدیدتری نسبت به گذشته نشان داده است (کرونبرگ و همکاران، ۲۰۰۰) [44].



شکل (۳-۱۱): نوسانات تراز آب دریای خزر تهیه شده توسط مرکز ملی مطالعات دریای خزر [45].

تحقیقات متعددی در زمینه‌ی تغییرات سطح دریای خزر در طول دو دهه اخیر توسط محققین ذیل صورت گرفته است. (ممدوو، ۱۹۹۷ و ریچاگوف، ۱۹۹۷ و کرونبرگ و همکاران، ۲۰۰۰ و لاهیجانی و همکاران، ۲۰۰۹ و لروی و همکاران، ۲۰۱۱ و کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۲ ب و نادری بنی و همکاران، ۲۰۱۳ آ و نادری بنی و همکاران، ۲۰۱۳ ب و حقانی و همکاران، ۲۰۱۵ و ممدوو، ۲۰۱۵) در مورد علت نوسانات دریای خزر تحقیقات فراوانی صورت گرفته است. لروی و همکاران در سال ۲۰۱۳ علت اصلی تغییرات سطح آب دریای خزر را آب‌وهوا دانسته‌اند [46].

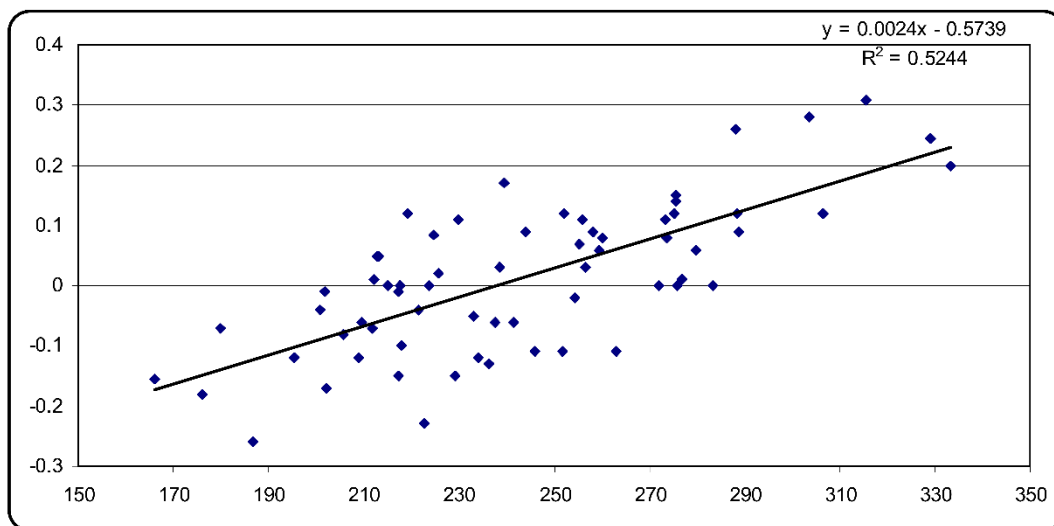
اگرچه علت نوسانات دریای خزر هنوز به‌صورت واضح مشخص نشده است (کرونبرگ و همکاران، ۲۰۰۷) [47]. ولی در بیشتر مطالعات فرضیه تغییر آب‌وهوا و فاکتور انسانی بیشتر و مشهودتر از اثر تکتونیک و زمین‌شناسی است (ریچاگوف، ۱۹۹۷) [43]. میزان حرکات تکتونیکی از روی تراس‌های قدیمی در طول مرز باکوین- خزرین زیرین و مرز خزرین زیرین- بالایی، ۰/۲ میلی‌متر در سال، خزرین- خوالین ۱/۹ تا ۱/۶ میلی‌متر در سال و خوالین زیرین تا بالایی ۰-۰/۳ میلی‌متر در سال برآورد شده است (ریچاگوف و همکاران، ۱۹۹۴) [48]. حرکات تکتونیکی و کوهزایی از پلیستوسن بالایی تا هولوسن ادامه داشته اما روندی بطئی را در پیش گرفته است؛ بنابراین فعالیت‌های زمین‌ساختی بسیار کند عمل می‌کنند و در نوسان‌های کنونی تراز آب خزر چندان مؤثر نیستند. تغییر حجم حوضه رسوبی به علت تجمع رسوبات فاکتور اصلی و اساسی در نوسانات تراز آب خزر محسوب نمی‌شود.

میزان رسوبات وارده به حوضه خزر با منشأهای مختلف اعم از بادی رودخانه‌ای، زیستی ۱۷۲-۱۰۴ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است. این حجم رسوبات با تحکیمی حدود ۲۰٪ در سال قادر هستند تراز آب خزر را به میزان ۰/۴۶ تا ۰/۲۷ میلی‌متر بالا بیاورند [49].

تعادل هیدرولوژیکی بین ورودی و خروجی دریا توسط تراز سطح آب کنترل می‌شود (کرونبرگ و همکاران، ۲۰۰۰ و ارپ و همکاران، ۲۰۱۲) [44] [50].

ورودی دریا خزر عمدتاً تحت سلطه تخلیه رودخانه‌ها از غرب و جنوب و همچنین بارش بر روی دریا است. خروجی دریا عمدتاً توسط تبخیر در دریا و خلیج‌ها کنترل می‌شود (ارپ و همکاران، ۲۰۱۲) [50]. ورود آب رودخانه‌ای به خزر، ورود آب زیرزمینی، بارش بر روی دریا و تبخیر از سطح دریا و خروج آب به خلیج قره‌بغاز از مهم‌ترین مؤلفه‌های بیلان آب خزر هستند. ورودی آب رودخانه‌ها مهم‌ترین پارامتر مثبت بیلان آب خزر است. بطوریکه در مؤلفه‌های بیلان آب ۷۰٪ نوسانات مطلق تراز را به خود اختصاص داده است. از میان رودخانه‌هایی که به حوضه خزر می‌ریزند رودخانه ولگا با سهمی در حدود ۸۰٪ بیشترین آب ورودی به حوضه را تأمین می‌کند، که کوچک‌ترین تغییر در دبی این رودخانه بر نوسانات تراز آب خزر مؤثر است. حوضه‌ی آبریز رود ولگا در مقایسه با حوضه خزر در ناحیه متفاوتی از نظر آب‌وهوایی قرار دارد و متأثر از آب‌وهوای مناطق آتلانتیک شمالی، نواحی قطبی و اروپا است. در دوره‌های سرد سال میزان رطوبت در حوضه ولگا کاملاً مرتبط است با تبادل رطوبت بین اتمسفر و اقیانوس اطلس شمالی، اگر تبخیر مؤثر در آتلانتیک شمالی بیشتر از حد نورم باشد رطوبت بیشتری وارد حوضه آبریز ولگا شده به طبع آن، بارش در منطقه بیشتر و دبی رودخانه افزایش می‌یابد. اگر تبادل رطوبت بین اتمسفر و اقیانوس اطلس شمالی کمتر باشد این پدیده معکوس خواهد شد.

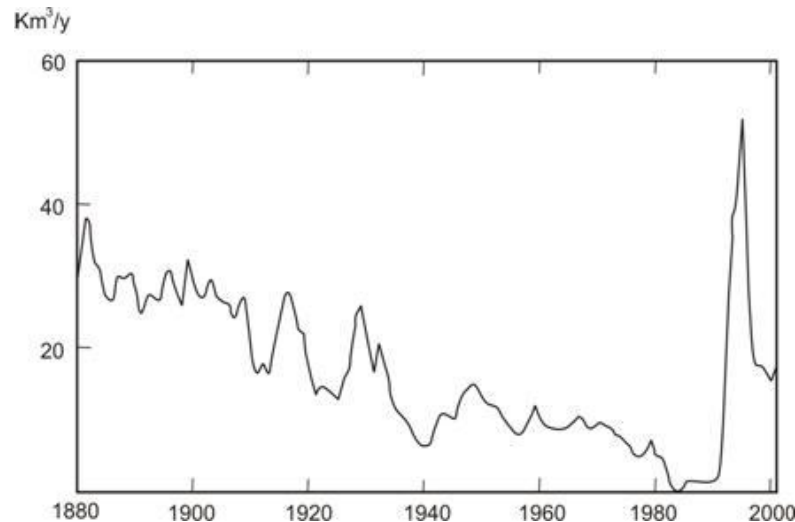
تغییرات آبدی ولگا به‌عنوان بزرگ‌ترین تأمین‌کننده آب ورودی به دریای خزر در یک دوره ۷۳ ساله روند افزایشی را نشان می‌دهد، درحالی‌که از سال ۱۹۹۵ تاکنون از یک‌روند کاهشی برخوردار بوده است و این کاهش با کاسته شدن تراز آب دریای خزر هم‌زمان است. از طرف دیگر رفتار نوسانی دریای خزر با تغییرات آبدی ولگا از همبستگی بالایی برخوردار است. شکل (۳-۱۲)



شکل (۳-۱۲): نمودار همبستگی آبدهی ولگا با تغییرات تراز آب دریای خزر (مرکز ملی اقیانوس‌شناسی) [49].

دبی رودخانه ولگا موثر از حوضه بارش بر روی خود است. همان‌طور که در شکل (۳-۱۲) مشخص است ضریب همبستگی بالای مشهود است.

ورود آب به خلیج قره‌بغاز از دیگر مؤلفه‌های موردبررسی در بیلان آب خزر است. این خلیج در ناحیه بیابانی با تبخیر بالا قرار دارد و تبخیر از سطح آن تا ۲۵ کیلومتر مکعب می‌تواند در مؤلفه خروجی بیلان آب مؤثر باشد. تأثیر این پدیده در نوسان تراز آب خزر وابسته به سطح مقطع تنگه ارتباطی بین خلیج-دریا و تراز آب خزر دارد. در ترازهای پایین تراز (۳۵- متر) و بسیار بالا (۰ متر) اثر این خلیج در نوسان تراز آب ناچیز است. در ترازهای پایین ارتباط آبی این خلیج با دریا قطع می‌گردد و در حالت دوم بخشی از سواحل خاوری شده و رژیم تبخیر آن همانند این سواحل می‌گردد. میزان آب‌های زیرزمینی واردشده به حوضه در مقایسه با کل آب‌های سطحی بسیار جزئی بوده و نقش بسزایی در معادله بیلان آبی خزر ایفا نمی‌کند. شکل (۳-۱۳)



شکل (۳-۱۳) : منحنی تغییرات خروج آب از خزر و ورود به خلیج قره باغ [49].

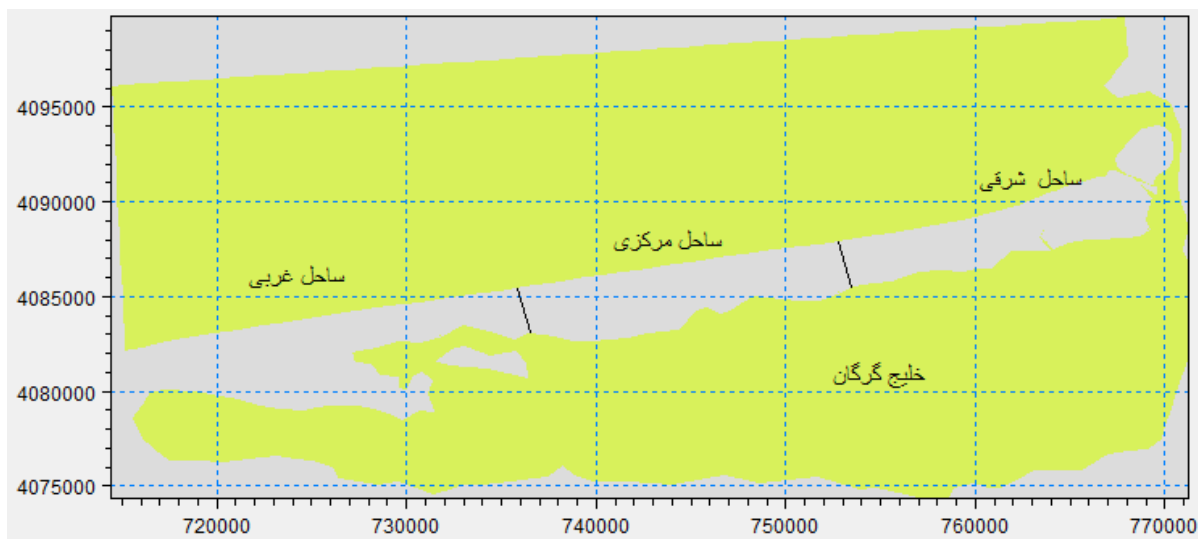
نوسانات آب دریایی خزر تاثیرات گوناگونی بر شکل‌دهی محیط ساحلی دارد. شکل ظاهری دپوی ساحلی به‌وسیله‌ی تعامل پیچیده از عوامل گوناگونی چون سطح نسبی آب دریا، بودجه رسوبی، آب‌وهوا و فرآیندهای هیدرودینامیکی همچون مورفولوژی ساحلی چون جهت ساحل و شیب بستر تأثیر می‌پذیرد (نادری و همکاران، ۲۰۱۳ ب) [51].

باوجود اینکه جزر و مد در دریای خزر ناچیز است. موج، جریان‌های دریای، مورفولوژی نزدیک خط ساحل و تغییر سریع آب سطح دریا از عوامل مهم در کنترل مورفولوژی ساحلی هستند (کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۲) [42]. کاهش ۱/۴ متری تراز آب دریای خزر در طی ۲۰ سال اخیر را نمی‌توان به‌عنوان افت‌وخیزهای معمولی دریا دانست و احتمال ادامه کاهش تراز آب به‌عنوان دور جدیدی از ویژگی‌های نوسانی دریای خزر را نباید از‌نظر دور داشت. ازجمله دلایل کاهش تراز آب را می‌توان ادامه تأثیر خشک‌سالی سال‌های قبل در حوضه آبریز خزر و کاهش بارش و در نتیجه کاهش آبدهی رودخانه‌های منتهی به دریای خزر و مهم‌ترین آن‌ها رودخانه ولگا دانست. و نتیجه کلی نوسانات سطح تراز آب دریای خزر بیانگر این است که با آنکه سطح تراز آب خزر همبستگی بالایی با دبی ولگا دارد، اما این تغییرات نوسانات در دریای خزر قابل پیش‌بینی نیست و به عوامل مختلف انسانی، طبیعی، سیاسی و بستگی دارد.

فصل ۴ مواد و روش ها

۴-۱- اطلاعات جمع‌آوری شده

در این پژوهش جهت بررسی اثر انرژی امواج و نحوه اثر گذاری در منطقه، ساحل میانکاله را به سه بخش شرقی مرکزی و غربی تقسیم نموده. شکل (۴-۱) برای این منظور عوامل ذیل برای این سه منطقه برداشت شده است. در انتها به تحلیل عوامل زیر پرداخته شده است.



شکل (۴-۱): تقسیم بندی سواحل میانکاله به سه قسمت شرقی، مرکزی و غربی

- ❖ شیب صورت ساحل
- ❖ فاصله خط شکست موج
- ❖ ثبت عوارض مورفودینامیک ساحلی و بررسی تعداد شکست موج
- ❖ نمونه برداری رسوبی
- ❖ تهیه نقشه تغییرات خط ساحل شرقی میانکاله
- ❖ تهیه نقشه توپوگرافی ساحل میانکاله
- ❖ جمع آوری اطلاعات مورد نیاز نرم افزار مایک

۴-۱-۱. شیب صورت ساحل

برای اندازه‌گیری شیب صورت ساحل از یک روش بسیار ساده استفاده شده، در این روش از دو چوب ۲ متری مندرج شده، یک طناب ۵ متری و یک ترازسنج مطابق شکل (۴-۲) و (۴-۳) استفاده می‌شود. طناب ۵ متری به هر شاخص وصل شده طناب وصل شده به دو شاخص تراز می‌شود، اختلاف بین دو

شاخص خوانده می‌شود سپس از رابطه فیثاغورث شیب در هر ۵ متر به دست می‌آید. این کار را برای چند ایستگاه پشت سر هم انجام داده تا شیب در صورت ساحل به دست بیاید.



شکل (۴-۲): ابزار اندازه‌گیری شیب صورت ساحل شامل دو چوب مندرج ۲ متری، یک طناب ۵ متری، تراز، جی‌پی‌اس، متر



شکل (۴-۳): اندازه‌گیری شیب صورت ساحل

۴-۱-۲. اندازه‌گیری باند شکست موج از ساحل

برای اندازه‌گیری باند شکست موج از ساحل از دوربین نقشه‌برداری و قایق استفاده شده است. محل اولین شکست موج و به‌صورت تقریبی اندازه‌گیری شده است. شکل (۴-۴)



شکل (۴-۴) : دوربین نقشه‌برداری مورد استفاده در پژوهش

۴-۱-۳. ثبت عوارض مورفودینامیک ساحلی و بررسی تعداد شکست موج

این پژوهش شامل چندین گشت زنی میدانی بوده و عوارض مورفودینامیکی در هر قسمت از زبانه میانکاله و دهانه خلیج گرگان عکس‌برداری شده است.

۴-۱-۴. نمونه‌برداری رسوب

در این پژوهش از ۲ سری نمونه رسوبی استفاده شده است. نمونه‌های برداشت‌شده توسط مرکز ملی مطالعات دریای خزر در زبانه ماسه‌ای میانکاله و نمونه‌های برداشت‌شده توسط این پژوهش در دهانه خلیج گرگان است. جدول زیر شامل موقعیت مکانی نقاط نمونه‌برداری در زبانه میانکاله است. شکل (۴-۵)



شکل (۴-۵) : نمونه برداری رسوبی

جدول (۴-۱) : مختصات نقاط نمونه برداری در ساحل میانکاله

خط	موقعیت	زبانۀ ماسه‌ای
خط ۱	36 54' 21"N – 53 52'52"E	شرق زبانۀ ماسه‌ای
خط ۲	36 54' 18"N – 53 51'36"E	مرکز زبانۀ ماسه‌ای
خط ۳	36 54' 09"N – 53 50'27"E	غرب زبانۀ ماسه‌ای

نمونه‌های موازی خط ساحلی برای بررسی تغییر اندازه ذرات در طول خط ساحل برداشت شده است که مختصات نقاط به شرح جدول زیر است. جدول (۴-۲)

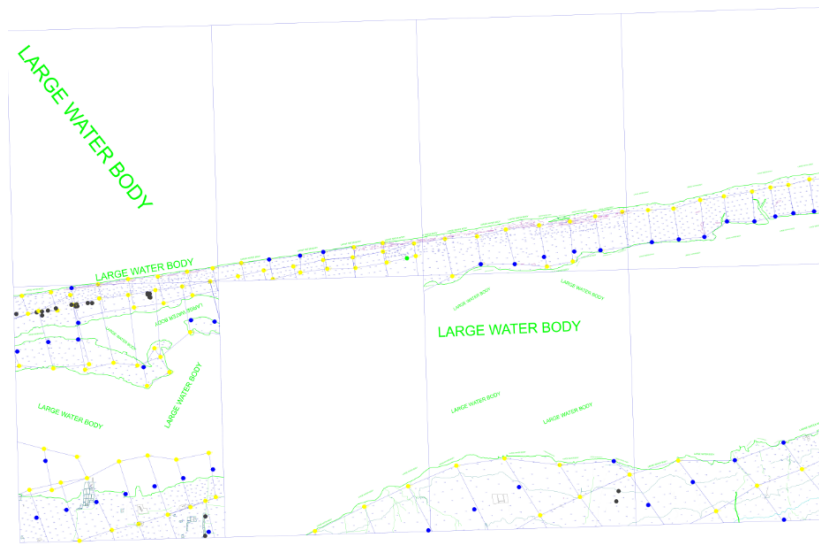
جدول (۴-۲) : موقعیت نقاط در راستای افقی زبانۀ ماسه‌ای

نقطه	موقعیت
1	36 54' 21"N – 53 52'52"E
2	36 54' 22"N – 53 52'34"E
3	36 54' 22"N – 53 52'21"E
4	36 54' 20"N – 53 52'53"E
5	36 54' 19"N – 53 51'50"E
6	36 54' 18"N – 53 51'36"E
7	36 54' 16"N – 53 51'16"E
8	36 54' 13"N – 53 51'01"E
9	36 54' 11"N – 53 50'42"E
10	36 54' 09"N – 53 50'27"E

۴-۱-۵. استفاده از تصاویر GIS و نقشه های توپوگرافی ساحل میانکاله

برای بدست آوردن اندازه جا به جای خط ساحل میانکاله از تصاویر سال ۱۳۴۵ مربوط به تراز ۲۷,۵- و در در زمان پسرروی تراز آب دریای خزر و سال ۱۳۸۴ مربوط به تراز ۲۶,۲- و در زمان بالاروی تراز آب دریای خزر از مرکز ملی مطالعات دریای خزر استفاده شده است. تصاویر برای ۱۰ زون از سمت شرق به غرب تهیه شده و حداکثر و حداقل جا به جای خط ساحلی بدست آمده است. نقشه توپوگرافی ساحل میانکاله به منظور مطالعه توپوگرافی نقاط خشکی یا ساحل میانکاله تهیه شده است.

