

## تحلیل ژئومورفیک در تعیین سلول‌های ساحلی و نقش آن در مدیریت ساحلی (مورد مطالعه: سواحل بندر انزلی تا چالوس)

مجتبی یمانی\*؛ استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران  
ابوالقاسم گورابی؛ استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران  
مهیار حقیقی؛ دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۰۲

### چکیده

سیستم‌های ساحلی یکی از سیستم‌های پیچیده محیطی هستند که تحت تأثیر فرایندهای هیدرودینامیکی خشکی و دریا دچار تغییرات سریع می‌شوند. در این پژوهش برای تعیین سلول‌های ساحلی به منظور مدیریت بهینه محدوده ساحلی بین بندر انزلی تا چالوس نگاهی سیستمی به این موضوع شد. نقشه‌های توپوگرافی و ژئومورفولوژی، داده‌های هیدرولوژی رودخانه‌ها، داده‌های هیدرودینامیک دریا، و تصاویر ماهواره‌ای مهم‌ترین داده‌های پژوهش بودند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از ارزیابی حجم دبی جریان و رسوب، شناسایی عمق فعال رسوبی، تحلیل دینامیک موج و جریان با نرم‌افزارهای Arc GIS 10.5 و Excel 2016 انجام شد. طی این مراحل طول نوار ساحلی به ۴ سلول رسوبی تفکیک شد. هر یک از این سلول‌ها، با توجه به جریان رسوب و شرایط محیطی و سایر عوامل تأثیرگذار، متمایزند. نتایج نشان داد رودخانه‌ها از پدیده‌های مهمی هستند که در تفاوت ژنتیکی سلول‌های رسوبی، در کنار سایر عوامل ژئومورفولوژیکی، نقشی مهم در تعیین سلول‌های ساحلی داشته‌اند. هر یک از سلول‌ها، با توجه به ماهیت و فرایندهای همگن، یک واحد مدیریت ساحلی شناسایی شدند. بدیهی است سلول‌های تعیین شده می‌توانند در مدیریت بهینه ساحل، مدیریت یکپارچه ساحل، و همچنین کنترل آثار مخرب ناشی از فرایندهای ساحلی مؤثر باشند.

کلیدواژگان: ژئومورفولوژی ساحلی، ساحل بندر انزلی، ساحل چالوس، سلول ساحلی، مدیریت ساحلی.

### مقدمه

شناسایی و طبقه‌بندی سواحل، با توجه به خصوصیات طبیعی و غیر طبیعی آن، جهت توسعه پایدار و حفظ و احیای منابع آب و خاک اراضی ساحلی و توسعه فعالیت‌های عمرانی، کشاورزی، شیلاتی، و جهانگردی امری ضروری است. در حال حاضر، طیف گسترده‌ای از ابزارها و تکنیک‌های ژئومورفولوژیک در شناخت تحولات تاریخی و پیش‌بینی فرایندها و تحولات آتی سواحل کمک‌های شایانی به طبقه‌بندی و مدیریت سواحل می‌کنند. یکی از آن‌ها روش تعیین سلول‌های ساحلی است.

سلول‌های ساحلی به صورت محفظه‌هایی در ساحل عمل می‌کنند که هر یک دارای یک چرخه کامل رسوبی هستند؛ اعم از منابع تولید ماسه، مسیرهای انتقال، و مخازن رسوب‌گذاری (اسچاردز ۲۰۰۵). از آنجا که در امتداد یک خط ساحلی عملکردهای متفاوت و پیچیدگی زیادی در رفتار فرایندها وجود دارند، این امکان وجود دارد که با سلول‌های ساحلی متعدد، که از نظر شکل و وسعت و حتی عملکرد با یکدیگر متفاوت‌اند، مواجه شویم. بدیهی است از نظر کاربردی این تفاوت‌های سلولی رویکرد متفاوتی را در برنامه‌ریزی می‌طلبد. آنچه مسلم است این است که در کشور ایران مطالعات اندکی درباره سلول‌های ساحلی صورت گرفته است؛ درحالی‌که شناخت نظام‌مند سواحل کشور و آگاهی از کارکرد و ماهیت آن می‌تواند میزان و نوع استفاده از این سواحل را تعیین کند و از طرف دیگر به مدیریت و نگاه‌داشت ساحل کمک کند.

بررسی تعادل رسوبی ساحل و استفاده از مفهوم سلول رسوبی رویکردی جدید و مؤثر در مطالعه انتقال رسوب و تغییرات خط ساحلی در چند دهه اخیر است که بر اساس نگرش سیستمی به تحولات ساحل پایه‌گذاری شده است (داداش‌زاده ۱۳۹۷؛ تام ۲۰۱۸). با استفاده از مفهوم سلول‌های ساحلی می‌توان به درک فرایندهای ساحلی و واکنش‌های ژئومورفولوژیک دست یافت (اسچاردز ۲۰۰۵). پدیده‌ها و فرایندهای دریایی دربرگیرنده اجزای مختلفی از محیط‌های آبی و خشکی- شامل اقلیم و آب‌وهوا، هیدرودینامیک امواج، جریان‌ها، جزرومد و نوسانات تراز دریا، و بالاخره زمین‌شناسی عمومی و رسوبات ساحلی و تعامل آن‌ها با یکدیگر- هستند و به موجب این اجزا و رژیم رسوبی مشابه و همگن سلول‌های رسوبی یا ساحلی تشکیل می‌شود (درفشی و همکاران ۱۳۹۵). همچنین، مشخص شده است که سلول‌های ساحلی بر اساس یک نگرش سیستمی به تحولات ساحل پایه‌گذاری شده است. در این نگرش بخش قابل تفکیکی از ساحل، که به سلول رسوبی موسوم است، به صورت یک سیستم مدل می‌شود که دارای یک سری ورودی نظیر رسوب و وضعیت فعلی ساحل است. یک سلول ساحلی با چرخه رسوبی، شامل منابع تولید رسوب، از صخره‌های فرسایشی و مخازن رسوبی بازشناسی می‌شود. در این چرخه مرزهای سلولی به دو صورت شناسایی و تفکیک می‌شوند: ۱. تعیین مرز سلول رسوبی با استفاده از دماغه‌های سنگی؛ ۲. تعیین مرز سلول رسوبی با استفاده از مخازن رسوبی (سازمان بنادر و دریانوردی ۱۳۹۳).

در خصوص ژئومورفولوژی سواحل ایران و جهان تا کنون پژوهش‌های زیادی انجام شده است که از آن‌ها می‌توان به پژوهش بویزمن (۲۰۰۳)، فری (۲۰۰۴)، سباتر (۲۰۰۶)، تام (۲۰۱۸)، پینادور (۲۰۱۰)، والتون (۲۰۱۲)، ذکرا (۲۰۱۷)، گریگ (۲۰۱۸)، انصاری لاری و ثروتی (۱۳۸۸)، خشروان و همکاران (۱۳۹۰)، مرادپور (۱۳۹۱)، منصور و همکاران (۱۳۹۱)، یمانی و همکاران (۱۳۹۲)، قنواتی و منصور (۱۳۹۲)، کرم و همکاران (۱۳۹۳)، شانه‌ساززاده و همکاران (۱۳۹۴)، درفشی و همکاران (۱۳۹۵)، یمانی و همکاران (۱۳۹۷)، و داداش‌زاده (۱۳۹۷) اشاره کرد.

در اکثر پژوهش‌های یادشده بر نقش عوامل مورفودینامیک دریا، هیدرودینامیک رودخانه‌ها، و فرایندها و عوارض ژئومورفولوژیک در تعیین و تفکیک سلول‌های ساحلی تأکید شده است. این پژوهش‌ها با روش‌های کمی، همچون برآورد کمی رسوب و چگونگی حرکت مواد رسوبی در ساحل، و همچنین روش‌های کیفی، مانند طبقه‌بندی مورفولوژیکی مناطق ساحلی، به تعیین مرزهای سلول ساحلی پرداخته‌اند.

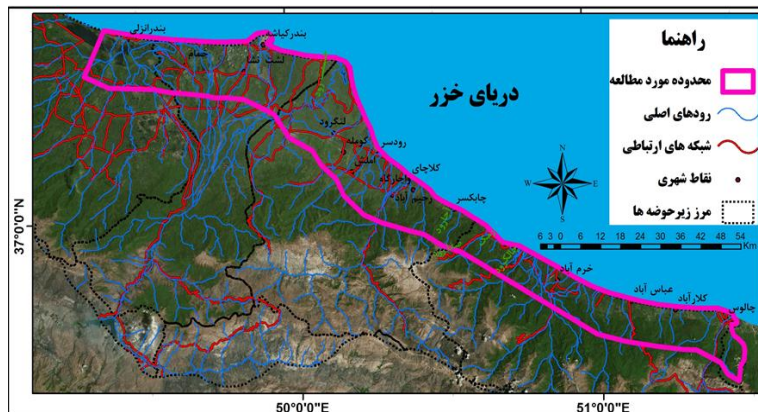
سواحل دریای خزر، به‌خصوص بین چالوس تا بندر انزلی، با اشکال ژئومورفولوژیکی متعدد همراه است. مناظر آن

تحت تأثیر پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی و شرایط هیدرودینامیکی و اقلیمی گوناگون قرار دارد. بیشتر این مناظر، همچون دلتای رودخانه سفیدرود و زبانه‌های ماسه‌ای و جلگه‌ها و دشت‌های سیلابی، تحت تأثیر فرایند رسوب‌گذاری رودخانه‌ای و هیدرودینامیک دریا هستند که در آن حمل رسوب از خشکی، رسوب‌گذاری دریایی، و امواج و جریان‌های دریایی نقش مؤثری دارند (قدرتی و همکاران ۱۳۸۴). همچنین، پیشروی آب در نقاط مختلف دریای خزر با خسارت‌های فراوان همراه است (یوسفی‌روشن و کردوانی ۱۳۹۲: ۶). در این خصوص یمانی و همکارانش (۱۳۸۹) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که عواملی همچون دبی رودخانه‌ها، دبی رسوب، و مقاومت سازنده‌های حوضه‌های آبخیز منتهی به خط ساحلی به طور مستقیم در حجم نقل و انتقالات ماسه در امتداد خط ساحلی تأثیرگذارند. همچنین افشاری‌آزاد و پورکی (۱۳۹۱) اعلام کردند شناخت عوارض ژئومورفولوژیکی ساحلی و تغییرات آن می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت سواحل دریای خزر داشته باشد. بنابراین، عوارض موجود در ناحیه ساحلی خزر مرهون عملکرد فرایندهای زمین‌شناختی، آب‌وهوایی، هیدرودینامیکی، و عوامل انسانی است (عمادالدین ۱۳۹۳).

وضعیت ژئومورفولوژیکی سواحل دریای خزر، به‌خصوص از بندر انزلی تا چالوس، تحت تأثیر شرایط طبیعی و مصنوعی مختلف قرار دارد. مشخصه‌های طبیعی آن تابع شرایط هیدرودینامیکی، زمین‌شناختی، و اقلیمی حاکم بر منطقه است و بروز هر گونه تغییر در این ویژگی‌ها تأثیر قابل توجهی بر مورفولوژی ساحل بر جای می‌گذارد. سازه‌های ساحلی نیز از ویژگی‌های مصنوعی یادشده هستند که توسعه یا حذف کمی و کیفی آن‌ها در چگونگی اوضاع ژئومورفولوژیک خط ساحلی بندر انزلی تا چالوس مؤثر است. بدیهی است وضعیت کنونی سواحل مورد مطالعه نتیجه عملکرد توأم شرایط یادشده است. پژوهشگران در این پژوهش به دنبال پاسخ این سؤالات بودند که سلول‌های ساحلی بین بندر انزلی تا چالوس چه مشخصاتی دارند و مرزبندی آن‌ها بر اساس چه شاخص‌هایی باید انجام پذیرد و این سلول‌ها در مدیریت نواحی ساحلی چه کاربردی دارند؟ با توجه به سؤالات مطرح‌شده، هدف پژوهش شناسایی عوامل ژئومورفولوژیکی و مورفودینامیکی تأثیرگذار در محدوده ساحلی مورد بررسی بود. بدیهی است حوزه‌های گوناگونی می‌توانند در مدیریت آن مشارکت داشته باشند و این موضوع مسئله دیگر پژوهش را تشکیل داد. ازین‌رو، در پژوهش حاضر سعی شد، به منظور طبقه‌بندی سواحل و تعیین سلول‌های ساحلی، فرایندهای مورفودینامیکی و ساختارهای رسوبی آبراهه‌ها و پیش‌کرانه بررسی شود و نتایج حاصل از طبقه‌بندی ساحلی جهت ارائه یک روش کاربردی هم‌سو با مدیریت بهینه سواحل مورد بررسی به کار گرفته شود.

### موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (بندر انزلی تا شهر چالوس)

محدوده مورد مطالعه حد فاصل بندر انزلی در استان گیلان با مختصات جغرافیایی  $37^{\circ}28'15''$  عرض جغرافیایی و  $49^{\circ}27'44''$  طول جغرافیایی تا شهر چالوس در استان مازندران با  $36^{\circ}40'12''$  عرض جغرافیایی و  $51^{\circ}27'13''$  طول جغرافیایی را پوشش می‌دهد (شکل ۱). با توجه به عوامل اصلی تأثیرگذار بر سلول‌های ساحلی این محدوده از خط ساحلی تا خط تغییر شیب پای دامنه‌های البرز و در سطح دلتای سفیدرود تا مرز تأثیر غیر مستقیم عوامل انسانی بسط داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

### داده‌ها و روش‌ها

داده‌های پژوهش را عمدتاً داده‌های اسنادی و میدانی تشکیل دادند که از منابع مختلف- مانند پایگاه داده‌های موجود در بنادر و کشتیرانی، منابع اطلاعاتی استانداری‌های استان‌های گیلان و مازندران، سازمان زمین‌شناسی، سازمان نقشه‌برداری، اداره هواشناسی- گردآوری شدند. همچنین، بررسی‌های میدانی برای تطبیق یافته‌ها و تعیین برخی داده‌ها انجام شد. عمده‌ترین آن‌ها داده‌های زمین‌شناسی، داده‌های هیدرودینامیک رودخانه‌ها (دبی جریان و رسوب سالیانه)، داده‌های هیدرودینامیک دریا (جریان و جهت موج)، مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) ۱۲/۵ متر (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۸)، داده‌های مورفومتری سطحی و توپوگرافیک- شامل شیب و جهت دامنه، داده‌های سطح تراز آب دریا، داده‌های عمق فعال رسوبی، دانه‌بندی رسوبات ساحل، داده‌های مشاهدات میدانی- است.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در پژوهش