۴-۱-۶. تهیه نقشه توپوگرافی ساحل میانکاله



شکل (۴-۶): نقشه توپوگرافی ساحل میانکاله

۴-۱-۷. جمع آوری اطلاعات مورد نیاز نرم افزار مایک

۴-۱-۷-۱. داده های مورد استفاده در این پژوهش

❖ برای عمق سنجی منطقه مورد پژوهش از ۲ سری داده های عمق سنجی، مربوط به تراز ۲۶- جمع آوری شده است، داده ها شامل بیش از ۵۰۰۰ داده اسکتری است. داده های عمق سنجی درون خلیج گرگان از اداره شیلات استان گلستان و داده های عمق سنجی سواحل میانکاله از

مرکز ملی مطالعات دریای خزر دریافت شده است؛ و برای دستیابی به دقت بالاتر در منطقه جنوب شرقی و در دهانه خلیج گرگان اندازه‌گیری‌های دستی عمق سنجی، به این داده‌ها اضافه‌شده و برخی از داده‌ها اصلاح‌شده است.

❖ داده‌های باد: در این پژوهش از داده‌های ایستگاه سینوپتیک امیرآباد از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ با گام زمانی ۱۰ دقیقه‌ای استفاده‌شده است.

❖ داده‌های موج و جریان: داده‌های موج و جریان در این پژوهش از دستگاه adcp که در عمق ۱۰ متری با مختصات ۵۳,۴۱۱۱ و ۳۶,۹۱۴۲ در نزدیکی بندر امیرآباد واقع گردیده، استفاده‌شده است. داده‌های موج در فاصله زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ و با گام زمانی یک ساعت برداشت‌شده و داده‌های جریان نیز در همین فاصله زمانی و با گام ۱۰ دقیقه برداشت‌شده است.

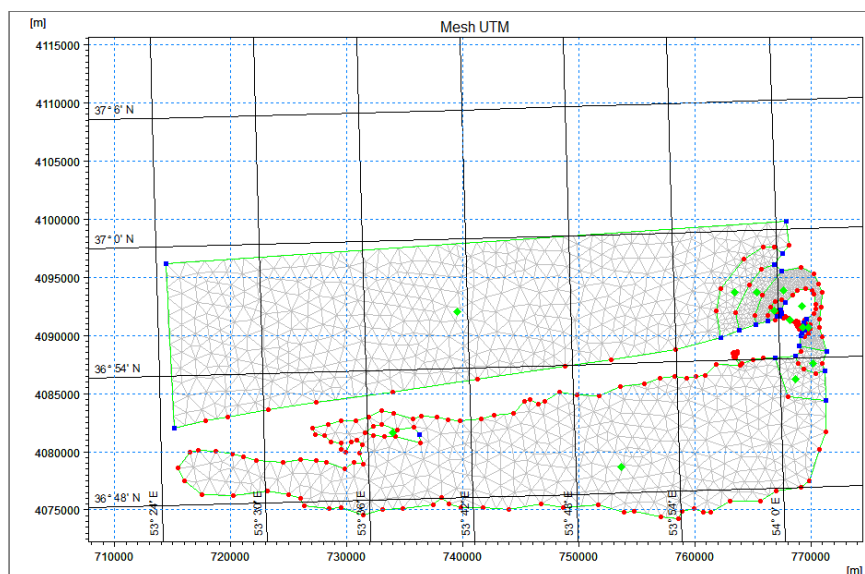
❖ داده‌های مانیتورینگ دریای خزر: از داده‌های مانیتورینگ خزر که شامل داده‌های باد، موج، جریان، تغییرات تراز برای یک سال از ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ است که در مختصات ۵۳,۸۵ و ۳۷,۰۰ در داده‌های مرزی استفاده‌شده است. (مانیتورینگ حاوی مدل‌سازی کل دریایی خزر و توسط شرکت نرم‌افزاری دانمارکی DHI، به سفارش سازمان بنادر و سواحل جمهوری اسلامی ایران انجام‌شده است.)

❖ داده‌های رسوبی: از داده‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش به عنوان داده‌های رسوبی وارد شده نرم افزار مایک می باشد.

۴-۱-۷-۲. تهیه فایل شبکه‌بندی

داده‌های موردنیاز جهت تهیه فایل شبکه‌بندی، شامل موقعیت‌های مرزی مدل و نیز هیدرو گرافی محدوده‌ی مدل است. با توجه به روش حل عددی در مدل، شبکه موردنیاز جهت معرفی هندسه و هیدرو گرافی مسئله غیرمنظم و شامل المان‌های مثلثی است. شبکه‌بندی نهایی مورد استفاده شامل ۳۷۲۵ المان و ۲۱۲۳ گره است. با توجه به اهمیت دهانه ورودی خلیج گرگان در جنوب شرقی منطقه

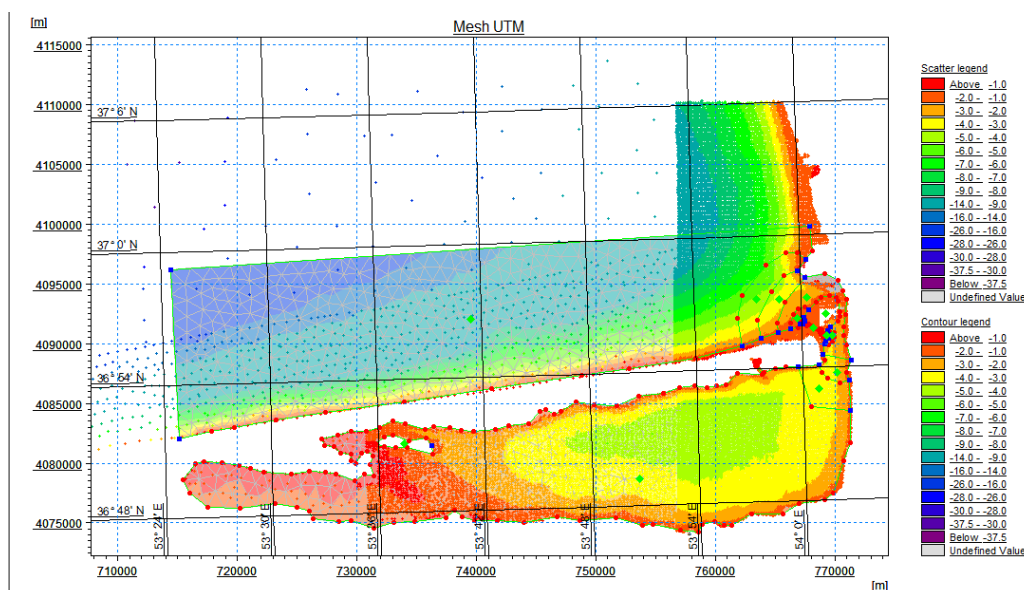
مورد مطالعه، شبکه‌بندی به نسبت یک سوم یک سوم ریزتر شده است و در درون خلیج به همین نسبت دوباره به اندازه اصلی مش درست شده است. شکل (۴-۷)



شکل (۴-۷): شبکه‌بندی منطقه مورد پژوهش

۴-۷-۱-۳. تهیه فایل عمق سنجی

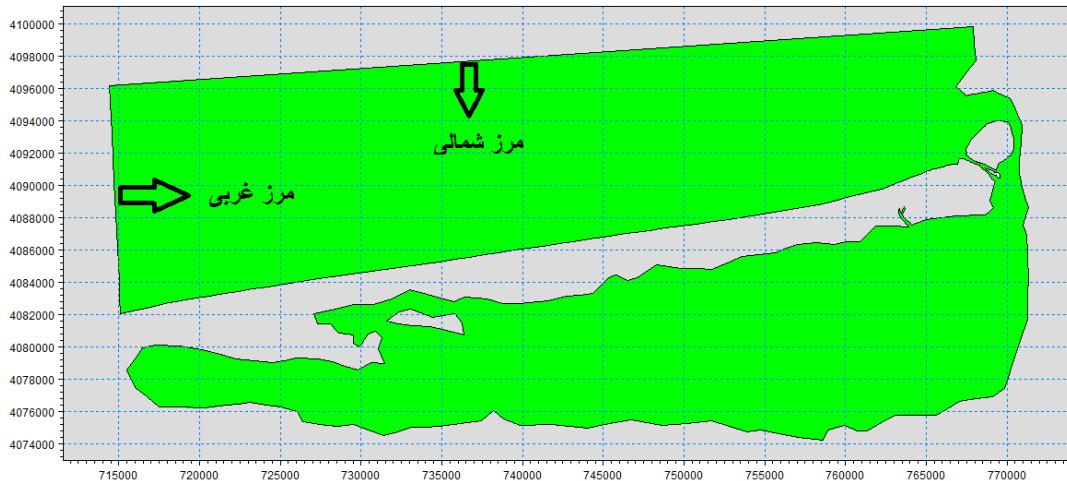
برای تهیه نقشه عمق سنجی، از روش درون یابی همسایگی برای درون یابی داده های عمق سنجی استفاده شده است. شکل (۴-۸)



شکل (۴-۸): نقشه فایل عمق سنجی خلیج گرگان

۴-۱-۷-۴. داده‌های ورودی به مرزهای مدل

بدلیل وجود ۲ مرز آبی در قسمت شمال و در قسمت غرب داده‌های ورودی به مرزها مطابق جدول (۴-۳) انتخاب شده‌اند. شکل (۴-۸)



شکل (۴-۸): مرزهای مدل

جدول (۴-۳): مرزهای داده شده به مدل

ماژول	داده‌ها	مرز دریای (مرز غربی)	مرز دریای (مرز شمالی)
SW	باد	داده‌های باد خروجی مانیتورینگ دریای خزر	داده‌های باد خروجی مانیتورینگ دریای خزر
SW	موج	داده‌های موج خروجی مانیتورینگ دریای خزر	داده‌های موج خروجی مانیتورینگ دریای خزر
HD	جریان	داده‌های جریان دستگاه adcp	داده‌های جریان خروجی مانیتورینگ دریای خزر

به علت اینکه مرز شمالی و غربی در آب عمیق است و اثر باد در تشکیل امواج دیده نمی‌شود از داده‌های خروجی مانیتورینگ دریای خزر در دو مرز استفاده‌شده تا اثر باد در تشکیل موج و جریان در مرزهای مدل دیده شود. در داده مانیتورینگ کل دریای خزر مدل شده و در نقطه‌ی در مرز بالای مدل خروجی گرفته شده است.

۴-۲- روش انجام کار

پس از جمع‌آوری اطلاعات و مدارک موردنیاز در رابطه با موضوع پژوهش از مؤسسات و مراکز تحقیقاتی و جستجو در سایت‌های اینترنتی، آشنایی اولیه نسبت به منطقه مورد مطالعه به لحاظ جغرافیای طبیعی و صفات زیست‌محیطی انجام گرفت. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (Google earth) وضعیت سیمای مورفولوژی و پدیده‌های رایج مورفودینامیک منطقه شناسایی و ارزیابی گردید. نمونه‌برداری‌های رسوبی در زبانه میانکاله و دهانه خلیج گرگان برداشت‌شده و پس از آماده‌سازی نمونه‌های رسوبی در آزمایشگاه و انجام آزمایش‌های لازم بر روی آن‌ها مشخصات بافتی رسوبات از نظر اندازه دانه‌ها و توزیع ذرات رسوبی مشخص گردید. روی ساختار هندسی و مورفودینامیک رسوبی در بخش غربی، مرکزی و شرقی ناحیه ساحلی در حول سه ایستگاه اندازه‌گیری و عکس‌برداری لازم به عمل آمد. سپس با توجه به مطالب گفته شده در فصل تعاریف عملکرد دهانه خلیج و ساحل میانکاله در مقابل هیدرودینامیک امواج و نوسانات سطح تراز آب دریای خزر بدست آمد. سپس نرم افزار مایک ۲۱ برای مدل سازی این پژوهش آماده و کالیبره شد و نتایج مورد نیاز بدست آمد. این پژوهش شامل ۲ گشت زنی میدانی در زبانه میانکاله به منظور جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز پژوهش و ۲ گشت زنی میدانی در دهانه خلیج گرگان و درون خلیج به منظور نمونه‌برداری و ردگیری شواهد مورفولوژی به عمل آمده است.

فصل ۵ بحث و نتیجه گیری

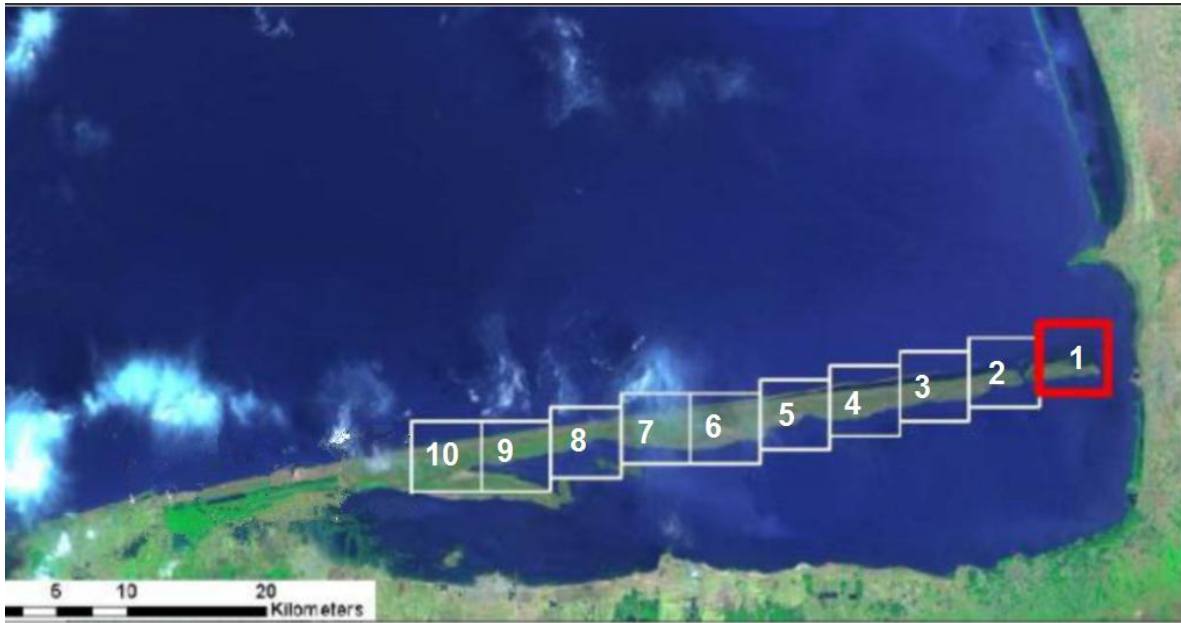
۵-۱- موارد بدست آمده در ساحل میانکاله

موارد جدول (۵-۱) شامل اطلاعات بدست آمده از گشت میدانی، عکس برداری و اندازه گیری در ساحل میانکاله می باشد

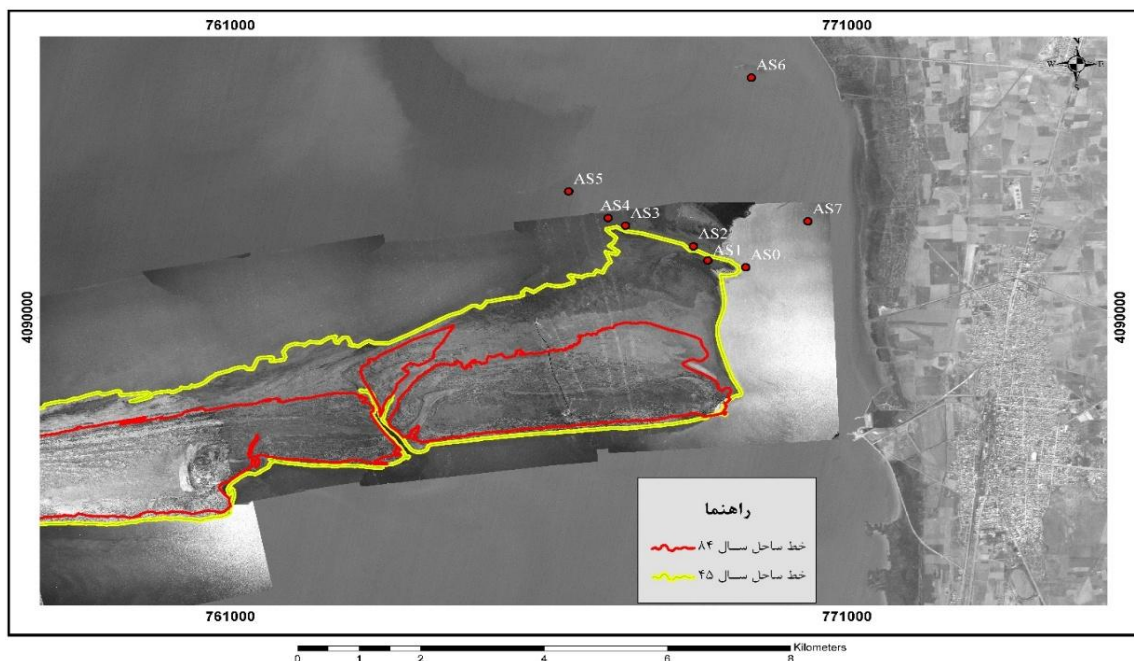
جدول (۵-۱) : موارد برداشت شده در ساحل میانکاله

پوشش رسوبی	پدیده‌های مورفودینامیکی	شیب صورت ساحل	نوع شکست موج	تعداد شکست موج	ناحیه شکست موج	منطقه میانکاله
مواد ماسه‌ای دانه ریز تا دانه متوسط حاوی ذرات ریزدانه در محیط‌های تالابی	تراس‌های فرسایشی، تاجک‌های ماسه‌ای، تپه‌های ماسه‌ای	۰,۹	ریزشی - فروریز	کمتر از ۵ شکست، عموماً بین ۳ تا ۵ شکست موج	کمتر از ۱۰۰ متر	بخش غربی
ماسه ریزدانه به همراه مواد رسی چسبنده حاوی مواد آلی	زبان‌های ماسه‌ای، تاجک‌های ماسه‌ای، موج‌نقش‌ها، تپه‌های ماسه‌ای، چاله‌های آبگیر	۰,۷	ریزشی	بیش از ۵ شکست موج	۳۵۰-۱۰۰ متر	بخش مرکزی
مواد رسی و گلی چسبنده حاوی مواد آلی رنگ تیره	چاله‌های آبگیر، تالاب، موج‌نقش‌ها آبراهه‌های ناشی از جریان‌های ساحلی،	۰,۴	ریزشی	بیش از ۵ شکست موج	۶۰۰-۳۰۰ متر	بخش شرقی

تصویر تهیه شده از تغییر خط ساحلی در ساحل میانکاله در ۱۰ زون از شرق به غرب صورت گرفته است. شکل (۵-۱) (تصاویر در پیوست پایان نامه) با توجه به تغییرات خط ساحل میانکاله جدول (۵-۲) برای ساحل میانکاله بدست آمده است. زون های ۱ تا ۴ مربوط به ساحل شرقی، زون های ۵ تا ۷ مربوط به ساحل مرکزی و زون های ۸ تا ۱۰ مربوط به ساحل غربی میانکاله است.