داده‌ها	زمینه کار بردی
هیدرودینامیک رودخانه‌ها شامل دبی رسوب سالیانه	برای برآورد حجم رسوب حمل شده توسط رودها و تعیین منابع رسوبی درون سلول‌ها
داده‌های موج و جریان (خشروان ۱۳۸۶) داده‌های مورفومتری و توپوگرافی (سازمان بنادر و دریانوردی ۱۳۹۳)	برای تحلیل و تعیین منابع و مسیر جابه‌جایی رسوب و همچنین تعیین مرز سلول‌ها برای تعیین شیب و جهت شیب
داده‌های تراز آب دریا (لاهیجانی ۱۳۷۸)	برای تعیین پیشروی و پسروی سواحل
داده‌های هیدروگرافی و عمق فعال رسوبی	برای مطالعه فعالیت رسوبی در اعماق نزدیک ساحل و تعیین مرز سلول رسوبی در دریا
تصاویر ماهواره‌ای دانه‌بندی رسوبات بستر (یمانی و همکاران ۱۳۹۷)	برای مطالعه لندفرم‌های ساحلی و محاسبه میزان تغییرات در سلول‌های رسوبی برای طبقه‌بندی نوع رسوبات سواحل
داده‌های مشاهدات میدانی	برای کنترل نتایج به‌دست‌آمده و همچنین مطالعه و تصویربرداری از لندفرم‌های منطقه

ابزارهای پژوهش شامل نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲، مدل‌های رسوب‌سنجی ایستگاه‌های هیدرومتری، داده‌های موج بویه‌نگار بندر انزلی و رودسر و چالوس بود. نرم‌افزارهای مورد استفاده شامل نرم‌افزار Arc GIS 10.5 و Excel 2013 بود.

تجزیه و تحلیل داده‌ها بر پایه روش تحلیلی استوار بود که طی آن ابتدا همه خطوط ساحلی محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای موجود در نرم‌افزار Google earth بررسی و تعیین حدود شدند. در این مرحله، خط ساحلی بر مبنای عوارض ژئومورفولوژیک یکپارچه در مقیاس بزرگ، مانند سواحل ماسه‌ای قاعده دلتاها و سواحل شنی و قله‌سنگی و انسان‌ساخت، دسته‌بندی شدند. شناسایی و تدقیق این عوارض و لندفرم‌ها با استفاده از نقشه ژئومورفولوژی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ این سازمان انجام شد. در مرحله بعد، بازدید میدانی از محدوده مورد مطالعه به میان آمد و کل مرزهای تعیین شده در میدان بازبینی و از مکان‌های نمونه مرتبط با هر یک از زیرگروه‌ها عکس‌برداری شد و ویژگی‌های لندفرمی ساحل جمع‌آوری و طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های هیدرومتری (دبی جریان و رسوب) رودخانه‌ها و هیدرودینامیک ساحل پرداخته شد. در این مرحله، جهت تشخیص عوامل مؤثر بر تولید رسوب (رودخانه‌ها و فرسایش کرانه‌ای)، تغییرات حجم رسوب و جهت جابه‌جایی رسوب شناسایی شد. در خروجی این مرحله، با توجه به ویژگی‌های مشترک هیدرودینامیکی (جهت موج و جریان‌های دریایی) و شبکه رسوبی سواحل و همچنین جهت انتقال رسوب در امتداد و موازی خط ساحلی با حرکت شکست امواج تقسیم‌بندی شدند. در مرحله بعد، عوامل تعیین‌کننده مرز سلول‌های رسوبی جمع شدند. در این مرحله مرز جداکننده سواحل، که آن‌ها را به لحاظ ویژگی‌های یادشده از یک‌دیگر متمایز می‌کرد، ترسیم و سلول‌های رسوبی اصلی تعیین شدند. مرز سلول‌های رسوبی را عوارض ژئومورفولوژیک بزرگ (مانند دماغه‌ها) و سازه‌های مصنوعی بزرگ، که توانایی به دام انداختن رسوب را دارند و مانع جابه‌جایی رسوب در مقیاس‌های زمانی بزرگ (۲۰ تا ۱۰۰ سال) می‌شوند، تشکیل می‌دهند. علاوه بر این، با استفاده از نقشه‌های ژئومورفولوژی و داده‌های رسوبی رودخانه‌ها، تغییرات خط ساحلی، هیدرومتری، پروفیل‌های عمود بر ساحل، و همچنین نمودار انتقال رسوب موازی ساحل، مخازن، و مسیر غالب جابه‌جایی رسوبات تعیین شد. همچنین، ویژگی‌های مشترک ژئومورفولوژیکی، هیدرودینامیکی، حجم و جهت جابه‌جایی رسوب با مقیاس زمانی و مکانی کوچک‌تر دسته‌بندی و مرزهای ثابت جزئی به منزله مرز زیرسلول‌ها تعیین شد.

در مرحله نهایی مرز سلول‌ها در پس‌کرانه خشکی و محیط دریا تعیین شد. جهت تعیین مرز سلول در پس‌کرانه از پارامترهای متعدد، از جمله هیدرودینامیک دریا و هیدرودینامیک خشکی و نیز ویژگی‌های بستر (مانند شیب)، استفاده شد. مرز دریایی سلول‌ها با استفاده از مرز عمق فعال رسوبی ترسیم شد. پس از تعیین مرز سلول‌های رسوبی با استفاده از داده‌های رسوب ورودی رودخانه‌ها و شبکه رسوبی و تغییرات خط ساحلی، به تحلیل آن در محیط GIS پرداخته شد. سپس نقش سلول‌های ساحلی در مدیریت ساحلی بررسی و ارتباط بین سلول‌های ساحلی و ابعاد مختلف مدیریت ساحلی و نحوه تأثیر آن در مدیریت بهینه سواحل خزر بین چالوس و بندر انزلی مطالعه شد. فرایند پژوهش و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. سلسله مراتب پژوهش برای تعیین سلول های ساحلی

## یافته‌ها

با توجه به نقش عوارض ژئومورفولوژیکی در ارتقای کیفیت مدیریت ساحلی، در این بخش به شناسایی لندفرم‌های محدوده ساحلی بین چالوس و بندر انزلی پرداخته شد. این لندفرم‌ها در چند گروه طبقه‌بندی شدند.

### لندفرم‌های منطقه ساحلی و نقش آن‌ها در شناسایی سلول‌های ساحلی

**لندفرم دامنه‌ها:** دامنه‌های مسلط به جلگه ساحلی بین چالوس و بندر انزلی بلندی‌های بخش شمالی جنوبی جلگه را پوشش می‌دهند. دامنه‌ها در طبقات شیب بیش از ۲۰ درصد قرار می‌گیرند. مشخصه دامنه‌ها پوشش جنگلی آن‌هاست و دارای حداقل برون‌زد سنگی هستند. از طرفی شبکه آبراهه‌ها به دلیل بارش بسیار زیاد در طول سال روی این لندفرم نسبتاً متراکم است و آن‌ها را زهکشی می‌کند. مساحت این لندفرم حدود ۹۷۰/۴۵ کیلومترمربع است و ۲۹/۲۳ درصد از محدوده مورد مطالعه را پوشش داده است.

**دشت‌های ساحلی ۲ (جلگه):** دشت واحد ژئومورفولوژیکی اصلی است. این واحد از زیرواحدهای دیگر تشکیل شده است؛ شامل دشت‌های آبرفتی، دشت‌های پست، دشت‌های دامنه‌ای، مخروط‌افکنه، و دشت‌های سیلابی. از بین لندفرم‌های مورد نظر دشت‌های آبرفتی یا رسوبات حاصل از رودخانه‌ها با ۲۴/۹۵ درصد و دشت‌های سیلابی با ۱۶/۴۰ درصد بیشترین وسعت دشت را پوشش داده‌اند.

**پس کرانه ماسه‌ای ۳:** این لندفرم بالغ بر ۱۹/۶ درصد از محدوده مورد مطالعه را تحت پوشش قرار داده است.

**مناطق توسعه یافته:** مناطق توسعه یافته شامل مناطق مسکونی، بندرگاه‌ها، و سایر مناطق حفاظت‌شده و

1. Hill Slope
2. Coastal Plain
3. Beach & Beach Barrier



موج‌شکن کاربرد دارد؛ درحالی‌که واحدهای جلگه‌ای برای استقرار سکونتگاهی و زراعی مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. گستره این بخش بین شهرهای چالوس و خرم‌آباد بسیار اندک است و به صورت نوار باریکی بین خط ساحلی و واحد دامنه کشیده شده است. در نوار ساحلی بین شهرهای چابکسر تا کلاچای فاصله بین خط ساحلی تا کوهستان کاهش می‌یابد؛ درحالی‌که بین رودسر تا بندر انزلی از وسعت بیشتری برخوردار است. در پهنه اخیر، اراضی کشاورزی و سکونتگاهی توسعه پیدا کرده‌اند.

### پهنه‌بندی منطقه ساحلی

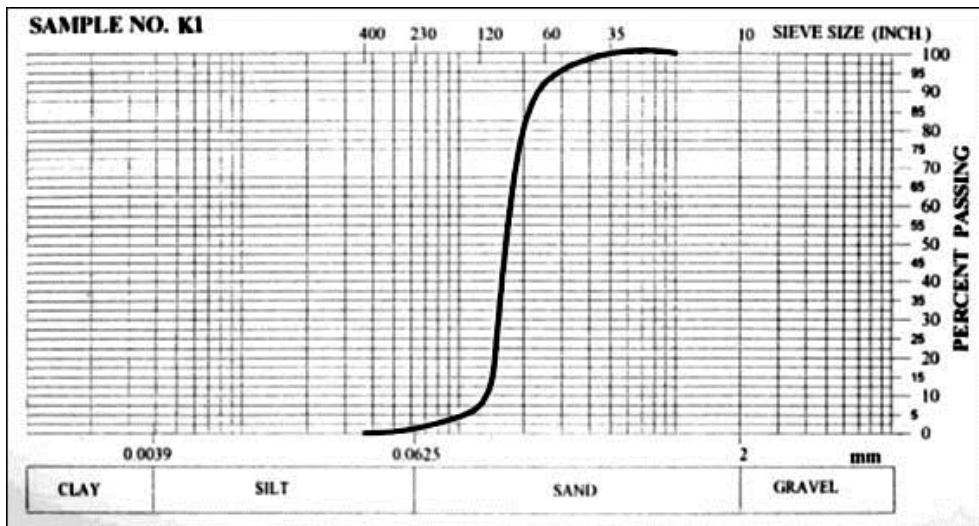
پهنه‌بندی منطقه ساحلی مبتنی بر مواد تشکیل‌دهنده و خصوصیات لندفرمی انجام شد. این نوع پهنه‌بندی، به‌رغم اهمیت خود، تا کنون به طور جامع و فراگیر مورد توجه قرار نگرفته است. در این مطالعه از آخرین یافته‌ها و مطالعات سازمان بنادر و دریانوردی (۱۳۹۳) برای نوار ساحلی استان‌های گیلان و مازندران استفاده شد. در پهنه‌بندی نوار ساحلی سازمان یادشده از روش اونز (۱۹۹۴) استفاده شده است. از طرفی، تصویر ماهواره‌ای IRS با دقت ۶ متر و نیز گزارش‌های اندازه‌گیری میدانی و ژئوتکنیک، که در آن‌ها اطلاعات نوع و جنس مواد ساحلی ارائه شده، در این رده‌بندی استفاده شد (سازمان بنادر و دریانوردی ۱۳۹۳: ۹۱). این پژوهش‌ها در جدول ۲ درج شده است.

جدول ۳. پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه پوشش و کاربری جلگه خزر در محدوده مورد بررسی

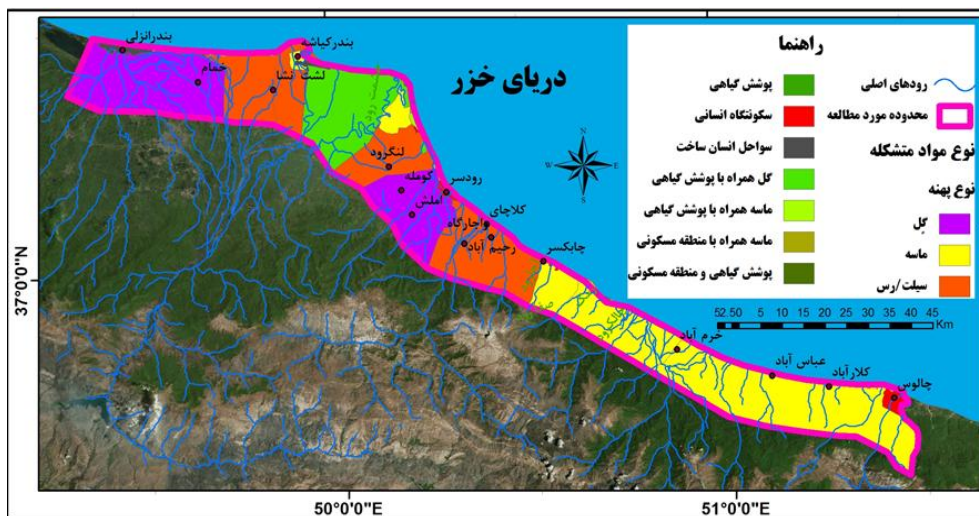
ردیف	نام ساحل یا بندر	مشخصات پژوهش
۱	کیاشهر	مهندسين مشاور سازه‌پردازان (۱۳۷۰)، گزارش بندر صیادی کیاشهر
۲	بندر انزلی	مهندسين مشاور ایران‌خاک (۱۳۷۳)، گزارش مطالعات مکانیک خاک و مهندسی پروژه شیلات بندر انزلی
۳	کیاشهر	مهندسين مشاور سازه‌پردازان ایران (۱۳۷۳)، گزارش مطالعات رسوب‌گذاری محدوده بندر کیاشهر به منظور بهینه کردن طرح آبشکن‌های دهانه
۴	رودسر	مهندسين مشاور دریابندر (۱۳۷۸)، گزارش مطالعات خدمات مهندسی مرحله اول بندر صیادی رودسر
۵	سواحل بخش جنوبی دریای خزر	خشروان (۱۳۸۶)، طبقه‌بندی مورفودینامیکی سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس ساختارهای رسوبی بستر
۶	سواحل جنوبی دریای خزر	خشروان و همکاران (۱۳۹۰)، ناحیه‌بندی سواحل جنوبی دریای خزر بر اساس شواهد مورفودینامیک رسوبی
۷	سواحل غربی دریای خزر	افشاری آزاد و پورکی (۱۳۹۱)، طبقه‌بندی و تحلیل پدیده‌های ژئومورفیکی سواحل غربی خزر با رویکردی به نوسانات سطح آب دریا
۸	سواحل استان مازندران	کمیجانی (۱۳۹۵)، طبقه‌بندی هیدرودینامیکی سواحل جنوبی دریای خزر- استان مازندران