شکل (۵-۱): ده زون مورد بررسی نوسانات دریای خزر از شرق به غرب



شکل (۵-۲): تغییرات خط ساحلی در ساحل شرقی

جدول (۵-۲): اندازه جابه جای خط ساحل میانکاله

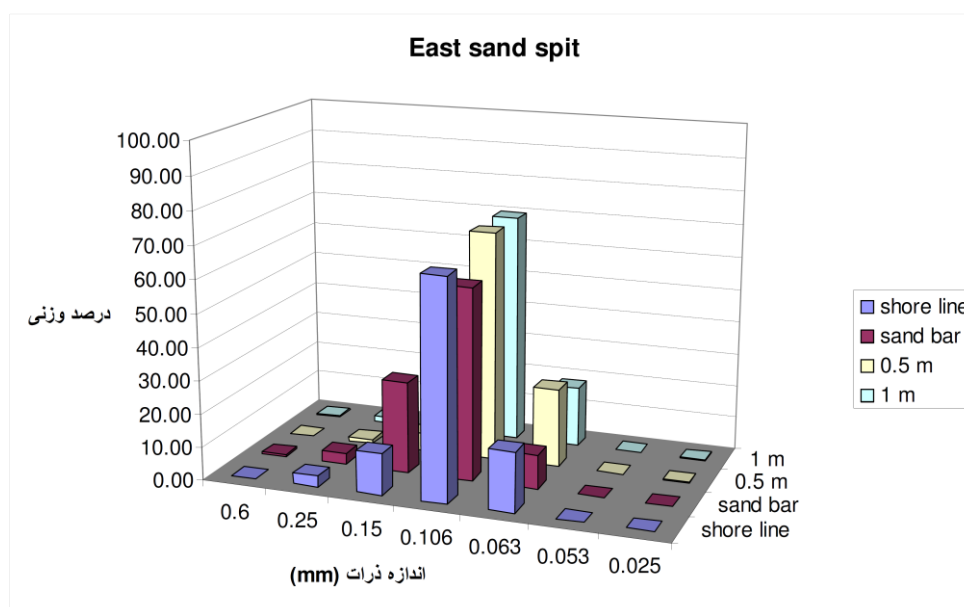
شماره زون	حداقل پیشروی آب (m)	حداکثر پیشروی آب (m)
۱	۱۰۰	۱۵۰۰
۲	۴۰۰	۱۰۰۰
۳	۱۰۰	۶۰۰
۴	۰	۴۵۰
۵	۷۰	۱۶۰
۶	۶۰	۱۳۰
۷	۱۰	۷۰
۸	۱۰	۸۰
۹	۱۰	۷۰
۱۰	۲۰	۱۱۰

۵-۱-۱. نتایج ساحل شرقی

مشخصات عمومی منطقه: منطقه کم عمق ساحلی با توپوگرافی تقریباً مسطح/برابری نسبی شیب خشکی با ساحل/باند شکست امواج بسیار دور از ساحل/آبراهه های ناشی از جریان های ساحلی /ریپل مارک های جریانی و موجی /تالاب های حاشیه ی /ریپل های جریانی ناشی از پیشروی آب دریا در مدخل ورودی کانال. این عوارض نشان دهنده ی امواج مرده یا امواج با انرژی پایین و حضور امواج کم دامنه در منطقه سواش تا خط ساحل است. تپه های ماسه ی در فاصله دوری از خط ساحلی در ناحیه پشت ساحل قرار دارند که این نشان دهنده ی کم انرژی بودن و کم شیب بودن منطقه و حساسیت بالا نسبت به نوسانات آب دریای خزر است. جدول (۵-۲) در سواحل شرقی به علت توپوگرافی مسطح آن باند شکست موج به فاصله ۳۰۰ تا ۶۰۰ متری از ساحل رفته است. موج در فاصله دوری از ساحل انرژی خود را ازدست داده و از طرفی رسوبات این قسمت از ساحل بسیار ریزدانه بوده است. شکل (۵-۴) موج قدرت حمل رسوبات را ندارد و یک محیط ساکن و رسوب گذار محیا شده است. رفتار این بخش از ساحل به شدت نزدیک به سواحل پراکنشی است. کاسپ های عظیم و کاسپ ها در این قسمت از ساحل دیده نمی شود. شیب ساحل در حدود ۰,۴ است. تصاویر تهیه شده در قسمت شرقی زبانه میانکاله (۵-۳)

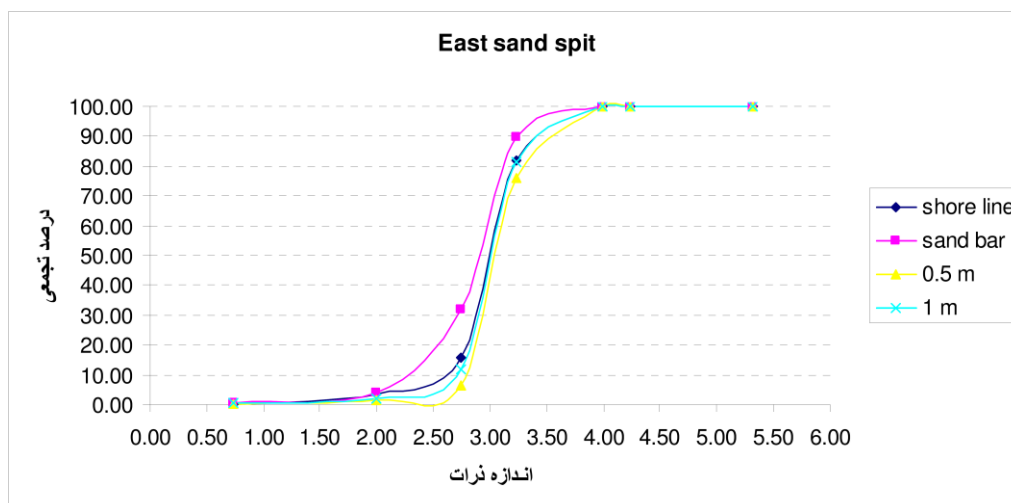


شکل (۳-۵) : تصاویر مربوط به سواحل شرقی



شکل (۴-۵) : درصد وزنی ساحل شرقی میانکاله

در تمام ذرات d_{50} برابر ۰,۱۰۶ میلی متر است که در طبقه بندی جزء ذرات ماسه ای ریز قرار دارد. در پشته ماسه ذرات با اندازه ی بزرگ تری دیده می شود که می توان با اثر جریان های برگشتی آن را توضیح داد. شکل (۴-۵)



شکل (۵-۵): منحنی تجمعی شرق زبانه ماسه‌ی میانکاله

در منحنی تجمعی هر چه شیب خط بیشتر باشد میزان انحراف معیار کمتر و جور شدگی بهتر است. جور شدگی بهتر نشان‌دهنده‌ی غالب بودن هیدرودینامیک متداوم جریان‌های ساحلی در محیط است که باعث ایجاد نظم دانه‌بندی در رسوبات می‌شود. شکل (۵-۵)

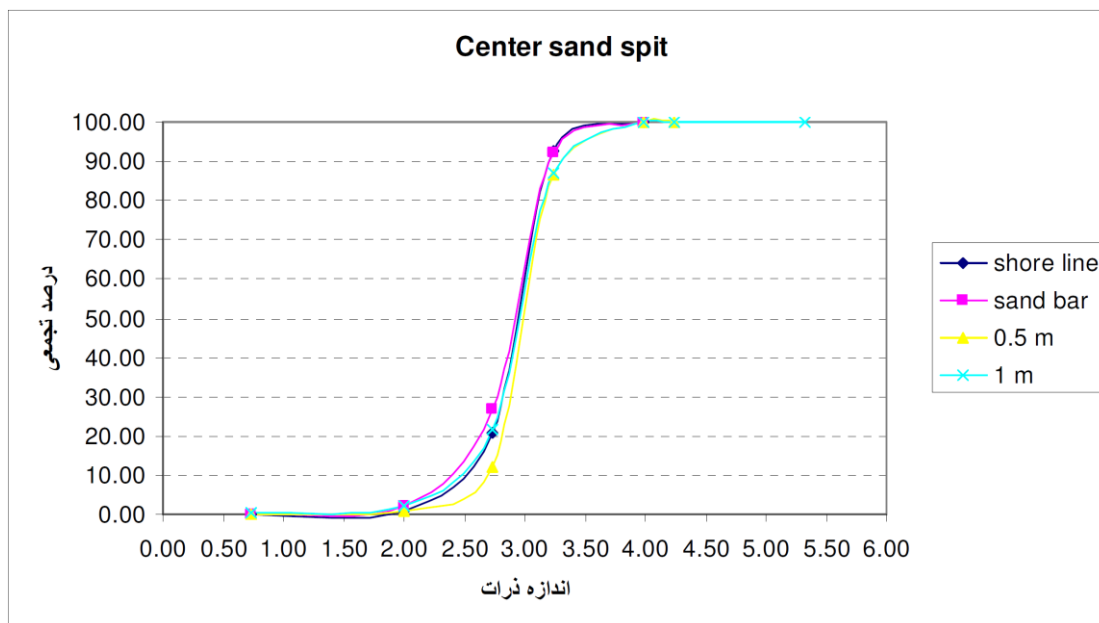
۵-۱-۲. نتایج ساحل مرکزی

عوارض مورفودینامیکی: در این بخش نیز شیب عمومی منطقه ناچیز است. با توجه به اندازه‌گیری‌ها در حدود ۰,۷ قرار دارد. در قسمت پشت به ساحل شیب منفی دیده می‌شود. تپه‌های ماسه‌ی در این منطقه نیز در فاصله‌ی دور از ساحل دیده می‌شوند. باند شکست امواج پهن بوده و خط شکست بافاصله‌ی زیاد از ساحل است. اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهنده فاصله ۱۰۰ تا ۳۵۰ متری از خط ساحل است. عارضه مورفودینامیکی تالاب بافاصله زیادی از ساحل قرار دارد و در منطقه رپیل مارک‌های جریانی و موجی دیده می‌شود که نشان‌دهنده یک منطقه آرام است. به علت کم شیب بودن منطقه امواج در فاصله نسبتاً دوری از ساحل بستر را احساس کرده و می‌شکند و انرژی موج در فاصله‌ی نسبتاً دوری از 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. در این گونه سواحل رسوبات درشت‌دانه تمایل به ته‌نشینی و رسوبات ریزدانه به‌اندازه ناچیزی انتقال می‌یابند. کم‌عمق بودن آب دریا در منطقه نزدیک به ساحل باعث ایجاد ریزموج‌های جریانی با فرکانس‌های متفاوت می‌شود. در ساحل شیاریهای فرسایشی حضور دارند که وجود آن‌ها به علت حضور چشم‌گیر رسوبات ریزدانه در حجم رسوبات ماسه‌ی ساحل است. همچنین در اثر برگشت جریان‌های ساحل در ناحیه‌ی صورت ساحل و انباشت

رسوبات در طرفین این شیارها و شکل‌گیری عوارض برآمده و فرورفته^۱ ماسه‌ی بر روی پهنه خشک ساحلی مشاهده می‌شود. با توجه به توزیع نرمال رسوبات در این بخش جور شدگی بسیار خوب ذرات در ساحل و عمق ۱ متری مشاهده می‌شود. جور شدگی در پشته ماسه‌ی خوب است ولی پشته ماسه‌ی تمایل به ذرات درشت‌دانه تر دارد. در منحنی توزیع نرمال هرچه منحنی کشیده‌تر باشد جور شدگی بهتر است.

در منحنی تجمعی هر قدر شیب‌خط بیشتر باشد میزان انحراف معیار کمتر و جور شدگی بیشتر است. در همه نقاط این قسمت میزان انحراف معیار کم و جور شدگی بسیار خوب است.

مرکز زبانه میانکاله نیز خصوصیات شرق زبانه و شباهت بسیاری به سواحل پراکنشی را دارد. امواج ضعیفی به ساحل آمده که تنها توانایی جا به‌جای رسوبات ریزدانه را دارد.



شکل (۵-۶): منحنی تجمعی مرکز زبانه ماسه‌ی میانکاله

۵-۱-۳. نتایج ساحل غربی

این منطقه در نزدیکی بازوی اسکله‌ی امیرآباد قرار دارد و تحت تأثیر اسکله امیرآباد است. غرب زبانه ماسه‌ی از نظر شیب توپوگرافی نسبتاً پرشیب‌تر از ۲ منطقه قبل بوده و از این رو خط شکست امواج به ساحل نزدیک‌تر است. تخلیه انرژی موج در نزدیک ساحل صورت می‌گیرد، از این رو جریان‌های طولی و عرضی در منطقه با شدت بیشتری صورت می‌گیرد. شیب از صورت ساحل به سمت پشت ساحل کم

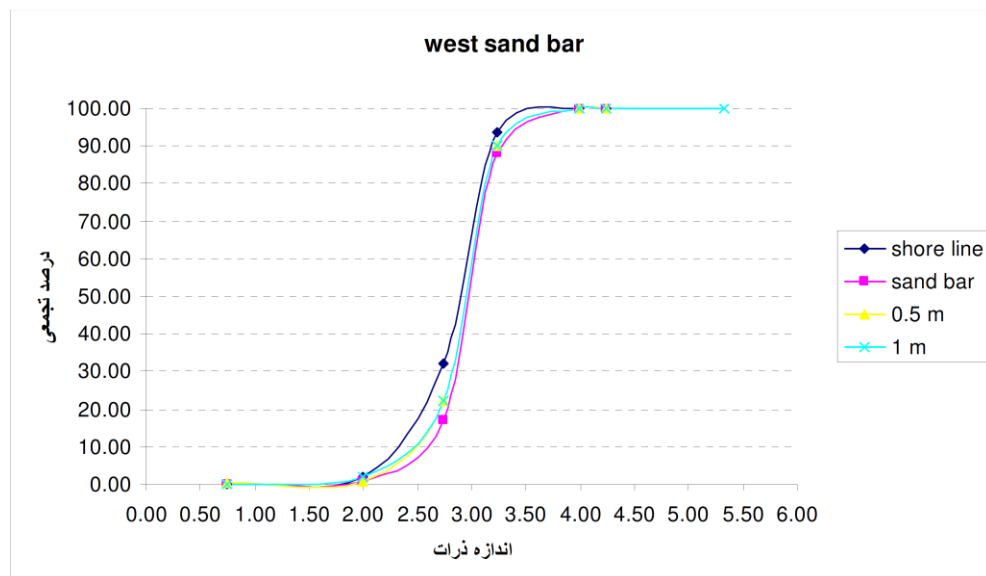
¹ -relief & deposit

می‌شود و به‌طور عمومی منطقه از شیب کمی پیروی می‌کند که نشان‌دهنده شرایط متعادل و یا ثبات نیروهای هیدرودینامیکی حاصل از جریان‌های ساحل در این قسمت است. در این قسمت اولین پشته ماسه‌ی در عمق ۰,۵ متری است.

عوارض مورفودینامیکی: در این منطقه دو صورت موج‌های سینوسی با دامنه بلند و دامنه کوتاه نمایان است که بیان‌کننده حضور موج‌های کم دامنه در بین موج‌های دامنه بلند منطقه است و مؤید افزایش شدت تأثیر جریان‌های ساحلی در این منطقه نسبت به مناطق شرقی است. شکل (۷-۵)

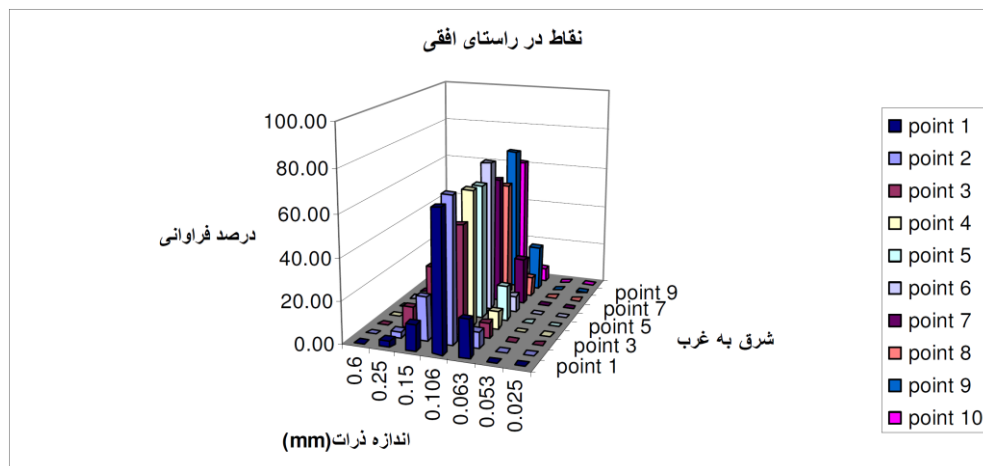


شکل (۷-۵): تصاویر مربوط به سواحل غربی میانکاله



شکل (۸-۵): منحنی تجمعی غرب زبانه ماسه‌ی میانکاله

جهت بررسی اندازه دانه‌بندی موازی خط ساحل ۱۰ نقطه برداشت انجام شده که در تقسیم‌بندی بر اساس قطر ذرات و نوع ذرات نشان‌دهنده‌ی ذرات ماسه‌ی ریزدانه است و تمایل ذرات از غرب به شرق به سمت ذرات ریز است. شکل (۵-۹)



شکل (۵-۹): هیستوگرام نقاط موازی زبانه ماسه‌ی

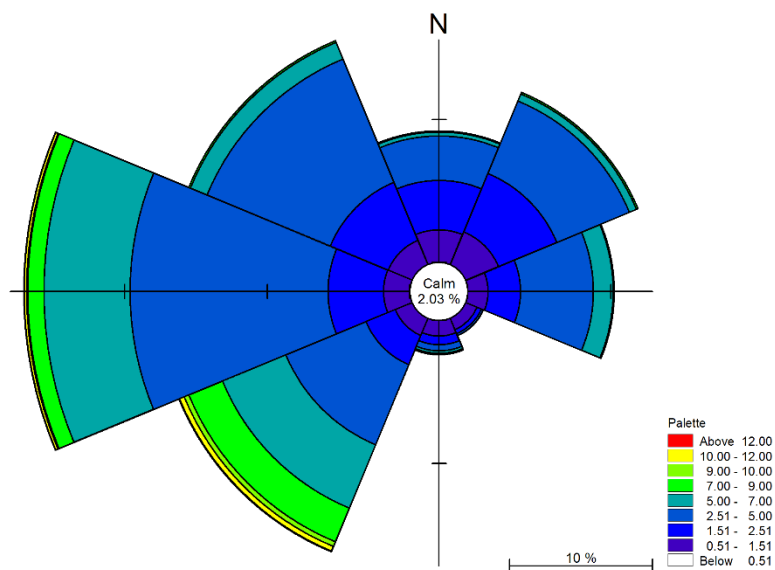
۵-۲- نتایج دسته‌بندی خط ساحلی میانکاله

با توجه به این تقسیم‌بندی نتیجه می‌شود که سواحل میانکاله، (از بندر امیرآباد تا دهانه خلیج گرگان) به علت شیب توپوگرافی از نوع سواحل انعکاسی نیست. در قسمت غربی زبانه ماسه‌ی به علت شیب توپوگرافی بیشتر نسبت به شرق، شرایطی ایجاد کرده که باند شکست کمتر از ۱۰۰ متر شده و تعداد شکست موج در ناحیه شکست کمتر از شرق و مرکز ساحل میانکاله است و از نظر ظاهری به سواحل تعادلی شباهت دارد. از غرب به شرق حساسیت ساحل به نوسانات تراز آب دریای خزر افزایش می‌یابد. قسمت شرقی سواحل میانکاله به علت شیب توپوگرافی مسطح، با باند شکستی بیش از ۳۰۰ متر، تعداد شکست موج در ناحیه شکست بیش از ۳ بار بوده و شکل ظاهری این سواحل با سواحل پراکنشی مطابقت دارد؛ و هرچه از شرق به سمت غرب برویم از تسلط سواحل پراکنشی کاسته و به قدرت سواحل میانه افزوده می‌شود. ولی به‌طور عام کل سواحل میانکاله خاصیت سواحل پراکنشی را دارا هستند. همان‌طور که ملاحظه گردید سواحل از نظر رژیم امواج و مورفودینامیک غالب به سه دسته یادشده طبقه‌بندی می‌شود. اصولاً وقتی انرژی امواج افزایش می‌یابد یک تغییر قابل پیش‌بینی در مشخصه‌های مورفودینامیکی و چینه‌بندی ساحلی ایجاد می‌شود.

به‌طور کلی در سواحلی که انرژی موج بالاست انتظار فرسایش و افزایش جریان‌های طولی را داریم. در این سواحل فاصله خط شکست موج به ساحل نزدیک‌تر، ارتفاع امواج بالاتر انتقال طولی رسوبات بیشتر است. در سواحل با انرژی کم به علت ارتفاع پایین امواج 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 انرژی امواج فعال‌تر بود و قادر به حمل رسوبات در جهت جریان طولی ساحل (از غرب به شرق) است و هر چه به سمت شرق رفته از انرژی امواج کاسته می‌شود و جریان‌های ساحلی ضعیف‌تر شده، از این‌رو 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. هر چه از غرب به سمت شرق رفته از قدرت جریان طولی ساحل کاسته می‌شود. در قسمت شرقی و در نزدیک به دهانه خلیج گرگان انتقال رسوب توسط جریان‌های ساحلی به حداقل خود می‌رسد. به‌طور کلی می‌توان منطقه غربی مشرف به بندر امیرآباد را منبع رسوبی و منطقه شرقی زبانه ماسه‌ای میانکاله را محل تخلیه رسوبی دانست. نتیجه دیگر در این پژوهش: به علت برابری نسبی شیب در خشکی و دریا در قسمت شرقی زبانه ماسه‌ای علا رقم تأثیرپذیری شدید منطقه در مقابل نوسانات آب دریا، ولی این شیب یکدست باعث تغییر نکردن قدرت جریان طولی در ساحل می‌شود.

۵-۳- یافته‌های مدل سازی عددی (ساحل میانکاله)

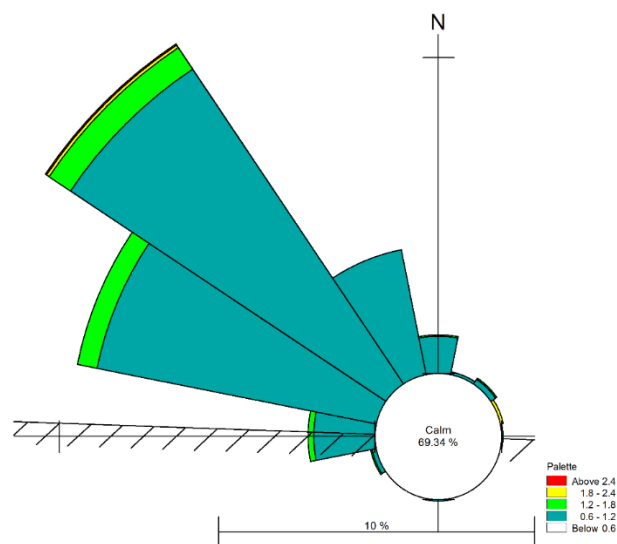
گل باد و گل موج منطقه



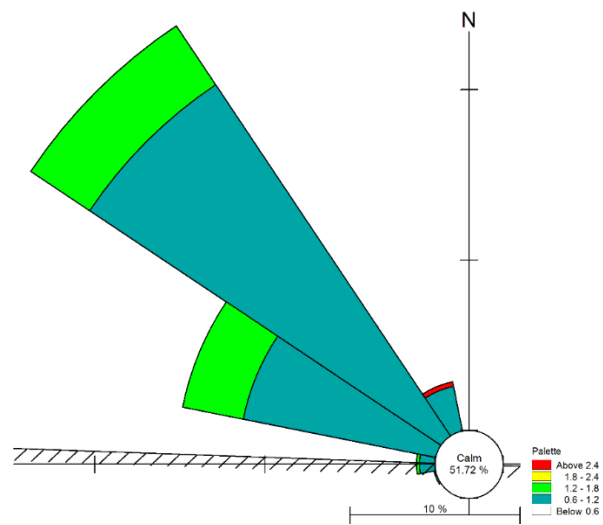
شکل (۵-۱۰): گلباد یک ساله ایستگاه سینوپتیک

با توجه به تعریف باد آرام، باد آرام بادی است که سرعت کمتر از یک نات یا ۰٫۵۱ متر بر ثانیه داشته باشد. با توجه به گل باد منطقه نتیجه می شود که ۲٫۰۳٪ از باد ها در تشکیل موج دخالتی ندارند بیشتر باد های که در منطقه در تشکیل موج دخالت می کنند از غرب و جنوب غربی و همچنین از سمت شرق و شمال شرقی می باشند. شکل (۵-۱۰)

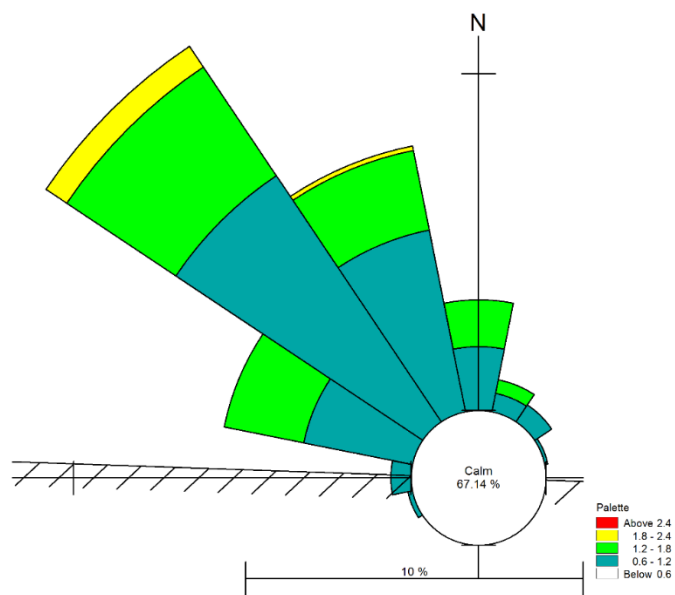
گل موج ها برای فصل جدا حساب شده اند.