نتایج نشان داد نوار ساحلی بین بندر انزلی و چالوس دو گروه از مواد پایدار و غیر پایدار را پوشش می‌دهد. سواحل

پایدار شامل سواحل انسان‌ساخت و سواحل غیر پایدار شامل ردهٔ زیستی و غیر زیستی است. بنادر موجود در محدودهٔ مورد مطالعه، از جمله بندر انزلی و بندر کیشهر، به صورت سازه‌های بتنی و لاشه‌سنگی مرکب از موج‌شکن‌ها هستند. طی سال‌هایی که تراز آب دریای خزر بالا آمده است، در بخش‌های مختلفی از نوار ساحلی سازه‌های موج‌شکن استقرار یافته است که پهنه‌بندی آن‌ها به علت مقیاس و ابعاد کوچکشان به راحتی امکان‌پذیر نیست. سواحل غیر مستحکم سواحل استان گیلان و مازندران شامل پنج زیرردهٔ ساحلی قله‌سنگی، شنی، گلی، ماسه‌ای، و سیلتی رسی است. ردهٔ ماسه‌ای و سیلتی بیشترین مساحت محدودهٔ بین بندر انزلی و چالوس را به خود اختصاص داده است. سواحل ماسه‌ای به صورت تپه‌های ماسه‌ای ساحلی و پهنه‌های ماسه‌ای رخنمون دارد. ذرات ماسهٔ متشکلهٔ این مناطق از دو منشأ دریایی و خشکی هستند و فرایندهایی مانند امواج و جریان‌های دریایی از یک سو و آورد رسوب رودخانه‌ای و بادی از سوی دیگر در توسعهٔ آن نقش دارند.



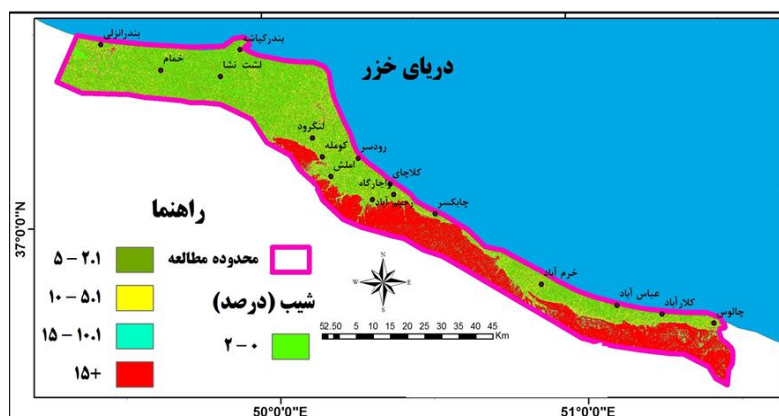
شکل ۴. منحنی دانه‌بندی رسوبات سواحل ماسه‌ای در منطقه کیشهر (شرکت جهاد تحقیقات آب و نیرو ۱۳۷۵)



شکل ۵. پهنه‌بندی ساحلی بر اساس مواد متشکله (سازمان بنادر و دریانوردی ۱۳۹۸ (با تغییرات))

### طبقه‌بندی شیب محدوده مورد بررسی و تأثیر آن در شناسایی سلول‌های ساحلی

نقشه شیب نشان می‌دهد منطقه ساحلی در بخش‌های بندر انزلی تا رودسر دارای شیب بسیار کم و نزدیک به صفر است. این شیب بیشترین پهنه سواحل غرب محدوده مورد مطالعه را پوشش داده است. از بندر کیشهر به سمت شرق شیب افزایش پیدا می‌کند و به ۰/۶ درصد می‌رسد. این شیب به سمت شرق با اندکی کاهش در محدوده امیرآباد کم‌کم به ۰/۵۲ درصد تقلیل می‌یابد. سواحل دماغه کهنه سفیدرود از مناطقی است که به شدت تحت تأثیر برخورد امواج و فرسایش هیدرودینامیکی است. در این بخش شیب ساحل تا حدی افزایش می‌یابد و به ۰/۸۹ درصد می‌رسد. از دماغه کهنه سفیدرود به تدریج شیب عمومی ساحل کاسته می‌شود. پس از آن شیب عمومی از چابکسر تا سلمان‌شهر و بعد از آن تا دلتای رود چالوس به ۱/۱ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۶. پهنه‌بندی شیب عمومی منطقه ساحلی بین چالوس و بندر انزلی

### ارزیابی بار رسوبی رودخانه‌ها جهت تعیین سلول ساحلی

یکی دیگر از منابع مهم تولید رسوب در نوار ساحلی بین چالوس و بندر انزلی آورد رسوبات از رودخانه‌های مختلف است. بنابراین، برای سنجش رسوب رودخانه‌ها، از چندین ایستگاه هیدرومتری با داده‌های هم‌زمان جریان و رسوب استفاده شد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان‌های گیلان و مازندران ۱۳۹۸). با استفاده از این داده‌ها به اندازه‌گیری میزان رسوب و آورد رودخانه‌ها پرداخته شد. برای این منظور از رابطه ۱ استفاده شد.

$$Q_s = aQ_w^b \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱،  $Q_s$  دبی رسوب بر حسب تن در روز،  $Q_w$  دبی جریان بر حسب متر مکعب بر ثانیه، و  $a$  و  $b$  ضرایب معادله انتقال رسوب‌اند.

همچنین برای تبدیل مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت مواد رسوبی معلق به دبی رسوب از رابطه ۲ استفاده شد.

$$Q_s = 0/0864 C \cdot Q_w \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۲،  $Q_s$  دبی مواد رسوبی معلق یا بار معلق بر حسب تن در روز،  $Q_w$  دبی جریان بر حسب متر مکعب بر

ثانیه، و C متوسط غلظت مواد رسوبی معلق بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است.

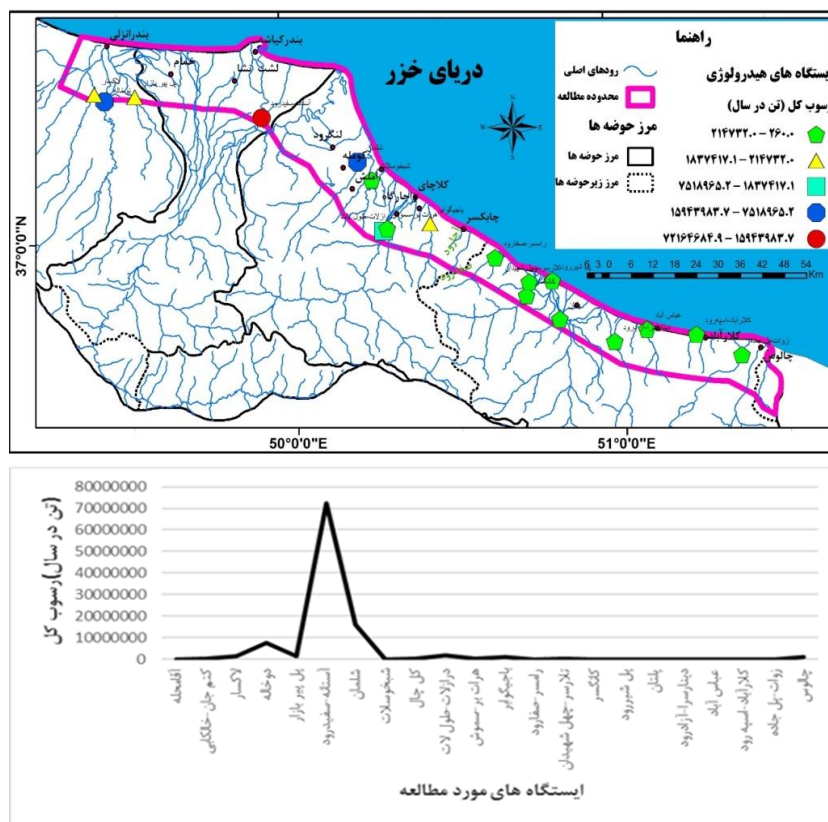
پس از به دست آمدن میانگین بار معلق رسوبی برای یک دوره حداقل پنج‌ساله محاسبه شد. از طرفی با در نظر گرفتن ۱۰ درصد بار بستر (کالوندی و همکاران ۱۳۸۹؛ رستگار و حبیبی ۱۳۹۰) کل بار رسوب به دست آمد که در جدول نشان داده شده است.