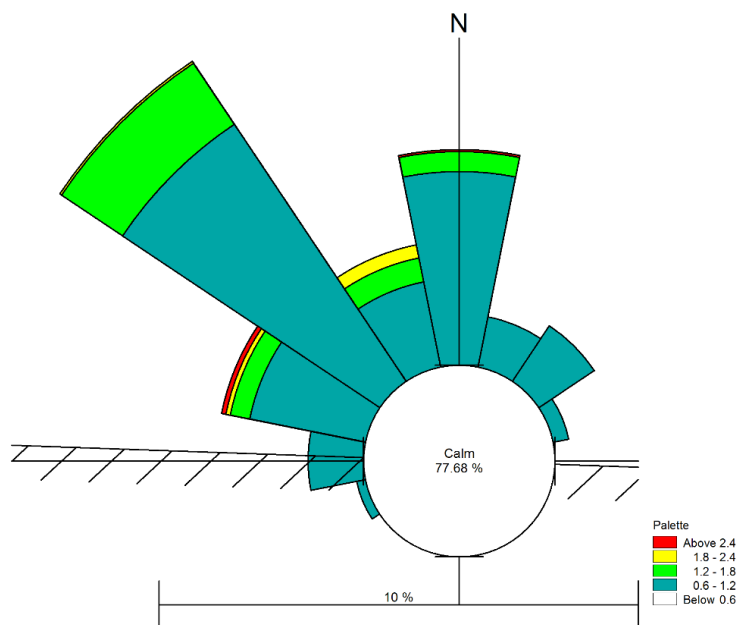
شکل (۵-۱۱): گل موج بهار



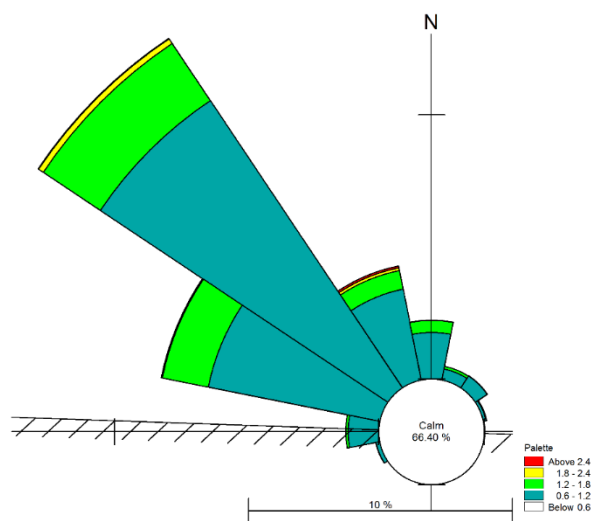
شکل (۵-۱۲): گل موج تابستان



شکل (۵-۱۳): گل موج پاییز



شکل (۵-۱۴): گل موج زمستان



شکل (۵-۱۵): گل موج سالانه

با توجه به گل موج های فصلی منطقه مطالعاتی درصد رخداد امواج و جهت آنها در فصول سال مشابه هم بوده است. شکل (۵-۱۱) تا (۵-۱۵) جهت ورود امواج در فصول سال، بجز در فصل زمستان تغییر چشم گیری ندارد. امواج از سمت شمال غربی به سمت ساحل روانه شده درصد وقوع امواج در جدول (۵-۳) آورده شده است.

جدول (۳-۵) : درصد وقوع امواج در هر فصل

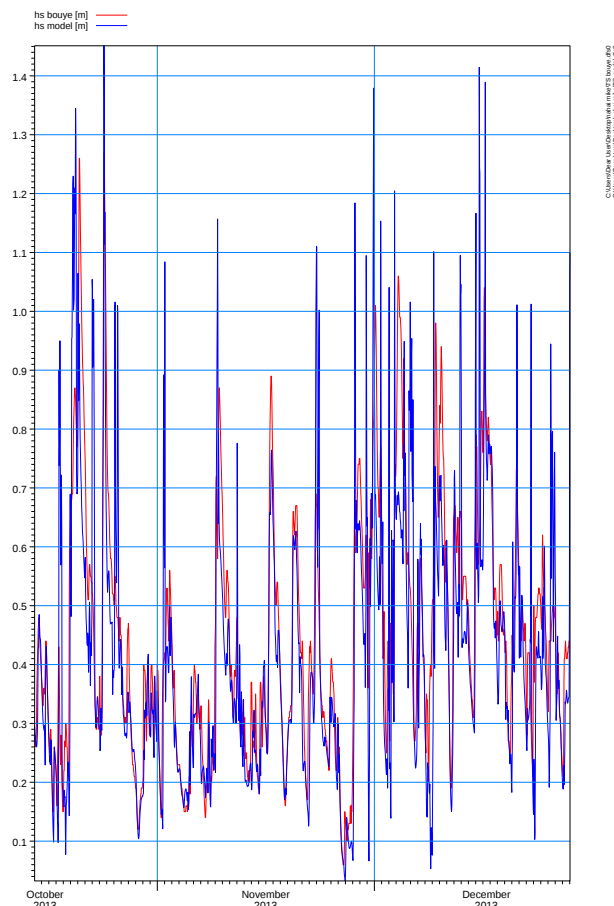
فصل	زیر ۰,۶ متر	بین ۰,۶ تا ۱,۲ متر	بین ۱,۲ تا ۱,۸ متر	بیش از ۱,۸ متر
بهار	٪۶۹	٪۲۶	٪۴	٪۱
تابستان	٪۵۱	٪۳۷	٪۱۰	٪۲
پاییز	٪۶۷	٪۱۷	٪۱۳	٪۳
زمستان	٪۷۸	٪۱۵	٪۶	٪۱

۵-۳-۱. کالیبره و صحت سنجی

برای کالیبره کردن مدل، از مدل در مختصات بویه امیر آباد برای یک سال خروجی گرفته شده و ارتفاع شاخص امواج برای یک سال با خروجی مدل در همان مختصات مقایسه شده است. اعداد جدول (۴-۵) برای کالیبره شدن مدل بدست آمده است. شکل (۵-۱۶)

جدول (۴-۵) : اندازه ضرائب کالیبراسیون مدل

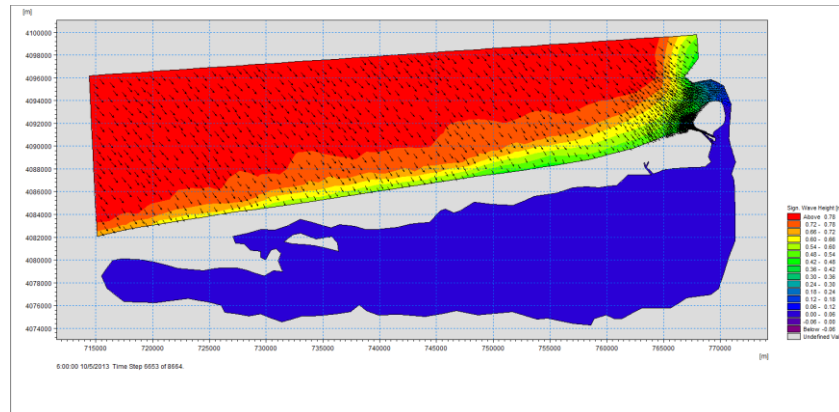
(K_N) ضریب زبری	۰,۰۰۱
(γ) شکست موج	۰,۸
سفیدک راس موج	۲
ضریب پراکنش	۰,۸



شکل (۵-۱۶): اندازه ارتفاع موج بویه و مدل

۵-۳-۲. خروجی ها

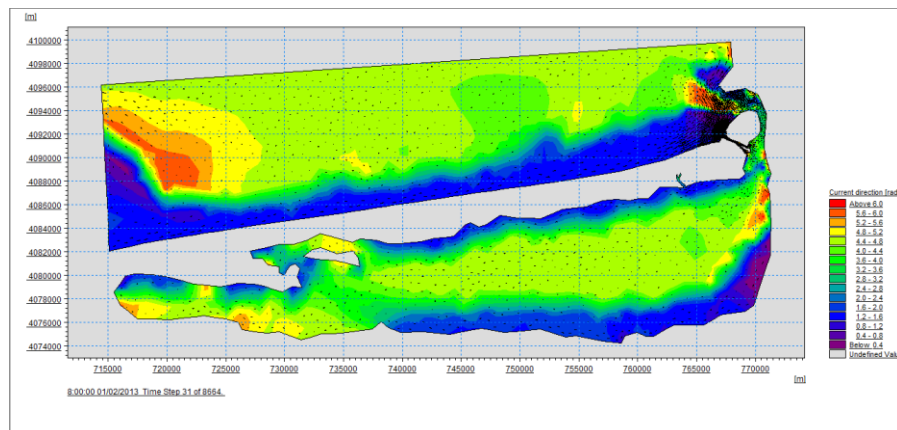
با در نظر گرفتن این مطلب که شبیه سازی تک تک امواج بر آمده از دریا به سمت ساحل، کاری بسیار زمانبر و در عین حال خالی از اشکال نخواهد بود، بنابراین تلاش شده امواج غالبی با ویژگی بارز در ارتفاع و پریود موج که نماینده مناسب بیشتر امواج بر آمده از باد در محدوده مطالعاتی باشد، برای مدل سازی انتخاب شود. پارامترهای خروجی مدل طیفی امواج، ویژگی های امواج را به صورت شاخصه های ارتفاع موج مشخصه، پریود موج پیک، پریود میانگین موج، جهت موج پیک، جهت میانگین موج و را نشان می دهد. مدل سازی طیفی امواج میانگین جهت امواج از غرب به شرق را نشان می دهد. ارتفاع موج مشخصه در محدوده خلیج گرگان با نزدیک شدن به خط ساحلی یک باره کاهش می یابد. روند کاهش ارتفاع امواج بعد از شکست موج در دهانه آشوراده و چپقلی ادامه داشته و میانگین ارتفاع امواج به زیر ۰,۳ متر می رسد. شکل (۵-۱۷)



شکل (۵-۱۷) : ارتفاع و جهت امواج در محدود خلیج گرگان

امواج منطقه مورد پژوهش تحت تاثیر جهت باد غالب بوده و در فصل زمستان بیشترین تغییر در جهت امواج تابیده شده به ساحل، مشاهده می شود.

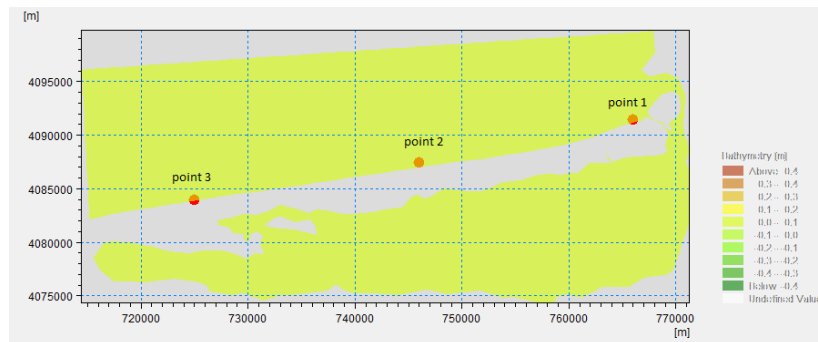
میانگین جهت جریان محدوده خلیج گرگان در بیرون خلیج و در خط ساحلی از سمت غرب به شرق بوده و با دور شدن از خط ساحلی جهت جریان نیز دچار تغییر جهت می شود. در درون خلیج میانگین جهت جریان از شرق به غرب و به صورت پادساعتگرد است که در شکل (۵-۱۸) مشاهده می شود.



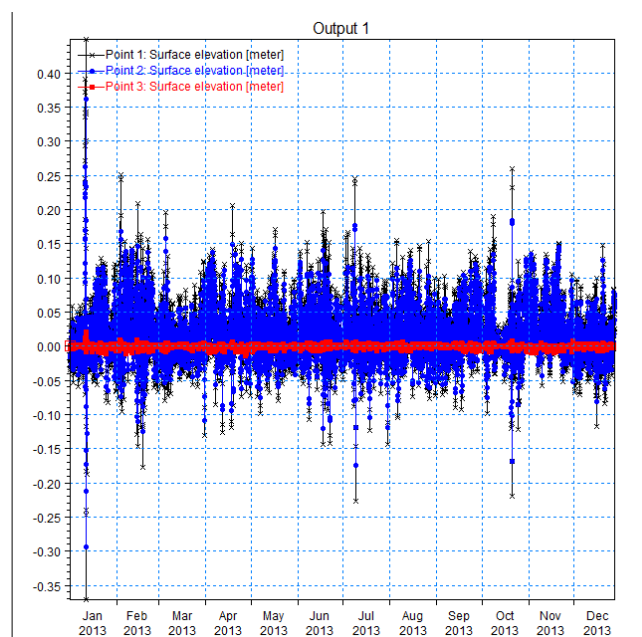
شکل (۵-۱۸) : جهت جریان آب در بیرون و درون خلیج

برای اندازه گیری میزان تغییرات تراز سطح آب، با توجه به شکل (۵-۱۹)، سه نقطه به عنوان نماینده خروجی گرفته شده است. با توجه به شکل (۵-۲۰) کمترین میزان تغییرات سطح آب مربوط غرب زبانه میانکاله و بیشترین اندازه مربوط به شرق زبانه می باشد. حداکثر ارتفاع حاصل از مد طوفان مربوط به سرعت باد های بین ۱۰ تا ۱۳ متر بر ثانیه بوده که موجب بالا آمدن آب به بیش از ۳۰ تا

۴۰ سانتی متر در محدوده شرق زبانه و دهانه کانال آشوراده شده است و ارتفاع حاصل از این مد طوفان در ساحل مرکزی میانکاله در حدود ۱۵ سانتی متر و در ساحل غربی این عدد به کمتر از ۱ سانتی متر کاهش می یابد. وقتی بیرون دهانه خلیج گرگان مد طوفانی به اندازه ۴۰ سانتی متر اتفاق می افتد، سطح آب خلیج گرگان را به اندازه ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر بالا می آورد.



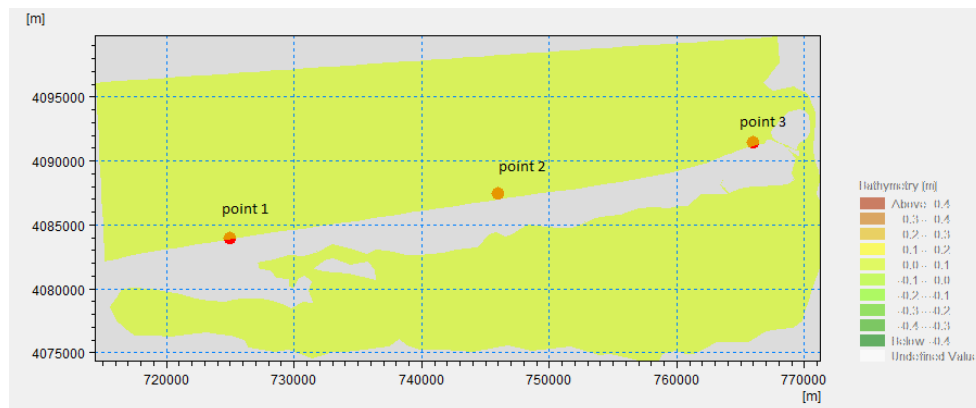
شکل (۵-۱۹): نقاط انتخابی برای خروجی از تغییرات سطح آب



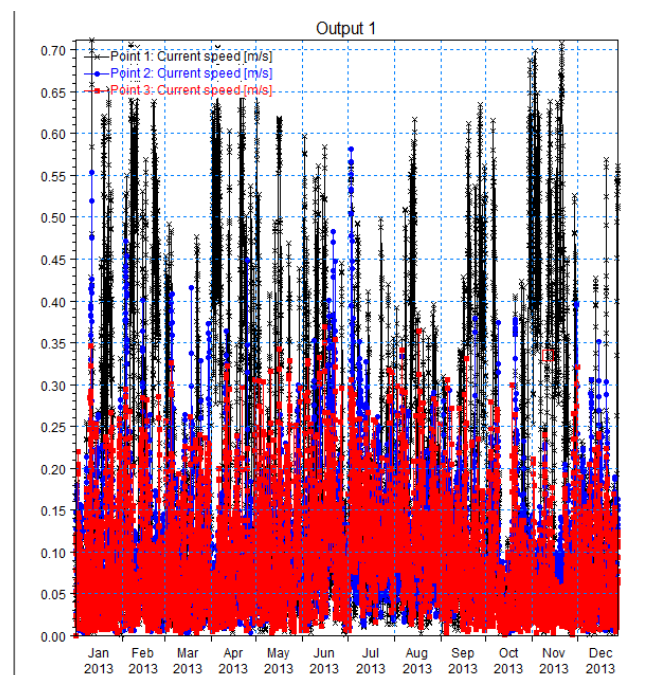
شکل (۵-۲۰): خروجی اندازه تغییرات سطح آب

برای درک کاهش یا افزایش سرعت جریان در طول ساحل میانکاله از غرب به شرق از سه نقطه مطابق شکل (۵-۲۱) خروجی گرفته شده است. نتایج، با توجه به شکل (۵-۲۲) کاهش سرعت

جریان در نزدیک خط ساحلی میانکاله از سمت غرب (۰ تا ۰,۶۵ متر بر ثانیه) به سمت شرق (۰ تا ۰,۳ متر بر ثانیه) را نشان می دهد. که با نتایج روش تحلیلی مطابقت داشته است.



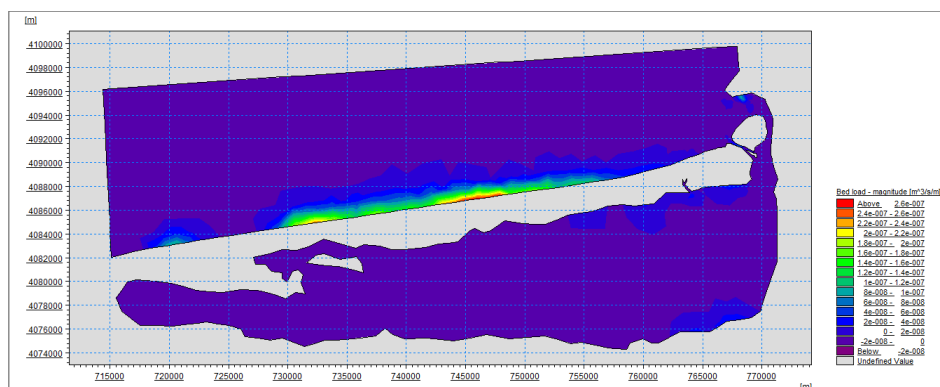
شکل (۵-۲۱): نقاط انتخابی برای مقایسه سرعت جریان در طول ساحل میانکاله



شکل (۵-۲۲): اندازه سرعت جریان در نقاط انتخابی شکل (۵-۲۱)

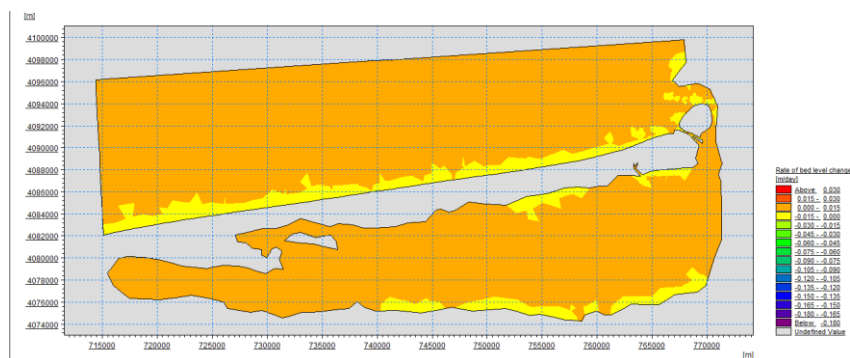
در ادامه با استفاده از مدل طیفی امواج و مدل هیدرودینامیک که ورودی مدل انتقال ماسه شمرده می شود، به شبیه سازی انتقال ماسه در آب های کم عمق خط ساحل میانکاله و دهانه خلیج گرگان پرداخته شد. مدل سازی انتقال ماسه، تغییرات قابل توجهی را در بار بستر آبهای نزدیک خط ساحلی نشان می دهد. در مناطق عمیق دریای، تغییر بار بستر چندان زیاد نبوده و کمابیش بدون تغییر مثبت

یا منفی باقی می ماند، اما در نزدیکی خط ساحلی، برداشت و انتقال ماسه مقادیر بیشتری به خود اختصاص می دهد. شکل (۵-۲۳)



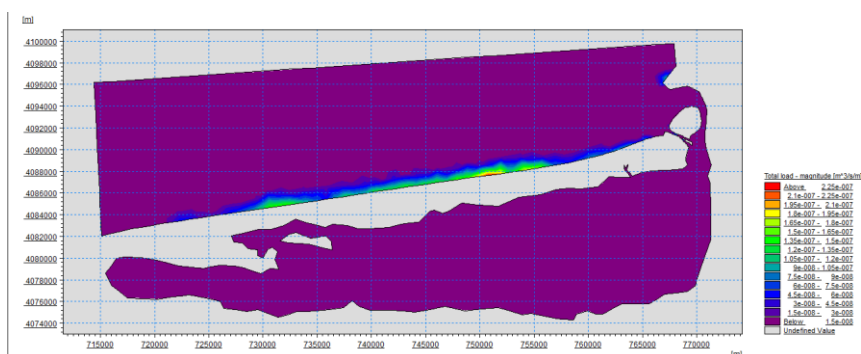
شکل (۵-۲۳): تغییر بار بستر در منطقه مطالعاتی

نرخ تغییرات بستر دریا بر حسب متر در روز حاکی از برداشت ماسه در آب های کم عمق ساحلی به وسیله ی جریان های ساحلی ، امواج و رودخانه است. این نرخ در آب های عمیق به سمت اعداد مثبت تمایل دارد که حاکی از انباشت ماسه در جهت عمود بر خط ساحلی در آب های عمیق است. شکل (۵-۲۴)



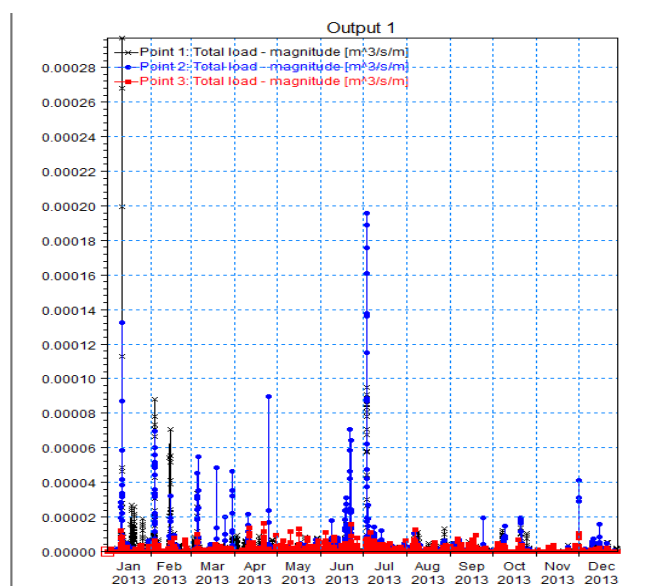
شکل (۵-۲۴): نرخ تغییرات بستر دریا

شبیه سازی نرخ کلی انتقالی ماسه در ساحل، نشان دهنده این است که تغییرات بستر دریا در محدوده آبهای کم عمق ساحلی بیشتر بوده و با تغییر نیمرخ بستر، حتی در مقیاس روزانه همراه است. تغییرات مثبت انتقال رسوب بیشتر در ساحل میانکاله بوده که نشان دهنده تحول و تکامل زبانه ماسه ی در جهت غرب به شرق است. شکل (۵-۲۵)



شکل (۵-۲۵): نرخ کلی انتقال ماسه

برای ساحل میانکاله ۳ نقطه بر اساس شکل (۵-۲۱) برای اندازه نرخ کلی انتقال ماسه خروجی گرفته شده که نتایج خروجی بیانگر این است که اندازه نرخ کلی انتقال در کل ساحل میانکاله تقریباً از غرب به شرق کاهش داشته ولی این عدد تفاوت چندانی نداشته و می توان گفت تقریباً با یک نرخ تقریباً ثابت در طول ساحل میانکاله رسوبات انتقال می یابد. به طور میانگین نرخ انتقال رسوب در ساحل میانکاله کمتر ۰,۰۰۰۰۲ متر مکعب بر ثانیه در طول متر است. شکل (۵-۲۶)



شکل (۵-۲۶): خروجی اندازه کلی نرخ انتقال ماسه در نقاط مشخص شده در شکل (۵-۲۱)

۵-۴- تحلیل عملکرد دهانه

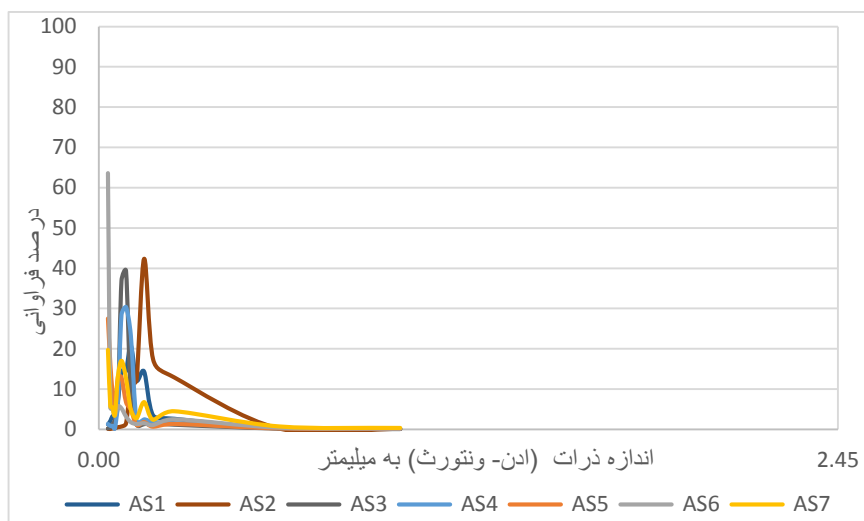
جهت بررسی رسوبات در کانال ورودی، ۷ نمونه برداشت شد. مکان‌های نمونه‌برداری در شکل (۵-۲۷) مشخص است. شکل (۵-۲۸) نمونه‌برداری در کانال آشوراده را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۲۷): مکان‌های پیمایش و نمونه‌برداری در کانال‌های آشوراده و چپقلی



شکل (۵-۲۸): نمونه‌برداری درون کانال آشوراده



شکل (۵-۲۹): درصد فراوانی اندازه ذرات برای هر نمونه

همان‌طور که در شکل (۵-۲۷) مشخص است کانال اصلی توسط یک حجم رسوبی در وسط خود به دو کانال مستقل تقسیم شده است؛ و نمونه‌برداری در درون این دو کانال صورت پذیرفت. کانال مشرف به جزیره آشوراده که معروف به کانال آشوراده است در قسمت غرب کانال و در سوی دیگر در سمت شرق، کانال چپ‌قلی قرار دارد. نمونه‌های برداشت شده از کانال آشوراده و چپ‌قلی نشان دهنده این است که کانال آشوراده از نوع ماسه‌ی بسیار ریزدانه و هر چه از مرکز کانال آشوراده به سمت حاشیه کانال می‌رویم رسوبات به مواد آلی آغشته شده و هر چه از کانال به سمت دریا می‌رویم درصد مواد ماسه‌ی تحت تاثیر آورد دریا افزایش یافته و در کانال چپ‌قلی درصد مواد آلی بسیار افزایش یافته است. اندازه ذرات رسوبی در کانال آشوراده از ۰٫۱۶۵ میلی متر در دهانه از سمت خلیج، به اندازه ذرات ۰٫۰۵۰۳ میلی متر در ابتدای دهانه در سمت دریا کاهش پیدا کرده است. شکل (۵-۲۹) (نتایج نمونه برداری در فایل پیوست) نتایج مشاهدات عوارض فیزیکی و دانه بندی حاکی از تحت تأثیر بودن این مناطق نسبت به نوسانات دریای خزر بوده، به نحوی که در زمان پس‌روی از زیرآب بیرون آمده و محیطی را برای رشد گیاهان مقاوم در برابر شوری را فراهم کرده و در دوران پیشروی دوباره به زیرآب رفته است. شکل (۵-۳۰) در حاشیه شرقی کانال آشوراده صدف‌های دو کفه‌ی بر روی ساحل آن دیده می‌شود که نشان‌دهنده این عامل است که این رسوبات ته‌نشین شده رسوباتی است که توسط آورد دریا صورت گرفته است. شکل (۵-۳۱)



شکل (۵-۳۰) : رسوبات آغشته به مواد آلی در حجم رسوبی درون کانال آشوراده



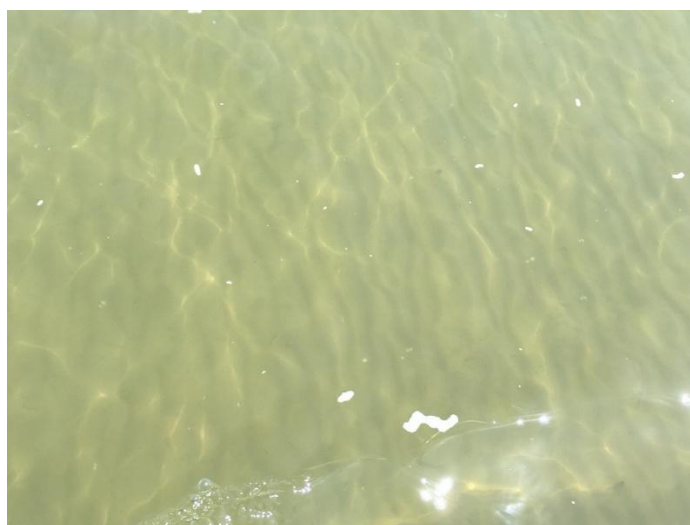
شکل (۵-۳۱) : وجود رسوبات ماسه‌ای به همراه صدف‌های دو کفه‌ای در حاشیه شرقی کانال آشوراده

بر روی حجم رسوبی واقع در وسط دهانه خلیج گرگان رسوب‌گذاری فعالی دیده نمی‌شود، به علت اینکه کاملاً با پوشش گیاهی تثبیت شده است و فقط در حاشیه کانال رسوبات ماسه‌ای می‌بینیم که متعلق به جریان‌های که از سمت ساحل هدایت می‌شوند است. شکل (۵-۳۲).



شکل (۵-۳۲): حجم رسوبی واقع در مرکز دهانه خلیج گرگان، تثبیت شده با پوشش گیاهی

در کف کانال آشوراده ریپل مارک‌های جریان‌ی دیده می‌شود که وجود این ریپل مارک‌ها نشان‌دهنده این است که موج مؤثری وارد دهانه خلیج نمی‌شود؛ و تنها جریان ضعیفی از سمت دریا به کانال جریان دارد که این جریان توانایی حمل رسوبات درشت‌دانه دریایی را ندارد، به همین علت است که رسوبات این قسمت از کانال بسیار ریزدانه است. شکل (۵-۳۳)



شکل (۵-۳۳): ریپل مارک جریان‌ی در ورودی کانال آشوراده

شواهد فیزیکی منطقه نشان‌دهنده این است که این حجم رسوبی واقع در وسط دهانه خلیج گرگان از گذشته بسیار دور شروع به شکل‌گیری کرده و ناشی از رسوب‌گذاری فعال زمان حال نیست. عمق ناکافی دهانه شرایطی را محیا کرده که محل خط شکست موج به بیرون از دهانه خلیج رفته و شکست موج و انتقال رسوب ناشی از شکست در درون دهانه تأثیری بسیار کمی بر جا دارد.

کانال چپقلی که در بخش شرقی دهانه و حجم رسوبی وسط دهانه قرار دارد، عمق کمتری نسبت به کانال آشوراده داشته و برای عبور قایق‌های صیادی نامناسب است. این بخش حاوی مواد آلی، ترکیبی از رسوبات ماسه‌ی و سیلتی ریز دانه است که شرایط مناسبی را برای رشد و نمو جلبک‌ها فراهم کرده است. شکل (۵-۳۴)



شکل (۵-۳۴) : رشد جلبک‌ها در کانال چپقلی، مملو از مواد آلی و ترکیبی از رسوبات ماسه‌ی و سیلتی

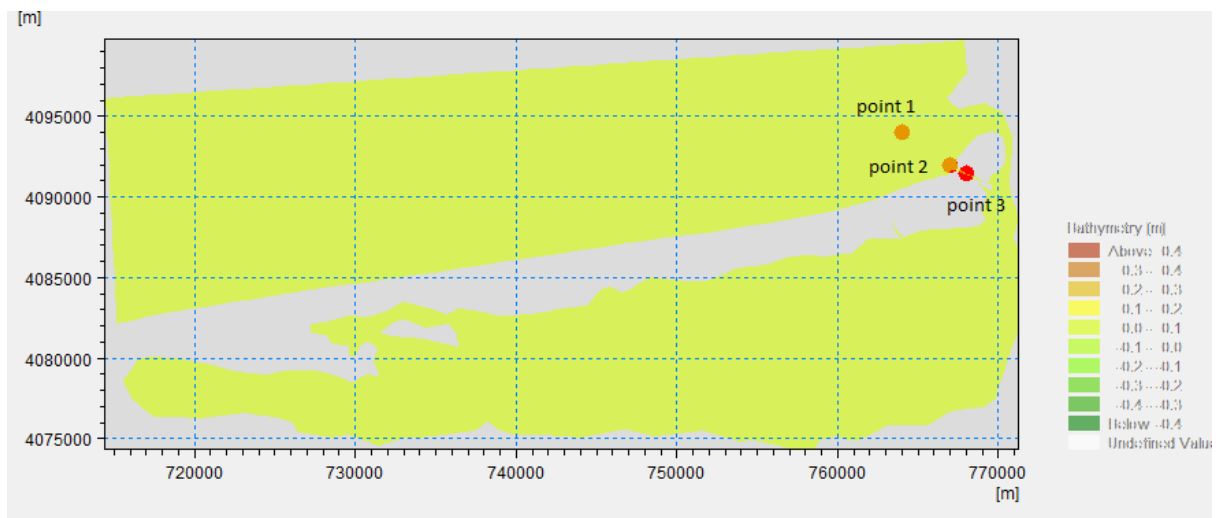
رسوبات این بخش از دهانه خلیج تحت تأثیر جریان حاصل از رودخانه گرگانرود است؛ و به علت عمق کم و آورد مواد رودخانه‌ی شرایط برای رشد جلبک‌ها فراهم کرده است. رسوبات کانال چپقلی بسیار ریزدانه و اندازه ذرات رسوبی بین ۰,۰۳ تا ۰,۰۷۶ میلی متر بوده و حاوی مواد آلی آورده شده توسط گرگانرود می باشد.

با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از نوسانات دریای خزر و نحوه پاسخگویی غرب دهانه خلیج گرگان نسبت به هیدرودینامیک منطقه و شواهد فیزیکی موجود در دهانه خلیج گرگان این نتیجه استنباط می‌گردد که رسوبات انباشته شده در دهانه خلیج گرگان منشأ دریایی داشته ولی این رسوبات تحت اثر نوسانات سطح تراز آب دریای خزر برجای مانده‌اند. جریان‌ات طولی یا رانه ساحلی در بالادست از غرب به شرق قدرت خود را ازدست داده و توانایی حمل مواد رسوبی را به دهانه کانال ندارند و تنها می‌توانند رسوبات بسیار ریزدانه را تا نزدیک دهانه کانال جابه‌جا نمایند. وجود ریپل مارک جریانی در دهانه کانال آشوراده گواه بر این مدعا است که کانال آشوراده تنها تحت تأثیر جریان میرا شده حاصل از شکست موج در بیرون کانال است و توانایی حمل بالای رسوبات به درون کانال را ندارد.

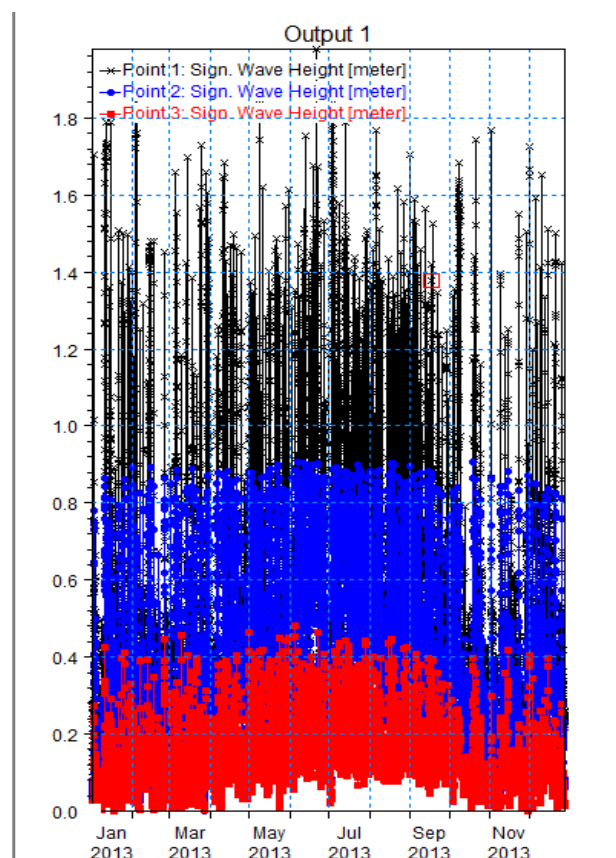
۵-۴-۱. نتایج مدل سازی در دهانه

برای نمایش اندازه کاهش امواج در دهانه کانال آشوراده، از مدل برای سه نقطه ذیل خروجی گرفته شده است که کاهش ۸۰٪ از ارتفاع امواج در دهانه را نشان می دهد. امواج در ناحیه دور از ساحل در

منطقه شرقی شکسته و زمانی که به دهانه خلیج رسیده کاملاً میرا می شوند. شکل (۳۵-۵) و شکل (۳۶-۵)



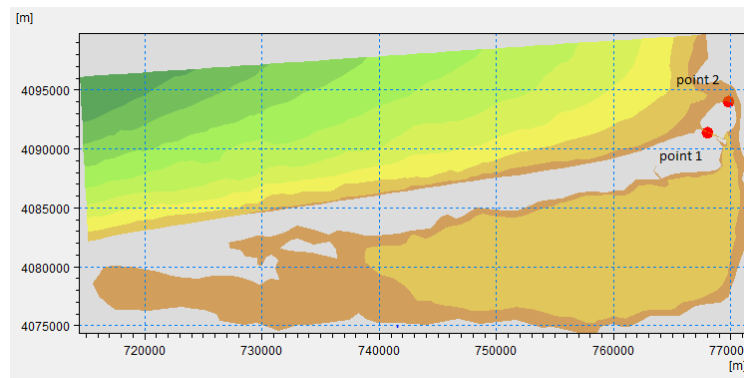
شکل (۳۵-۵): نقاط انتخابی برای خروجی ارتفاع امواج



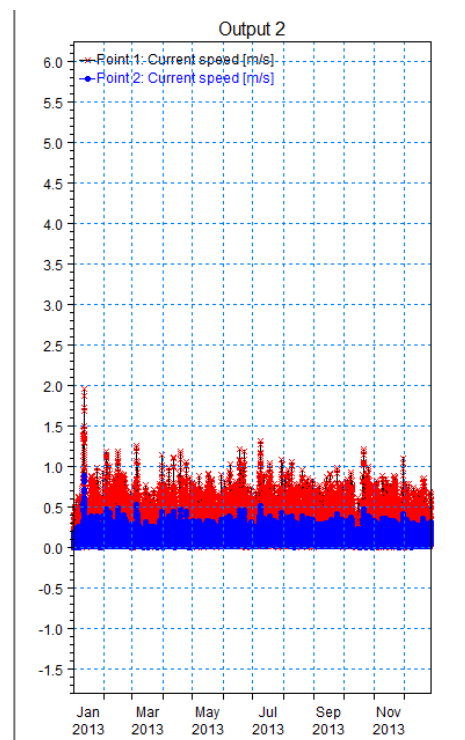
شکل (۳۶-۵): اندازه ارتفاع امواج برای نقاط انتخابی در شکل (۳۵-۵)

برای مقایسه سرعت جریان در دو کانال آشوراده و چپقلی از مدل خروجی سرعت جریان برای نقاط انتخابی برداشت شده است. شکل (۳۷-۵) نتایج بیانگر این است که سرعت جریان در کانال آشوراده

تقریباً دو برابر کانال چپقلی بوده و علت آن را می توان عرض کمتر کانال و اصطحاک کمتر بستر کانال و این که کانال چپقلی در تماس مستقیم امواج دریا قرار ندارد. شکل (۵-۳۸)