جدول ۴. بار رسوبی رودخانه‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری محدوده مورد مطالعه

نام ایستگاه	نام رودخانه	بار معلق اندازه‌گیری شده (تن در سال)	بار بستر (تن در سال)	کل بار رسوب (تن در سال)
آستانه- سفیدرود	سفیدرود	۶۵۶۰۴۲۵۹/۰۱	%۱۰	۷۲۱۶۴۶۸۴/۹۱
شلمان	شلمان‌رود	۱۴۴۹۴۵۳۰/۷۲	%۱۰	۱۵۹۴۳۹۸۳/۷۹
دوخاله	پسیخان	۶۸۳۵۴۲۲/۹۳	%۱۰	۷۵۱۸۹۶۵/۲۲۳
درازالات- طول لات	پل‌رود	۱۶۷۰۳۷۹/۱۹	%۱۰	۱۸۳۷۴۱۷/۱۰۹
پل پیربازار	پیربازار	۱۲۳۱۹۳۴/۵۹	%۱۰	۱۳۵۵۱۲۸/۰۴۹
لاکسار	شاخرز	۱۲۱۹۳۹۳/۹۳	%۱۰	۱۳۴۱۳۳۳/۳۲۳
چالوس	چالوس	۱۰۸۰۰۸۲/۵۷	%۱۰	۱۱۸۸۰۹۰/۸۲۷
باجیگواپر	خشکرد	۸۵۲۹۷۵/۹۳	%۱۰	۹۳۸۲۷۳/۵۲۳
کل چال	شلمان‌رود	۱۹۵۲۱۰/۹۳	%۱۰	۲۱۴۷۳۲/۲۰۲۳
کتم‌جان- خالکایی	خالکایی	۱۷۵۶۴۹/۹۹	%۱۰	۱۹۳۲۱۴/۹۸۹
تلاسر- چهل شهیدان	نصارود	۱۷۵۰۱۸/۵۴	%۱۰	۱۹۲۵۲۰/۳۹۴
هرات‌بر- سموش	سموش	۱۴۵۰۹۰/۲	%۱۰	۱۵۹۵۹۹/۲۲
زوات- پل جاده	سرداب‌رود	۸۳۴۱۴/۷۷	%۱۰	۹۱۷۵۶/۲۴۷
دینارسر- آزارود	آزارود	۱۶۲۶۰/۹۱	%۱۰	۱۷۸۸۷/۰۰۱
شبخوسلات	کیارود	۱۴۷۱۹/۵۴	%۱۰	۱۶۱۹۱/۴۹۶۴۴
عباس‌آباد	کاظم‌رود	۱۰۵۰۸/۸۵	%۱۰	۱۱۵۵۹/۷۳۵
پل شیررود	شیررود	۸۲۲۲/۹۲	%۱۰	۹۰۴۵/۲۱۲
آقامحله	بهمبر	۶۴۳۶/۵۷	%۱۰	۷۰۸۰/۲۲۷
رامسر- صفارود	صفارود	۲۶۹۲/۲۸	%۱۰	۲۹۶۱/۵۰۸
پلتان	سرخ‌رود	۱۸۱۳/۳۴	%۱۰	۱۹۹۴/۶۷۴
کانگسر	چالک‌رود	۱۱۰۲/۰۴	%۱۰	۱۲۱۲/۲۴۴
کلارآباد- اسپه‌رود	اسپه‌رود	۲۳۶/۴۴	%۱۰	۲۶۰/۰۸۴

نتایج نشان داد ایستگاه‌های محدوده بین چالوس و رودسر بین ۲۶۰ تا ۲۱۴۷۳۲ تن رسوب در سال تولید می‌کنند؛ درحالی‌که دشت‌های سیلابی و زیرحوضه تحت رسوبات سفیدرود، واقع بین منطقه امیرآباد و بندر انزلی، دبی رسوبی بیش از ۱۵ میلیون تن در سال دارند. بخش‌های غرب بندر انزلی نیز از رسوب‌دهی کمتر برخوردار است. بخش‌هایی که تحت تأثیر رسوبات رودخانه سفیدرود هستند بودجه رسوبی بالایی دارند. در این بخش‌ها عوارض ژئومورفولوژیکی تحت تأثیر شیب اندک و وزش بادهای نیمروز ساحلی به تشکیل تپه‌های ماسه‌ای منجر شده است. از سویی برخورد امواج و رانش طولی ماسه لن‌دفرم‌های دلتایی، از جمله پیکان‌ها و لاگون‌ها یا تالاب‌های بزرگ و کوچک ساحلی، را ایجاد کرده

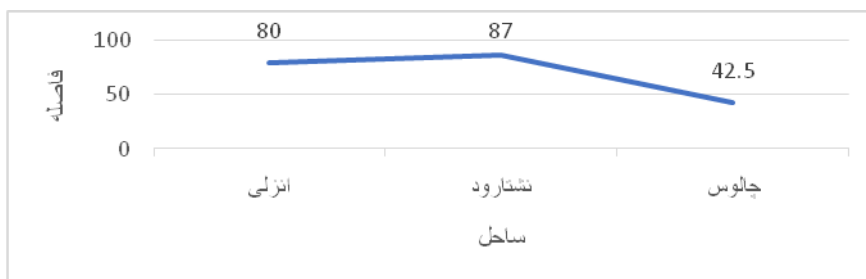
است (شکل ۷).



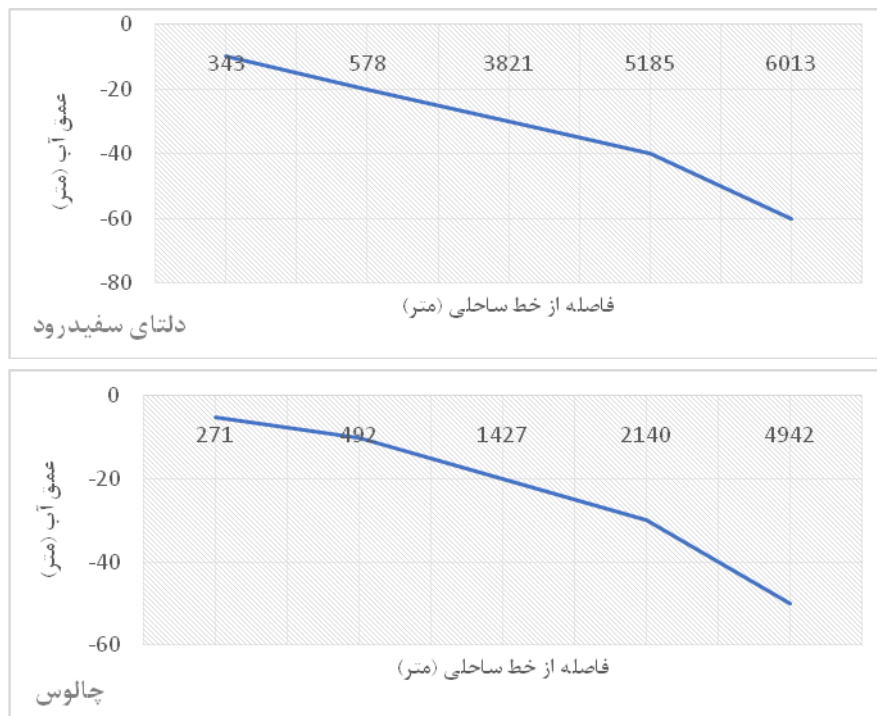
شکل ۸. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و حجم رسوب وارد شده به هر ایستگاه