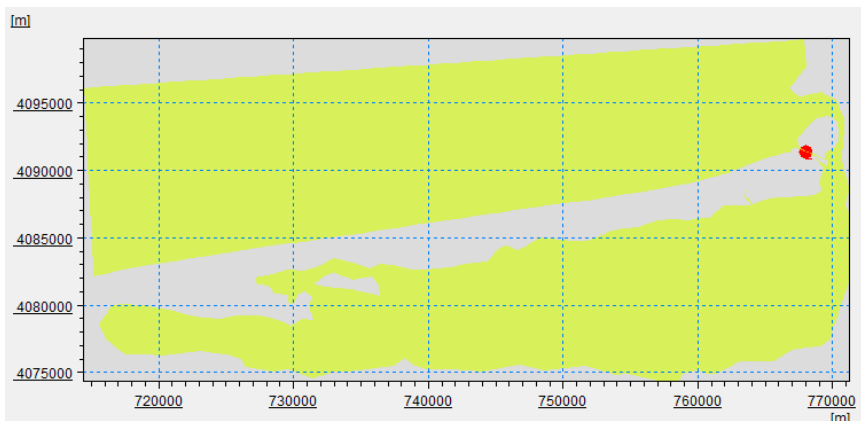
شکل (۵-۳۷): نقاط انتخابی برای مقایسه سرعت جریان در دو کانال آشوراده و چپقلی



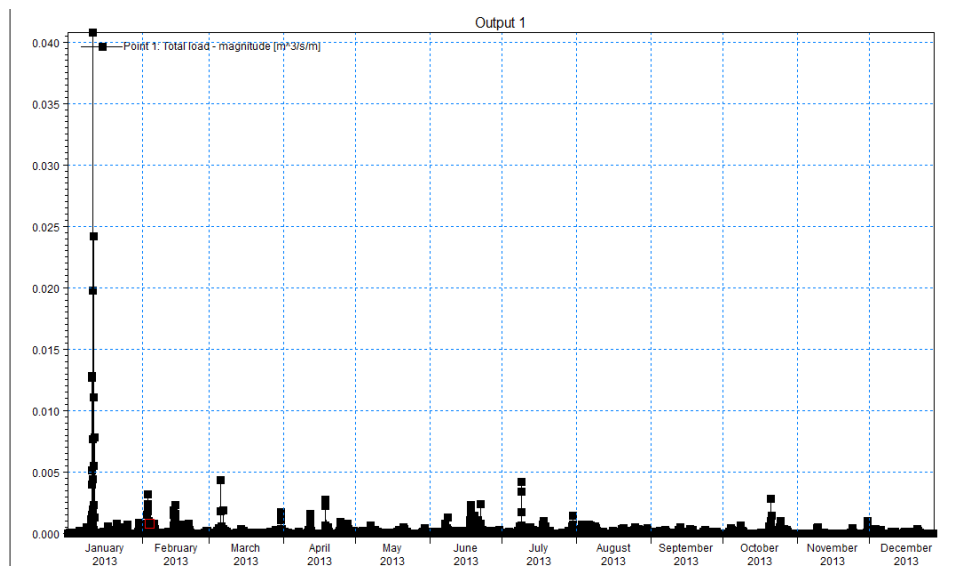
شکل (۵-۳۸): خروجی سرعت جریان در کانال چپقلی و آشوراده

و در راستای بدست آوردن نرخ کلی انتقال ماسه (متر مکعب در ثانیه بر هر متر)، اندازه غلظت رسوبات معلق، و نرخ تغییرات بار بستر (متر در روز) در دهانه خلیج گرگان از مدل در نقطه شکل (۵-۳۹) خروجی گرفته شده که نتایج مطابق اشکال (۵-۴۰) تا (۵-۴۲) است. نتایج حاکی از این است که میانگین نرخ کلی انتقال رسوب در دهانه خلیج گرگان کمتر از ۰,۰۰۱ متر مکعب در ثانیه بر

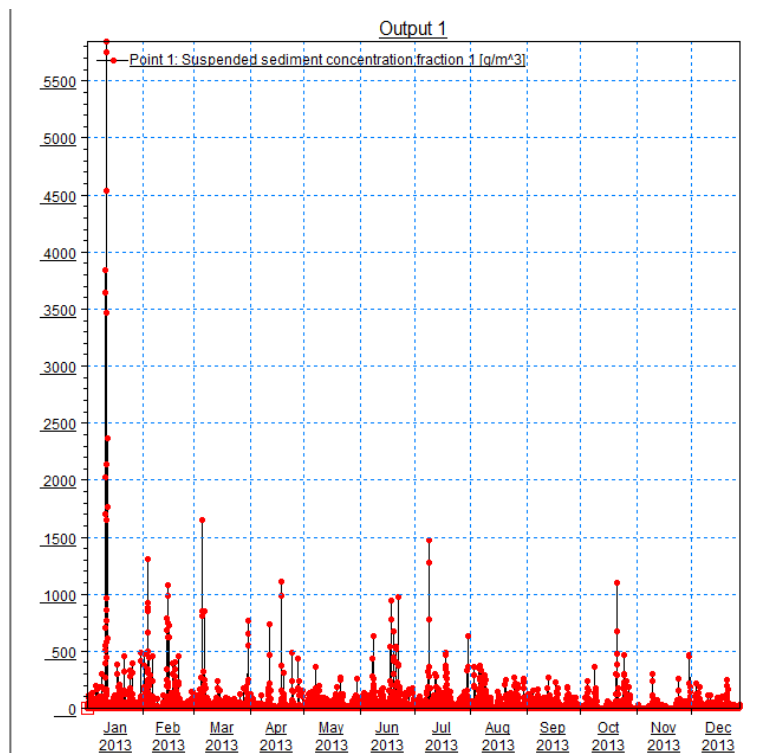
هر متر بوده و رنج تغییرات بستر در طول یک سال تقریباً ثابت بوده و به اندازه کمتر یک سانتی متر در روز بدست آمده است. نتیجه گیری کلی از دهانه خلیج گرگان نشان دهنده این است که علارقم انتقال رسوب ۰,۰۰۱ متر مکعب در ثانیه ی در دهانه رسوب گذاری بسیار بالا و فعالی در دهانه خلیج گرگان وجود ندارد. نتایج نشان می دهد نرخ انتقال رسوب در دهانه خلیج بیشتر از نرخ انتقال رسوب در ساحل میانکاله است.



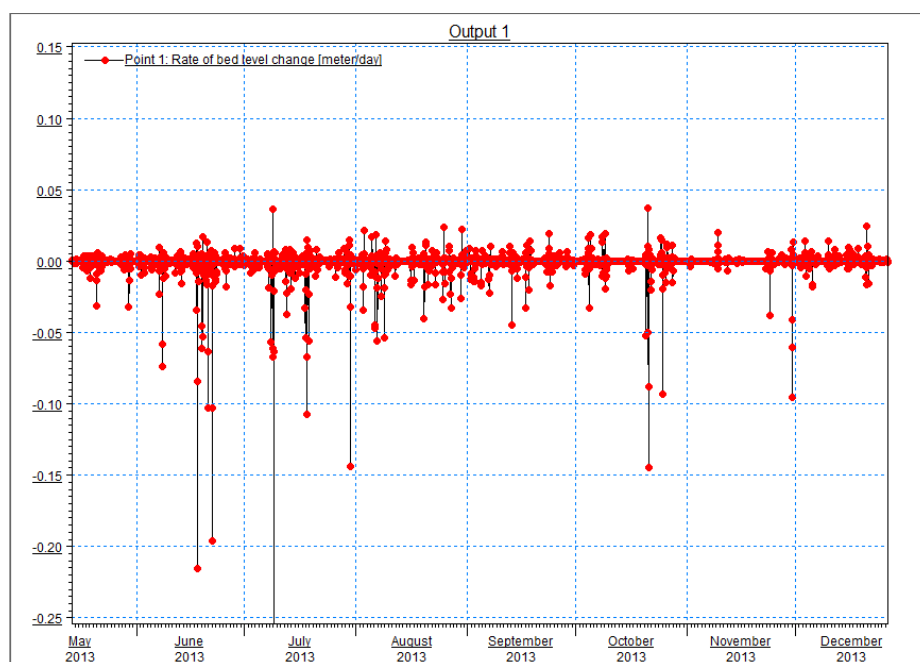
شکل (۵-۳۹): نقطه انتخابی برای خروجی در دهانه خلیج گرگان



شکل (۵-۴۰): نرخ کلی انتقال رسوب (متر مکعب در ثانیه بر هر متر)

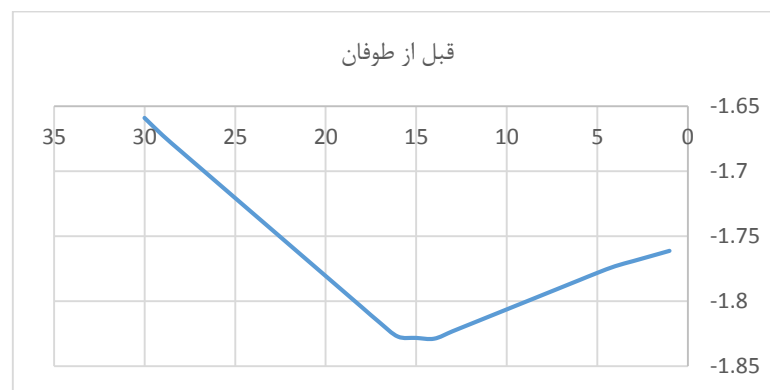


شکل (۴۱-۵) : اندازه غلظت رسوبات معلق

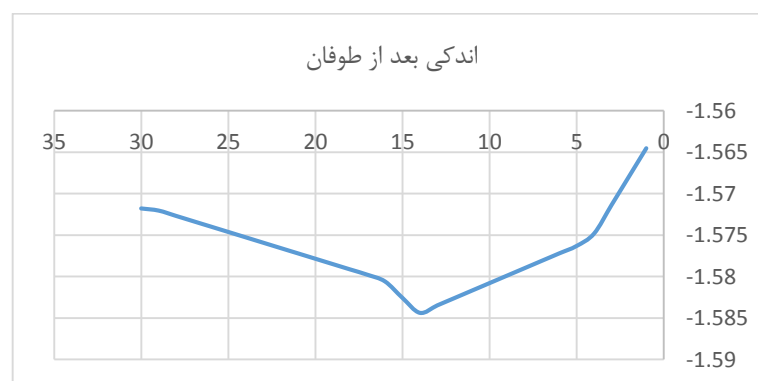


شکل (۴۲-۵) : نرخ تغییر بار بستر در دهانه خلیج گرگان

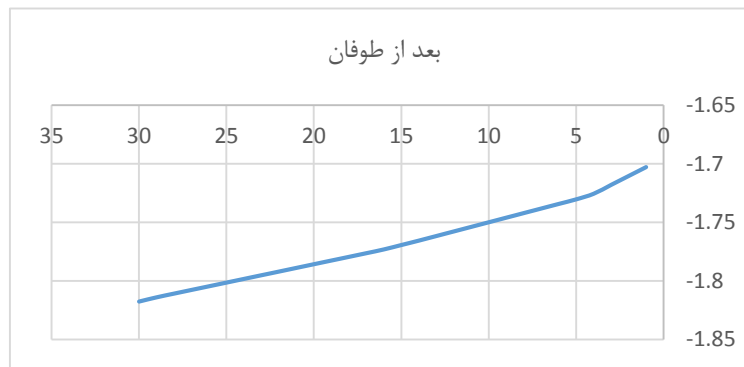
در راستای تجزیه و تحلیل عملکرد دهانه، تا اینجا کاملاً مبرهن بوده که دهانه تحت رانه ساحلی ضعیفی از بالا دست بوده و حجم رسوبات انباشته شده در دهانه تحت عملکرد نوسانات دریای خزر شکل گرفته است. امواج دریا به علت شیب توپوگرافی کم منطقه در فاصله دوری از ساحل شکسته و زمانی که به ساحل می‌رسند کاملاً میرا می‌شوند. دهانه خلیج نرخ انتقال رسوب 0.001 متر مکعب بر ثانیه در واحد طول را داشته ولی رسوبگذاری فعالی در درون دهانه دیده نمی‌شود، که بیانگر شستو شو شدن رسوبات در دهانه خلیج است. و همچنین بیشترین حساسیت را به نوسانات تراز آب دریا و مد حاصل از طوفان را دارد. در این راستا از دهانه خلیج یک پروفیل عرضی رسم شده و تغییرات پروفیل عرضی را برای حالت قبل از طوفان و بعد از طوفان بررسی شده است. شکل (۵-۴۳) تا (۵-۴۵)



شکل (۵-۴۳): پروفیل از دهانه قبل از طوفان



شکل (۵-۴۴): پروفیل از دهانه اندکی بعد از طوفان



شکل (۵-۴۵) : پروفیل از دهانه بعد از طوفان

نتایج این بررسی نشان داده است که دهانه خلیج گرگان مانند مدل اسکوفیر عمل کرده است، بطوریکه در زمان طوفان رسوبات زیادی در دهانه خلیج گرگان نشست پیدا کرده ولی به علت کاهش سطح مقطع عرضی دهانه، تمایل دهانه در تبادل همان دبی بین خلیج و دریا، سرعت جریان در دهانه افزایش یافته (تا زمانی که رسوبات ناشی از طوفان در دهانه پاک شود، سرعت جریان در حدود ۰,۱ متر بر ثانیه افزایش داشته است.) و رسوبات درون کانال را شسته تا دوباره به همان مساحت قبل از طوفان برسد. (مساحت زیر نمودار در حالت قبل از طوفان و بعد از طوفان برابر است) با توجه به شواهد از آنجای که دهانه تحت رانه ضعیفی از بالا دست بوده محتمل ترین حالت بسته شدن دهانه تحت اثر جریان عرضی ساحل و طوفان های بزرگ است از طرفی مکانیزم نوسانات دریای خزر عاملی دیگر در مسدود شدن دهانه خلیج است. نوسانات دریای خزر ۱۰۰ برابر دریای آزاد بوده و موجب منحصربه فرد شدن نحوه مسدود شدن این دهانه شده است. در عمل می دانیم که یک دهانه با جریان نسبی کم (با داشتن Tidal prism کوچک) تمایل به بسته شدن در چند شرایط را دارد. مثلاً در شرایط طوفان، بای پس به وسیله پشته یا به وسیله ی مکانیزم های جریان، توانایی حذف رسوب از دهانه را ندارند.

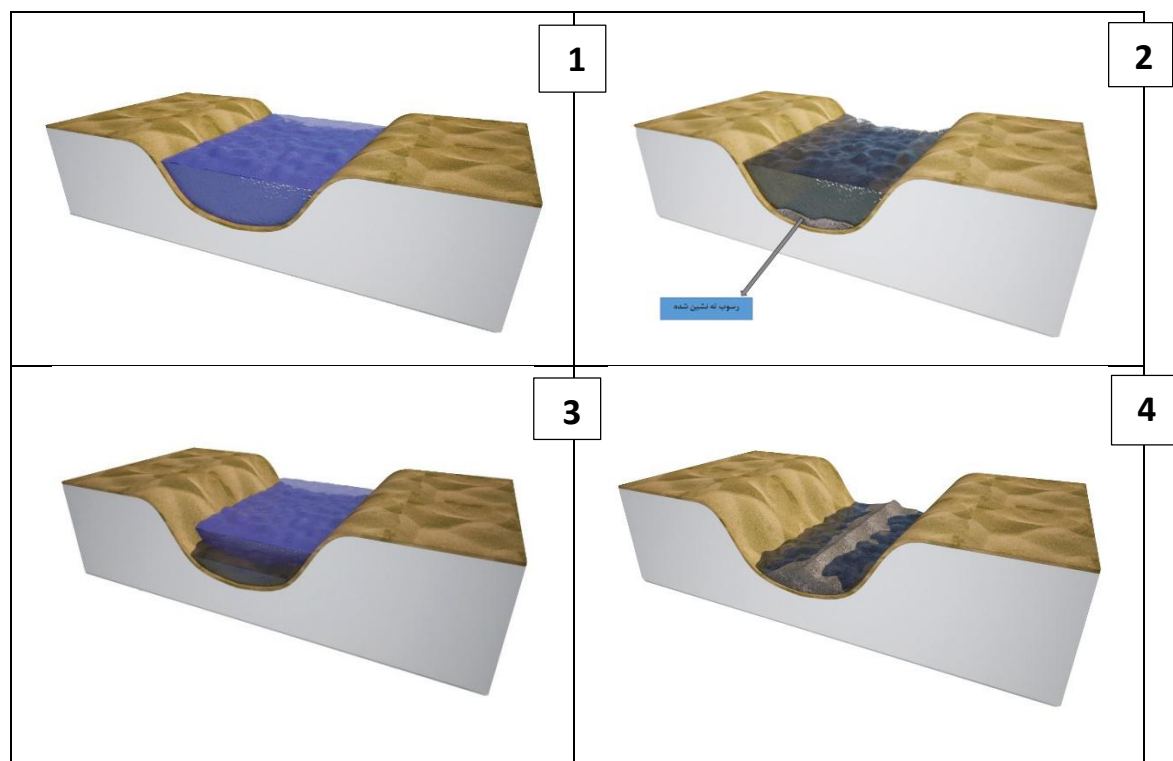
۵-۴-۲. سناریو های مسدود شدن دهانه خلیج گرگان

طرح ذیل مدلی مفهومی از نحوه پاسخگویی و بسته شدن دهانه خلیج گرگان تحت پسروی آب دریا و رسوبگذاری ناشی از طوفان ، توسط این پژوهش است. شکل (۵-۴۶)

در حالت ۱ پروفیل دهانه قبل از طوفان مشخص شده است، در حالت ۲ سطح مقطع دهانه خلیج تحت اثر رسوبات آورده شده توسط طوفان کاهش پیدا کرده است. که رسوبات ناشی از طوفان بعد از چندین مدت دوباره به همان پروفیل حال اول بازگشته و رسوبات شسته می شوند. این عملکرد بیانگر

این است که دهانه فعلی طبق مدل اسکوفیر پایدار بوده و تغییر مساحت عرضی کانال موجب افزایش سرعت جریان و شستوشو در کانال می شود. حالت در حالت ۳ با کاهش زیاد سطح تراز آب، سطح مقطع نیز به شدت کاهش پیدا کرده و دهانه از حالت پایداری خود جدا می شود و کاهش سطح باعث افزایش سرعت جریان در کانال نمی شود و مانند مدل اسکوفیر به سمت چپ شکل (۲-۳۰) حرکت کرده می کند و در حالت ۴ رسوبات آورده شده توسط طوفان کانال را کاملاً مسدود کرده و دهانه توانایی شستوشوی دهانه را ندارد.

نتایج بیانگر این است که در این تراز (۲۶-) جریان عرضی و طوفان توانایی مسدود کردن دهانه را ندارد که در این صورت ۲ حالت برای مسدود شدن دهانه وجود دارد. اول اینکه عملکرد کاهش تراز و طوفان با هم که دهانه را از پایداری در بیاورد و رسوبات ناشی از طوفان دهانه را مسدود کند و عملکرد پیشروی و پس روی دریا موجب مسدود شدن دهانه شود یا سطح تراز خود به اندازه ی کاهش بیابد که دهانه خشک و کارایی خود را از دست بدهد.

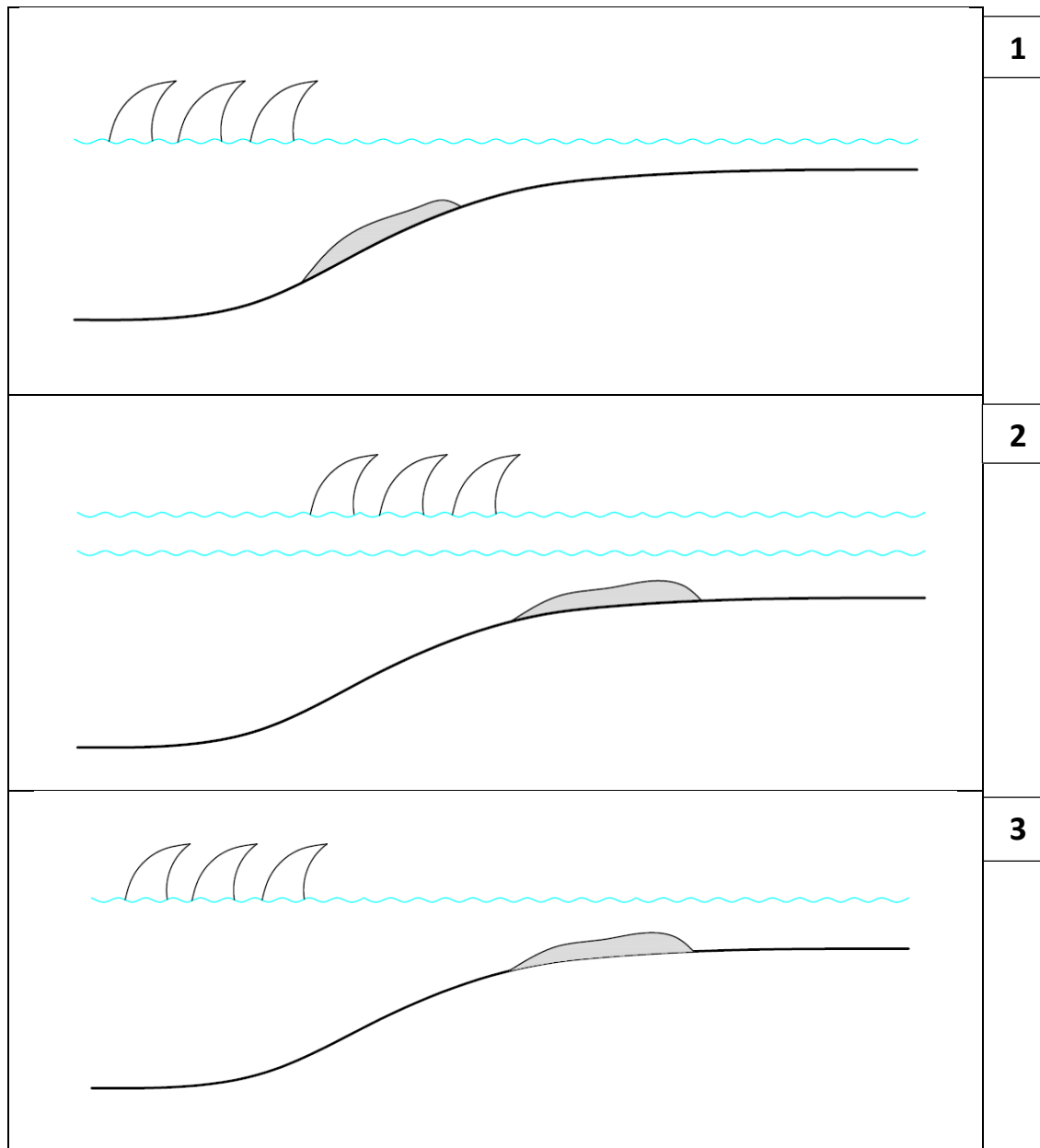


شکل (۵-۴۶): مدل مفهومی از بسته شدن دهانه خلیج گرگان

سناریوی دوم بر اساس مدل ارائه شده در شکل (۵-۴۷) عمل می کند .