### ارزیابی هیدرودینامیک در کرانه ساحلی برای تعیین سلول‌های رسوبی

ژئومورفولوژی پیش کرانه: برای مطالعه هیدرودینامیک کرانه بندر انزلی تا چالوس از مطالعات طرح مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی سازمان بنادر و دریانوردی (۱۳۹۳) و چندین کار پژوهشی دیگر (خشروان و همایون ۱۳۷۹) استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد پروفیل خط ساحلی تا ناحیه کم ژرفا (عمق ۱/۵ متر) از چالوس تا بندر انزلی متفاوت است؛ طوری که بیشترین پهنای بین خط ساحلی تا ژرفای ۱/۵ متری مربوط به سواحل نشتارود است. در ساحل چالوس فاصله تا عمق ۱/۵ متر حدود ۴۲/۵ متر، در نشتارود ۸۷ متر، و در انزلی ۸۰ متر است. عرض پشته تا خط ساحلی در چالوس ۴۰، در نشتارود ۱۲، و در بندر انزلی ۲۰ متر محاسبه شده است (خشروان و همایون ۱۳۸۳).



شکل ۹. متوسط عمق آب در بخش‌های نمونه ساحلی تا عمق ۱/۵ متر (خسروان و همایون ۱۳۸۳ (با تغییرات))  
 نتایج نشان‌دهنده آن است که ساحل نشتارود و انزلی به لحاظ عملکرد نیروهای هیدرودینامیک فعال‌تر است و سواحل محدوده چالوس به لحاظ شیب تند در بخش خشک و کم‌عمق ساحلی واجد پویایی و کنش هیدرودینامیکی ثانویه است. این وضعیت در مطالعات سازمان بنادر و دریانوردی (۱۳۹۳) به صورت شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. شیب عمومی بخش‌های ساحلی در شرق دلتای سفیدرود (سازمان بنادر و دریانوردی ۱۳۹۳)

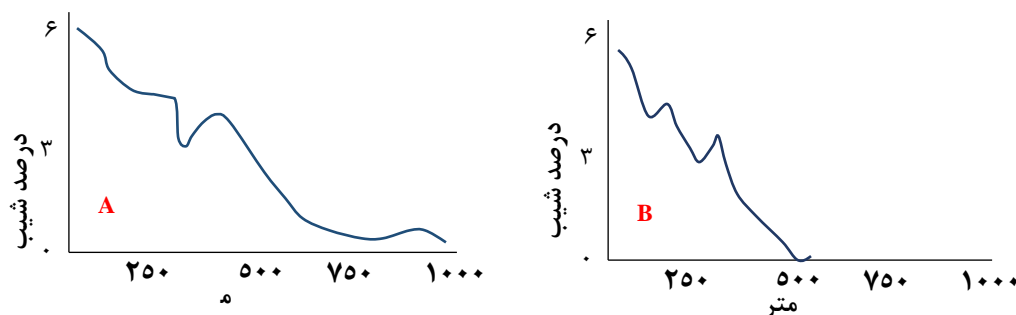
سواحل دماغه کهنه سفیدرود از مناطقی است که به شدت تحت تأثیر برخورد امواج و فرسایش هیدرودینامیکی است. بنابراین، شیب ساحل تند می‌شود و به ۰/۸۹ درصد می‌رسد. از دماغه کهنه سفیدرود تا رودسر، به تدریج، شیب عمومی ساحل کاسته می‌شود و به ۰/۳۵ درصد تقلیل می‌یابد. از این منطقه تا مرز شرقی استان و رامسر شیب عمومی ساحل کم‌کم افزایش یافته و حداکثر به ۰/۵ درصد رسیده است (سازمان بنادر و دریانوردی ۱۳۹۳).  
 ارزیابی پارامترهای رسوبی بستر دریا با توجه به مطالعات سازمان بنادر و دریانوردی (۱۳۹۳) در بخش بین بندر انزلی تا رودسر، رسوبات رودخانه‌ای و دلتایی (سفیدرود، پل‌رود، هراز، لار) پهنه کم‌شیب و گسترده‌ای تشکیل داده است؛ اما در بخش شرق محدوده مورد مطالعه، که از رودسر تا چالوس را در بر می‌گیرد، بستر کم‌ژرفا، ساحل باریک و پرشیب است (جدول ۱). در بسیاری نقاط، برخلاف ژئومورفولوژی بستر کم‌ژرفای دریا، شیب و گستره ساحل خشکی متفاوت است. پراکندگی رسوبات از نظر دانه‌بندی در بستر کم‌ژرف بسیار متفاوت است. رسوبات درشت‌دانه (گراول) در منطقه چالوس تا کلاچای حتی در ژرفای ۳ تا ۴ متر (به میزان ۰/۰۵ درصد) مشاهده شده است. در ناحیه دلتای سفیدرود از

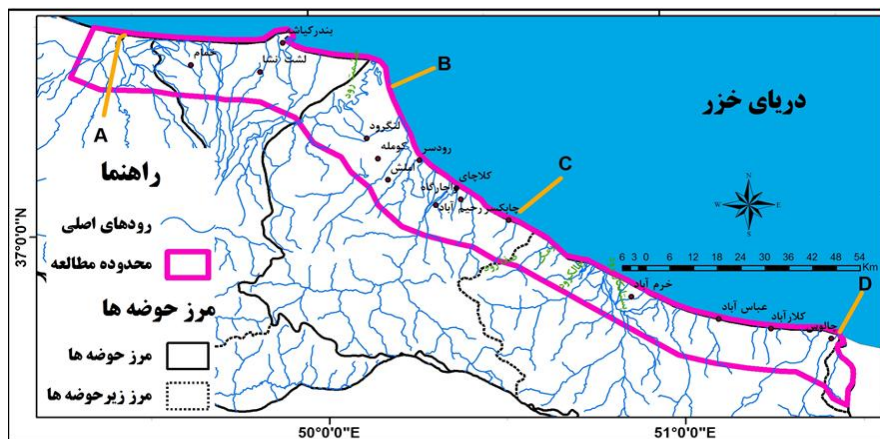
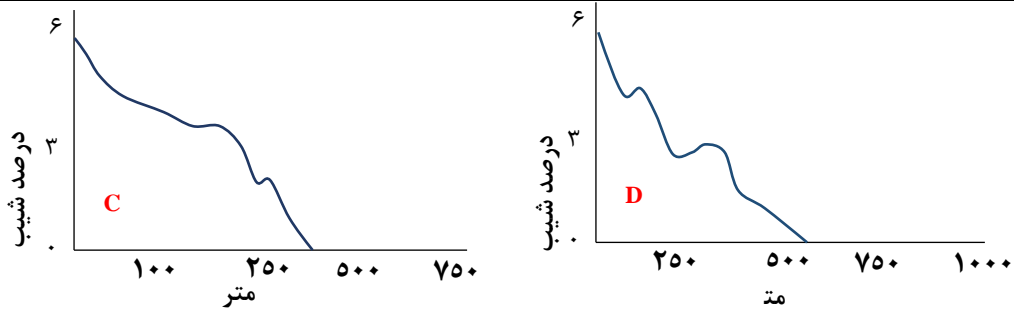
ژرفای ۵ متر آغاز می‌شود. بخش عمده بستر کم‌ژرفای محدوده چالوس تا بندر انزلی رسوبات ماسه‌ای غالب است. در محدوده مورد نظر، حدود ۲۷ رودخانه به دریای خزر می‌ریزند که رسوبات آن‌ها عمده‌ترین منبع تأمین رسوبات ساحلی‌اند (سازمان بنادر و دریانوردی ۱۳۹۳).