در حالت اول منطقه شکست امواج از دهانه فاصله داشته و رسوب گذاری ناشی از شکست موج در فاصله ی دور از ساحل اتفاق می افتد. در حالت دوم با افزایش سطح تراز آب دریا منطقه شکست

امواج به دهانه خلیج نزدیک شده و رسوب گذاری در نزدیکی دهانه انجام می شود. در حالت سوم با کاهش دوباره سطح تراز آب دریا منطقه شکست امواج به فاصله دوری از دهانه جا به جا شده ولی حجم رسوب گذاری شده در حالت دوم در منطقه بر جای می ماند. و باعث کم عمق شدن و حتی مسدود شدن دهانه می شود.



شکل (۴۷-۵): مدل مفهومی از سناریوی بسته شدن دهانه خلیج گرگان

۵-۵- راهکار

در این قسمت از پژوهش با توجه به نتایج بدست آمده راهکاری جهت زنده نگه داشتن خلیج پیشنهاد می شود. در نتایج این تحقیق کاملاً مشهود است که دهانه خلیج گرگان تحت تاثیر نوسانات تراز آب دریای خزر در حال مسدود شدن می باشد و جریانات طولی ساحل میانکاله اثر چندانی در آورد رسوب به درون دهانه را ندارد. (نتایج بخش ۵-۱ و ۵-۲ و ۵-۴) و این حجم رسوبی درون دهانه مربوط به نوسانات تراز آب دریای خزر بوده و در زمان بالا روی و پسروی چند دهه اخیر تراز آب دریای خزر این حجم رسوبی انباشت شده است. با در نظر گرفتن این عامل که نوسانات تراز آب دریای خزر غیر قابل پیش بینی است (نتایج بخش ۳-۲)، نمی توان مدیریتی عمرانی در دهانه خلیج داشت و احداث هر گونه سازه ی محافظتی ناکارآمد پیش بینی می شود. بحث های لایروبی کانال نیز به علت حساسیت بالای منطقه به نوسانات تراز آب (نتایج بخش ۵-۱) و مد های حاصل از طوفان (نتایج بخش ۵-۳-۴) و همچنین ریز دانه بودن رسوبات بستر منطقه که با کوچکترین طوفان در منطقه جا به جا می شوند، (نتایج بخش ۵-۱) و اینکه هزینه اقتصادی عملیات های دریای به مراتب بیشتر از درون خشکی است، ناکارآمد توصیه می شود. کانال خوزینی خود گواهی بر این مدعا است که منطقه شرقی ساحل میانکاله به دلیل حساسیت بالا به نوسانات تراز آب دریای خزر زون مناسبی برای لایروبی و یا باز کردن یک کانال جدید نیست.

راهکار پیشنهادی این پژوهش برای متصل نگه داشتن آب خلیج و دریا و یا زمانی که دهانه خلیج مسدود می شود، احداث یک کانال مصنوعی از ساحل میانکاله به خلیج است. با استناد به نتایج تحقیق و سابقه پژوهش های انجام شده در منطقه، دریای خزر دریایی نوسانی با رنج نوسانات بالا و منطقه شرقی ساحل میانکاله و دهانه آشوراده بیشترین تغییر را نسبت به نوسانات داشته و بنا به گفته بررون دهانه های حاصل از جریان رانه ساحلی ماهیت ناپایدار دارند، از این رو احداث یک کانال مصنوعی در یک زون مناسب می تواند پاسخگویی مناسب برای پویا نگاه داشتن ارتباط خلیج با دریا باشد. و برای جانمایی کانال مصنوعی در ساحل میانکاله و انتخاب بهترین زون موارد ذیل باید مورد بحث قرار گیرد.

برای اتصال ایمن و پایدار خلیج گرگان با دریای خزر، چندین عامل باید مورد بحث قرار گیرد. ابتدا شیب دریا جوابگوی احداث کانال باشد، و حساسیت منطقه به نوسانات تراز آب دریا و مد حاصل از طوفان کم باشد. دوم اینکه منطقه در زون سواحل رسوبگذاری قرار نگیرد و ترجیحاً در زون فرسایشی قرار بگیرد. (به علت مسائل لایروبی کانال و ...) سوم اینکه در زونی قرار بگیرد که فاصله اتصال دریا با خلیج کم باشد و توپوگرافی سطح جوابگو باشد تا هزینه احداث کانال کاهش یابد. عامل دیگر شیب درون خلیج برای آبرسانی جوابگو باشد.

با توجه به مقایسه بین مناطق ساحلی میانکاله و موارد بالا و مطالعه و بررسی عکس های توپوگرافی و عکس های ماهواره ی، مکان مشخص شده در شکل (۵-۴۸) برای جانمایی توصیه می شود.



شکل (۴۸-۵) : بهترین زون برای اتصال آب دریا به خلیج

۵-۶- پیشنهادات

با توجه به اینکه مدل سازی منطقه به صورت دو بعدی صورت گرفته است، می توان نتایج آن را با مدل سه بعدی مقایسه شده و بهترین مدل برای مناطق کم شیب دریای خزر معرفی شود.

با توجه به مسئله مسدود شدن دهانه ها و کانال ها در سواحل تحت رانه ساحلی می توان برای کانال مصنوعی پیشنهاد شده در این پژوهش ابعاد و پرفیل عرضی پیشنهاد داد تا پایداری کانال حفظ شود.

می توان تاثیر باز شدن دهانه ی جدید در ساحل میانکاله بر نحوه فلاشینگ و زمان تجدید پذیری خلیج گرگان را در پژوهشی مورد بررسی قرار داد.

مراجع فارسی

- [۵] ه. خوشروان، "پهنه بندی مورفولوژی سواحل جنوبی دریای خزر"، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، گزارش داخلی، ۱۳۷۹.
- [۶] ر. پ. انارکی، "بررسی هیدرودینامیک جریان و رسوب گذاری در خلیج گرگان"، پژوهش کده خاک و آب خیزداری، صفحه ۲۰-۲۳، ۱۳۸۵.
- [۷] ع. ک. خانیکی، "سواحل ایران"، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۳.
- [۱۵] "گزارش سوم"، مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر، ۱۳۸۶.
- [۳۶] ه. ا. رورده، "شبیه سازی دینامیک امواج و انتقال ماسه در سواحل دریای خزر (محدوده خلیج گرگان)"، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، جلد ۲، صفحه ۱-۱۸، ۱۳۹۲.
- [۳۸] "مدل سازی دریاهاى ایران (دریای خزر)"، سازمان بنادر و دریا نوردی مرکز ملی اقیانوس شناسی، موسسه تحقیقات هیدرولیک دانمارک (DHI)، ۱۳۹۰.
- [۳۹] س. شربت، "ضرورت بررسی اثرات کاهش سطح تراز آب دریای کاسپی بر وضعیت خلیج گرگان و ارائه راهکار جهت برون رفت از بحران در سال های آتی"، بهره برداری و پرورش آبزیان، جلد ۵ (۱)، ۱۳۹۵.
- [۴۰] م. باستان، "بررسی تغییر شکل زبانه ماسه ی میانکاله تحت تاثیر عوامل هیدرودینامیکی"، ۱۳۸۹.
- [۴۵] "گزارش نوسانات تراز آب دریای خزر"، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ۱۳۹۴.
- [۴۹] "inio.ac.ir"، پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم فناوری و تحقیقات جوی، وزارت علوم،

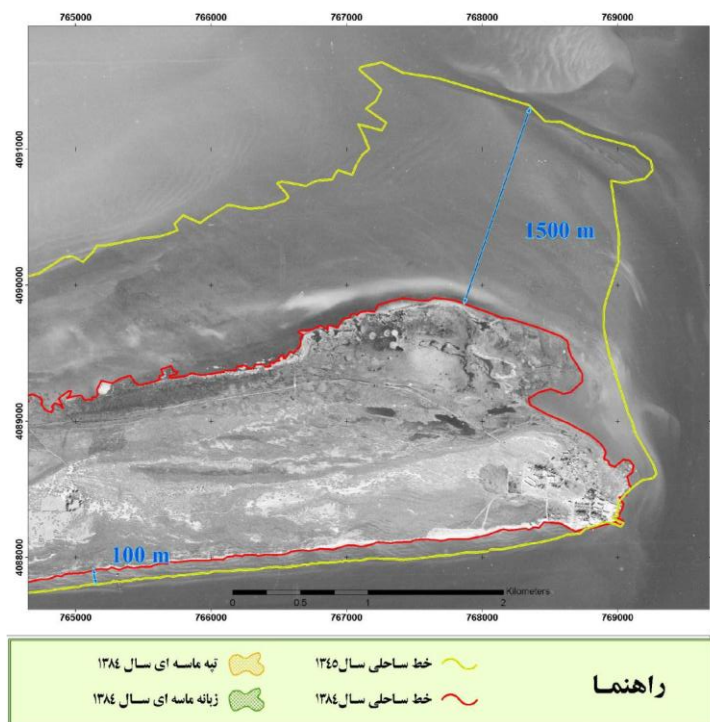
- [1] S. Emadaldin, "Assess changes in sea levels and human activity deformation in the eastern part of the Caspian Sea coast during the past half century," *Second International Conference on Environmental Hazards, Tehran, Iran, Kharazmi University* . 8p, 2012.
- [2] S. Erfan and M. Hamed, "Barrier islands in the South East of the Caspian Sea (North of Behshahr),," *Journal of Geoscience (In Persian)*, vol. 24(95), pp. 217-230, 2015.
- [3] A. A. Kakroodi, "Rapid Caspian Sea-level change and its impact on Iranian coasts," *Master of Science in Physical Geography, University of Tehran*,, 2012.
- [4] A. Naderi beni, H. Alizadeh-Lahijani, M. Pourkerman, R. Jokar, M. Djamali, N. Marriner, V. Andrieu-Ponel and M. Harami, "Late Holocene Caspian Sea Level Changes and its Impacts on Low Lying Coastal Evolution: a Multidisciplinary Case Study from South Southeastern Flank of the Caspian Sea. Journal of the Persian Gulf," *Marine Science*, vol. 5, pp. 27-48, 2014.
- [8] K. Homayon, "Beach sediments. morphodynamics and risk assesments. caspian sea coast. iran," *Elsevier*, vol. 168, pp. 35-39, 2007.
- [9] O. F. Evans, "The Classification of Wave-formed Ripple Marks," *Journal of Sedimentary Research*, vol. 11, 1941.
- [10] J. S. Monroe and R. Wicander, "The Changing Earth: Exploring Geology and Evolution," *West Publishing Company*, 1997.
- [11] M. O. Hayes, "Barrier island morphology as a function of wave and tide regime, in Leatherman, S. P. ed., Barrier islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico: Academic Press," *Academic Press, New York, NY*, pp. 1-29, 1979.
- [12] H. T and M. Kana, "Terrigenous clastic depositional enviroiments," *univ of south carolina. colombia*, vol. 364, 1976.
- [13] M. Hayes, "Morphology of sand accumulations in estuaries, in L.E. Cronin, ed," *Estuarine Research Academic Press, New York*, vol. 2, pp. 3-22, 1975.
- [14] J. Howard and Reineck, "Depositional facies of high-energy beach-to-offshore sequence: Comparison with low-energy sequence," *AAPG Bulletin*, vol. 65/5, pp. 807-830, 1981.

- [16] L. Wright and A. D. Short, "Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis," *Marine Geology*, vol. 56, pp. 93-118, 1984.
- [17] A. o. c. information. [Online]. Available:
http://www.ozcoasts.gov.au/conceptual_mods/beaches/wdb.jsp.
- [18] T. Aagaard, G. b. Brian and M. .Hughes, "Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches," *Earth-Scinece Reviwes*, vol. 124, pp. 32-50, 2013.
- [19] A. Short, "Wave-dominated beaches. In: Short, A.D. (Ed.), Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics," *Wiley science*, pp. 173-203, 1999.
- [20] P. Bruun, A. Mehta and I. Johnson, "Stability of Tidal Inlets: Theory and Engineering. Developments in Geotechnical Engineering," *Elsevier Science, Amsterdam.*, 1987.
- [21] D. Aubrey and P. Speer, "Updrift migration of tidal inlets," *Journal of Geology*, vol. 92(5), pp. 541-545, 1984.
- [22] D. FitzGerald and S. Penland, "Back-barrier Dynamics of the East Frisian Islands," *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 57(4), p. 746–754, 1987.
- [23] D. R. A and D. M. and FitzGerald, "Beaches and Coasts," *Blackwell Publishing*, 2004.
- [24] J. De Alteris and R. Byrne, "The recent history of Wachapreague Inlet, Virginia.," *Estuarine Research*, vol. 2, p. 167–181, 1975.
- [25] P. Bruun and F. and Gerritsen, "Natural bypassing of sand at coastal inlets," *Journal of Waterways, and Harbors Division ASCE*, vol. 85(4), p. 75–107, 1959.
- [26] P. Bruun and F. Gerritsen, "Stability of coastal inlets," North Holland Publishing Co, 1960.
- [27] T. Tung and M. Stive, "Seasonal closure of tidal inlets and estuaries at the Central Coast of Vietnam," *International Conference on Estuaries and Coasts (ICEC-2006)*, vol. 1, p. 1150–1157, 2006.
- [28] R. Ranasinghe and C. Pattiaratchi, "The seasonal closure of tidal inlets: cause and effects," *Coastal Engineering*, vol. 45(4), p. 601–627, 2003.
- [29] F. F. Escoffier, "The stability of tidal inlets. Shore and Beach," p. 111–114, 1940.
- [30] D. h. institute 'Manual of mike 21, coastal hydraulic and oceanography hydrodynamic module '2012 .

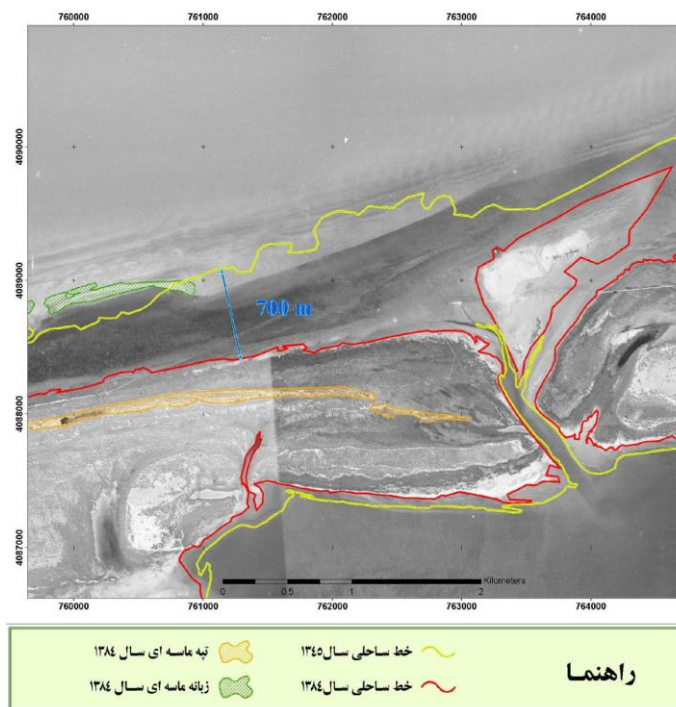
- [31] D. H. I. (DHI), Manual of mike 21 |& mike 3 flow model fm , coastal hydraulic and oceanography hydrodynamic module, 2012.
- [32] d. h. i. (DHI), Manual of mike 21/3 ,coupled model FM , coastal hydraulic and oceanography hydrodynamic module, 2012.
- [33] S. Kroonenberg, E. Badyukova, J. Storms, E. Ignatov and N. Kasimov, "A full sea level cycle in sixty-five years: barrier dynamics along Caspian shores.," *Sedimentary Geology*, vol. 134, p. 257–274, 2000.
- [34] A. Nazemi, "Final Report of Investigation of Golestan province coastline changest," 95, 2005.
- [35] A. Amini, "Sedimentological, geochemical and geomorphological factors in formation of coastal dunes and nebkha fields in Miankaleh coastal barrier system (Southeast of Caspian Sea, North of iran)," *Geosciences Journal*, vol. 16, pp. 139-152, 2012.
- [37] s. kiaei, "the survey of sedimentation and erosion of ideal tidal inlets effected by both tide and cross-shore wave by numerical modeling," *watershed management research*, vol. 104, pp. 62-74, 2014.
- [41] P. Kaplin and A. Selivanov, "Recent coastal evolution of the Caspian Sea as a natural model for coastal response to the possible acceleration of global sea-level rise," *Mar. Geol*, vol. 124, pp. 161-175, 1995.
- [42] A. Kakroodi, S. Kroonenberg, R. Hoogendoorn, H. Mohammadkhani, M. G. M. Yamani and H. Lahijani, "Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian," *Quaternary International*, vol. 263, pp. 93-103, 2012.
- [43] G. Rychagov, "Holocene oscillation of the Caspian Sea, and forecast based on the Caspian Sea and forecast based on paleogeographical reconstructions," *Quaternary International*, vol. 41, pp. 167-172, 1997.
- [44] S. Kroonenberg, E. Badyukova, J. Storms, E. Ignatov and N. Kasimov, "A full sealevel Cycle in sixty-five years: barrier dynamics along Caspian shores," *Sedimentary Geology*, vol. 134, pp. 257-274, 2000.
- [46] S. Leroy, A. Kakroodi, S. Kroonenberg, H. Lahijani and H. A. & A. Nigarov, "Holocene vegetation history and sea level changes in the SE corner of the Caspian Sea: relevance to SW Asia climate," *Quaternary Science Reviews*, vol. 70, pp. 28-47, 2013.
- [47] S. Kroonenberg, G. Abdurakhmanov, K. v. d. B. E. Badyukovac, A. Kalashnikov, N. Kasimov, G. Rychagov, A. Svitoch, H. Vonhof and W. F.P, "Solar-forced 2600 BP and Little Ice Age highstands of the Caspian Sea," *Quaternary International*, vol. 174, pp. 137-143, 2007.

- [48] G. Rychagov, "Bull.Moscow State Univ," *The sea-level regime of the Caspian Sea during the last 10,000 years*, vol. 52, pp. 38-49, 1994.
- [50] K. Arpe, S. A. G. Leroy, H. Lahijani and V. Khan, "Impact of the European Russia drought in 2010 on the Caspian Sea-level," *Hydrol. Earth Syst. Sci*, vol. 16, pp. 19-27, 2012.
- [51] A. Naderi Beni, H. Lahijani, R. M. Harami, S. A. G. Leroy, M. Shah-hosseini, K. Kabiri and V.Tavakoli, "Development of spit-lagoon complexes in response to Little Ice Age rapid sea level changes in the central Gilān coast, South CS, Iran," *Geomorphology*, vol. 187, pp. 11-26, 2013b.
- [52] A. D.Short, *Hand book of beach and shore face morphodynamic*, WILEY /178-180.
- [53] M. Gouraly, "Beach and dune erosion tests, Laboratory Report M935/M936," Delft Hydraulics., 1968.

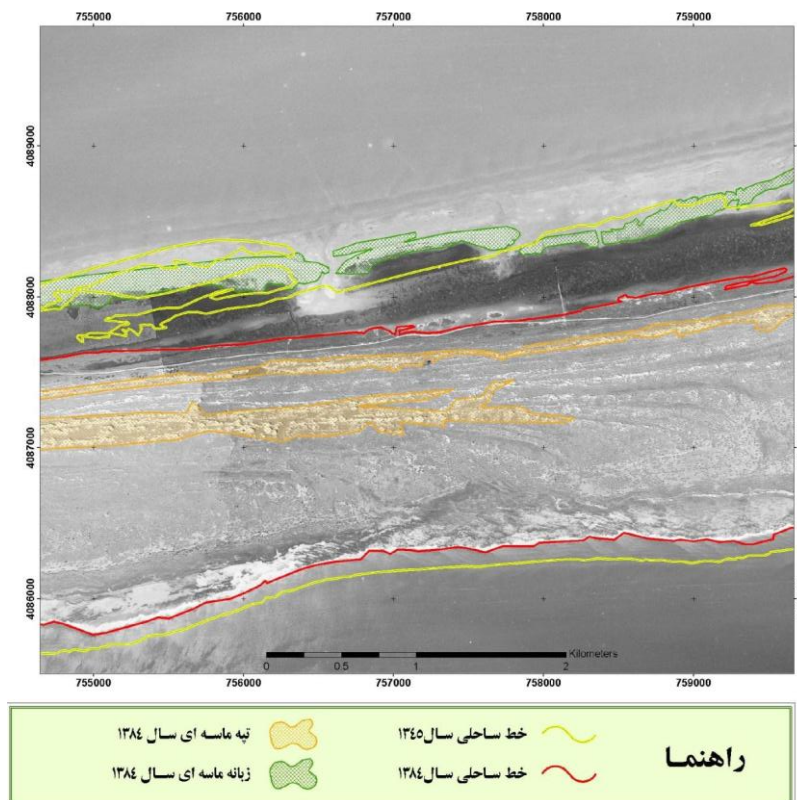
پیوست ۱



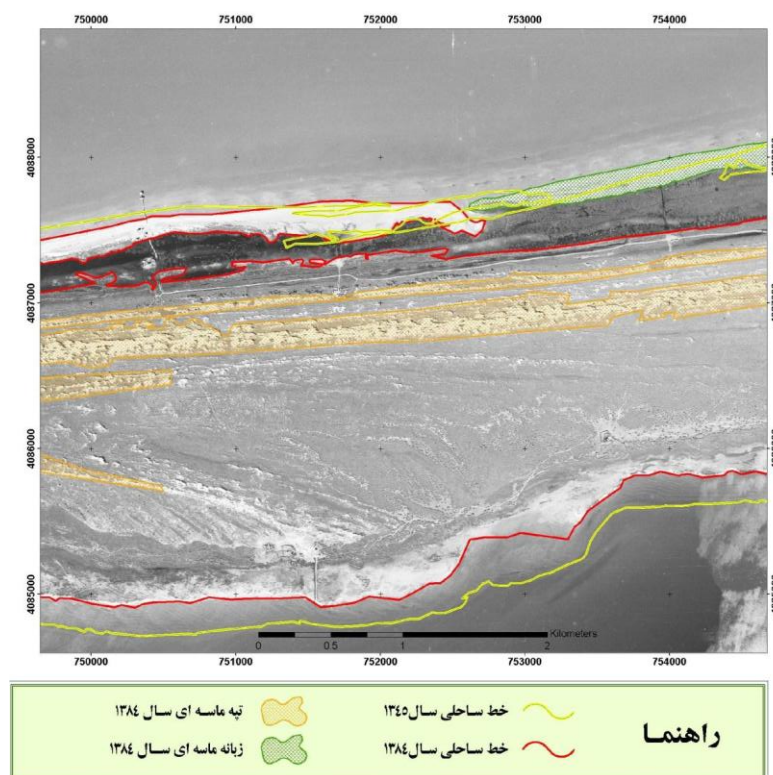
شکل ۱: زون ۱



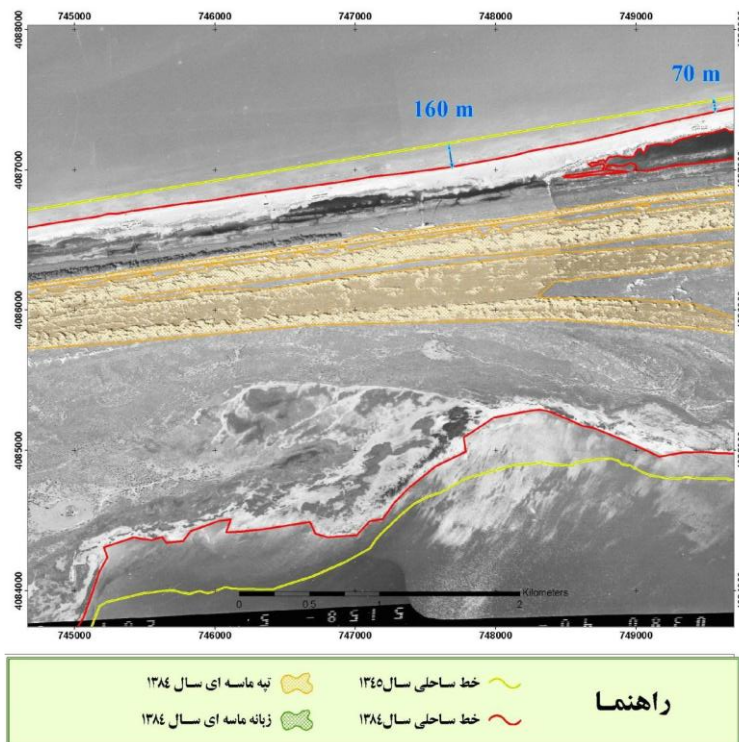
شکل ۲: زون ۲



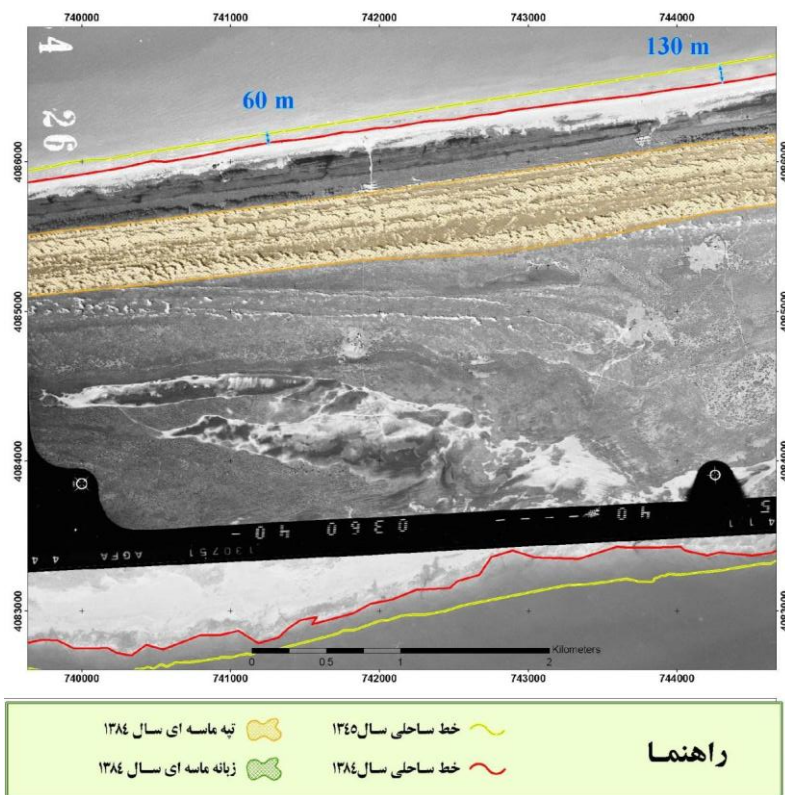
شکل ۳: زون ۳



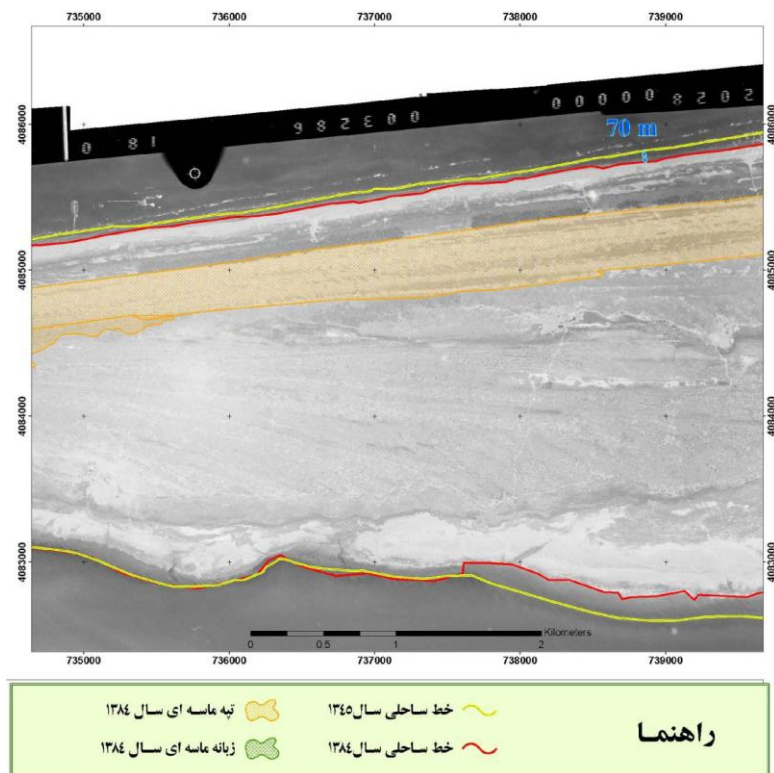
شکل ۴: زون ۴



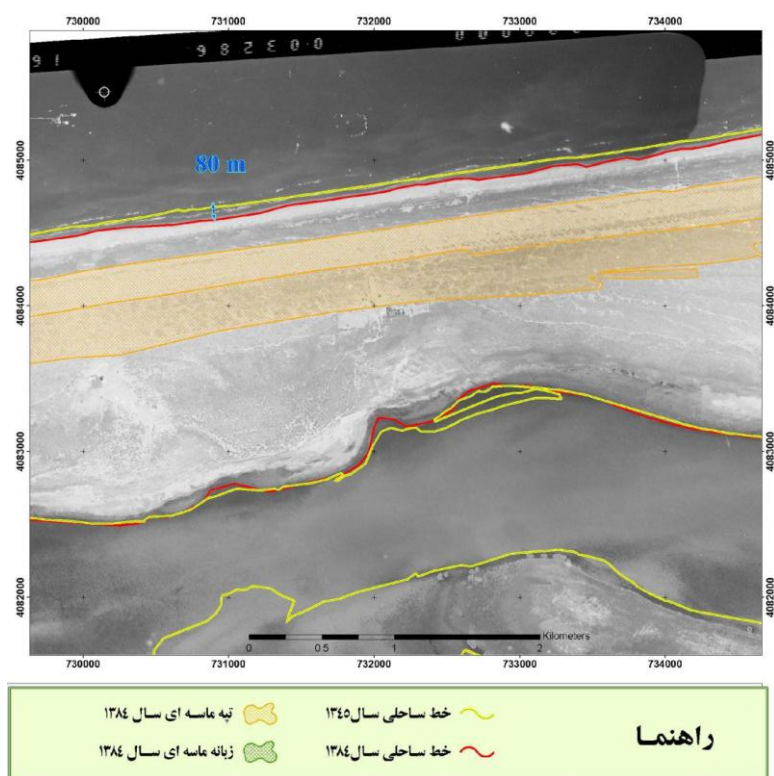
شکل ۵: زون ۵



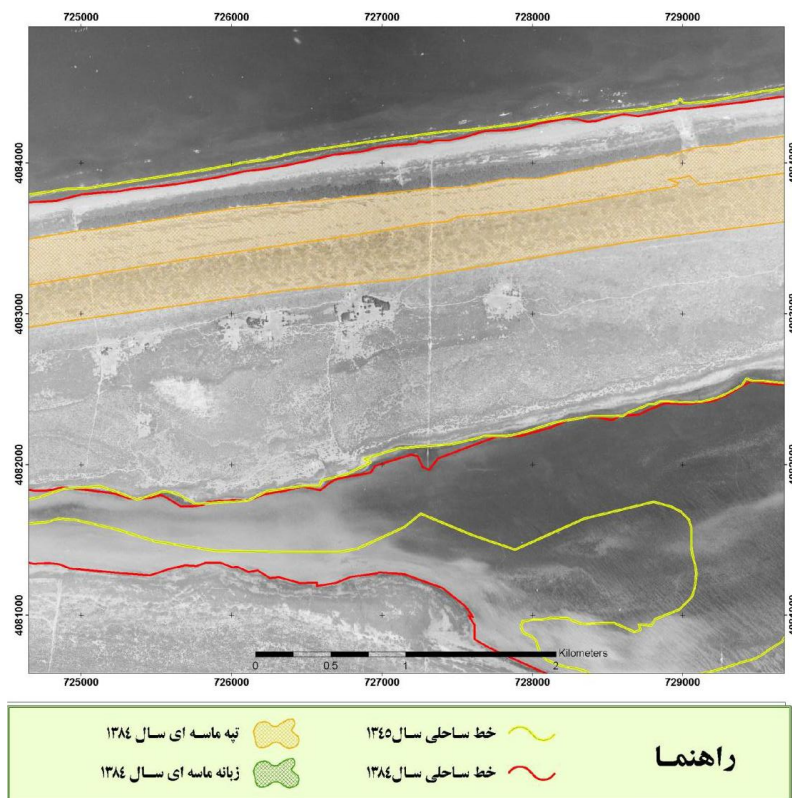
شکل ۶: زون ۶



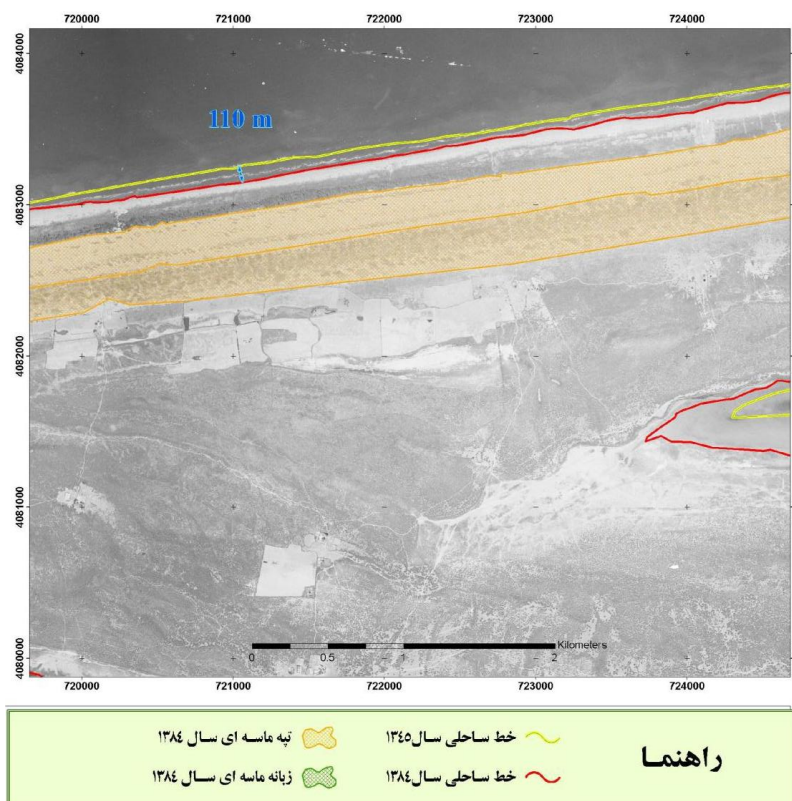
شکل ۷: زون ۷



شکل ۸: زون ۸



شکل ۹: زون ۹



شکل ۱۰: زون ۱۰



شکل ۱۱: نقشه توپوگرافی میانکاله

SAMPLE IDENTITY	AS1	
SAMPLE TYPE	Bimodal, Moderately Well Sorted	
GRAVEL	0.1%	
SAND	89.9%	
MUD	10.0%	
MODE 1	0.1155 mm	
MODE 2	0.165 mm	
MEDIAN or D ₅₀	0.1092 mm	
($\bar{x}$)		
MEAN	0.1082 mm	Very Fine Sand
SORTING (s)	0.59	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk)	0.076	Symmetrical
KURTOSIS (K)	1.11	Mesokurtic

SAMPLE IDENTITY	AS2	
SAMPLE TYPE	Unimodal, Moderately Well Sorted	
GRAVEL	0.0%	
SAND	99.1%	
MUD	0.9%	
MODE 1	0.165 mm	
MODE 2		
MEDIAN or D ₅₀	0.1657 mm	
MEAN	0.1712 mm	Fine Sand
SORTING (s)	0.531	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk)	0.275	Coarse Skewed
KURTOSIS (K)	1.803	Very Leptokurtic

SAMPLE IDENTITY	AS3	
SAMPLE TYPE	Unimodal, Very Well Sorted	
GRAVEL	0.0%	
SAND	95.8%	
MUD	4.2%	
MODE 1	0.098 mm	
MODE 2		
MEDIAN or D ₅₀	0.0909 mm	
($\bar{x}$)		
MEAN	0.09026 mm	Very Fine Sand
SORTING (s)	0.275	Very Well Sorted
SKEWNESS (Sk)	0.017	Symmetrical
KURTOSIS (K)	1.322	Leptokurtic

MPLE IDENTITY	AS4	
SAMPLE TYPE	Unimodal, Well Sorted	
GRAVEL	0.1%	
SAND	96.7%	
MUD	3.2%	
MODE 1	0.098 mm	
MODE 2		
MEDIAN or D ₅₀	0.0959 mm	
($\bar{x}$)		
MEAN	0.09601 mm	Very Fine Sand
SORTING (s)	0.35	Well Sorted
SKEWNESS (Sk)	0.096	Symmetrical
KURTOSIS (K)	1.277	Leptokurtic

SAMPLE IDENTITY	AS5	
SAMPLE TYPE	Bimodal, Moderately Well Sorted	
GRAVEL	0.1%	
SAND	43.1%	
MUD	56.8%	
MODE 1	0.034 mm	
MODE 2	0.069 mm	
MEDIAN or D ₅₀	0.0503 mm	
($\bar{x}$)		
MEAN	0.0542 mm	Very Coarse Silt
SORTING (s)	0.671	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk)	0.293	Coarse Skewed
KURTOSIS (K)	0.766	Platykurtic

SAMPLE IDENTITY	AS6	
SAMPLE TYPE	Unimodal, Moderately Well Sorted	
GRAVEL	0.1%	
SAND	22.7%	
MUD	77.2%	
MODE 1	0.034 mm	
MODE 2		
MEDIAN or D ₅₀	0.03613 mm	
($\bar{x}$)		
MEAN	0.04468 mm	Very Coarse Silt
SORTING (s)	0.683	Moderately Well Sorted
SKEWNESS (Sk)	0.757	Very Coarse Skewed
KURTOSIS (K)	1.281	Leptokurtic

SAMPLE IDENTITY	AS7	
SAMPLE TYPE	Trimodal, Moderately Sorted	
GRAVEL	0.1%	
SAND	65.5%	
MUD	34.4%	
MODE 1	0.0825 mm	
MODE 2	0.034 mm	
MODE 3	0.0165 mm	
MEDIAN or D_{50}	0.07687 mm	
($\bar{x}$)		
MEAN	0.07294 mm	Very Fine Sand
SORTING (s)	0.961	Moderately Sorted
SKEWNESS (Sk)	0.038	Symmetrical
KURTOSIS (K)	1.066	Mesokurtic

Abstract

The aim of this research is studies about mechanism and performance of gorgan bay and miankaleh sand spit with field and numerical studies and suggested the best way for reborn gorgan bay in time of closure inlet. Miankaleh sand spit and gorgan inlet always are changing due hydrodynamic factors. Different factors such as wind, wave, current, storm, area slope and sea level change are effective in this transformation, which each factor or interaction each factor left behind some physical evidence in the beach. In this research used field studies along with numerical modeling by mike 21 (HYDRODINAMIC, HD. SPECTRAL WAVE, SW. SEDIMENT TRANSPORT, ST).

According to result of this research, miankaleh coasts are type of dissipative coasts and wave energy and current speed reduced from west to east and most grain detemeter is 0.106mm and west zone of miankaleh coasts has erosional properties and the east zone has depositional properties. From west to east of studies area, results shows increases intensity sensitively of coasts toward sea level changes. Most edd height formed due storm in east coasts is about 40 centimeter and can bring up bay level to 15-20 centimeter. The volume of depositional sediments in gorgan inlet formed from sea level changes in Caspian Sea (field studies) and ashooradeh channel stand due low wave energy. Directional average of current in one year in out of bay is from west to east and in the bay is acts as counter clockwise.

The rate of sediment discharge in gorgan inlet is 0.001 cubic meter per second per 1 meter and rate of bed level changes in inlet is less than 1 centimeter per day while rate of sediment discharge in miankaleh beach is less than 0.00002 cubic meters per second per 1 meter.

Gorgan inlet closure due 3 scenario, first scenario is reduced sea level until inlet closure. Second is acts of reduce sea level with big storm and the third scenario is acts sea level rise and sea level fall after together.

According to studies on research in this field , offer solutions such as construction of protective structures and dredging the channel for aim of keep connected water bay to sea is inefficiently recommended and the best solution for keep the bay safe is construction an artificial channel in west zone of miankaleh coasts recommended and allocated.

Key words : beaches morphology, sea level changes, mike 21, gorgan bay, miankaleh sand spit, beaches grouping, wave hydrodynamic



Faculty of Civil Engineering
M.Sc. Thesis in Coastal Engineering, Ports and Marine Structures

**Necessity measurement and engineering techniques for a safe and stable
connection between Gorgan bay and Caspian Sea**

By: Saeid Roodbari Shahmiri

Supervisor:

D. M. Adjami

D. H. Khoshravan

February 2017