جدول ۵. مشخصات نیم‌رخ شیب و نوع رسوبات کرانه بندر انزلی تا چالوس (علی‌زاده ۱۳۹۰ (با تغییرات))

نام	شیب بستر تا ژرفای ۱۰- متر بر حسب درصد	شیب ساحل تا ژرفای ۲۰-متر	نوع رسوبات	نوع رسوبات غالب	در ژرفای ۵-متر
بندر انزلی	۰/۰۰۹	۰/۰۰۲	ماسه	ماسه	ماسه
دستک	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	ماسه	ماسه	ماسه
کلاچای	۰/۰۰۵	۰/۰۱	ماسه	ماسه	ماسه
نشتارود	۰/۰۰۷	۰/۰۸	قلوه سنگ	ماسه	ماسه

بررسی‌های صحرایی نشان داد سواحل شرق محدوده مورد مطالعه تا منطقه رودسر فاقد پشته‌های ساحلی‌اند. در این ناحیه ساحل و بستر پرشیب است و در نتیجه عمل امواج رسوبات به سوی پایین‌دست دریا حرکت می‌کنند و بارهای زیرآبی را تشکیل می‌دهند. در این منطقه، بلافاصله پس از خط آب، گستره پیش‌تپه‌ها آغاز می‌شود. در دیگر نواحی خط ساحلی، به‌خصوص محدوده امیرآباد تا بندر انزلی، در نتیجه عملکرد امواج بر ساحل، پشته‌های ماسه‌ای به ارتفاع حدود ۲ متر تشکیل شده است. بر حسب اینکه شیب ساحل چگونه باشد، در برخی نواحی، به‌خصوص در سواحل بندر انزلی و بخش غرب، محدوده مرداب در پشت تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده است. نمونه بارز آن را در لنگرود و کیشهر می‌توان مشاهده کرد. در این مناطق پهنه ساحلی وسیع و کم‌شیب است. بارندگی زیاد و سطح آب زیرزمینی بالا در این مناطق سبب تشکیل مرداب در پشت تپه‌های ماسه‌ای ساحلی می‌شود. مرداب‌ها به شکل منفرد در نواحی مختلف ظاهر می‌شوند که در برخی نواحی عرض آن‌ها به حدود ۳۰۰ متر می‌رسد. مجموع ویژگی‌های یادشده در مورد منطقه مورد مطالعه سبب شده ساحل در برابر نوسان تراز آب دریای خزر واکنش‌های متفاوت از خود نشان دهد (شکل).





شکل ۱۳. موقعیت مقاطع شیب پیش کرانه در محدوده مورد مطالعه ۱ (علیزاده لاهیجانی ۱۳۹۰) (با تغییرات)

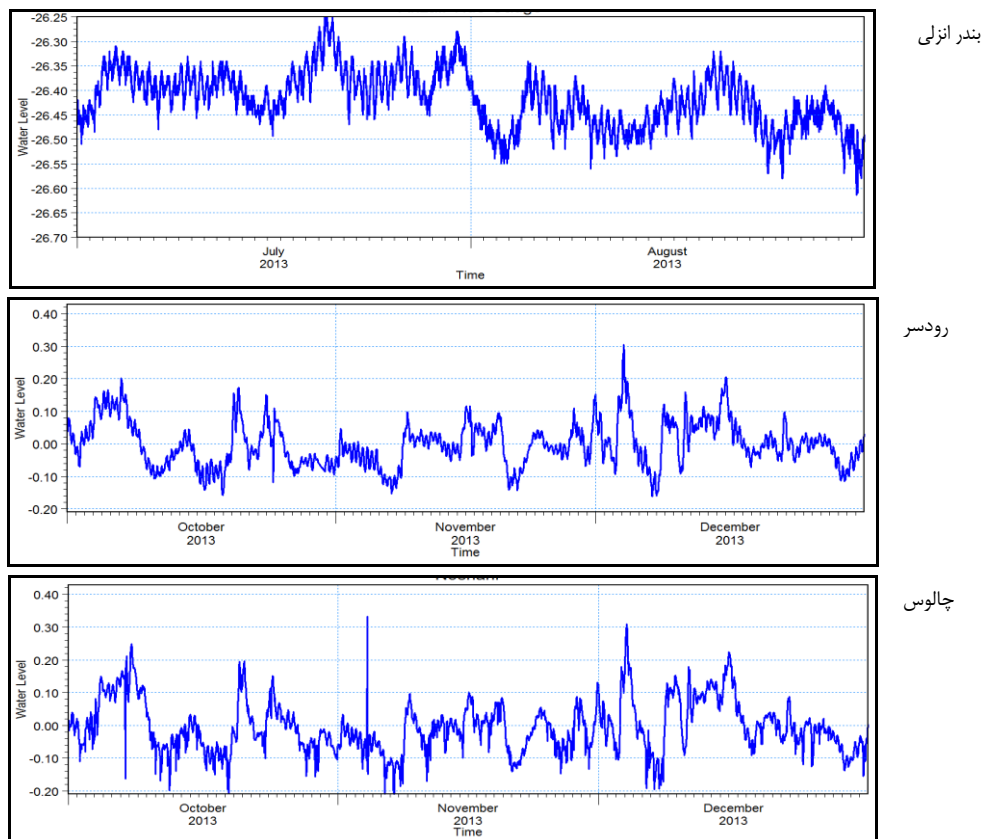
**رویکرد امواج:** اطلاعات مربوط به دامنه عملکردی امواج روی ساحل از مجموعه گزارش‌های سازمان بنادر و دریانوردی در طرح تدقیق مطالعات یکپارچه سواحل استان‌های گیلان و مازندران (۱۳۹۴) استخراج شد. اندازه‌گیری جریان در بازه زمانی اواخر سال ۲۰۱۲ تا اوایل سال ۲۰۱۴ و به مدت بیش از یک سال و در سه ایستگاه بندر انزلی و رودسر و چالوس انجام شده است. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری به ترتیب در جدول دیده می‌شود.

جدول ۶. ایستگاه‌های مورد مطالعه موج و جریان و مختصات جغرافیایی آن‌ها

ایستگاه	نوع دستگاه	مختصات جغرافیایی		عمق ایستگاه (متر)
		Lat	Long	
بندر انزلی	ADCP-Aquadop	۳۷/۴۹۱۲	۴۹/۴۴۸۰	۱۰/۵
رودسر	ADCP-AWAC	۳۷/۲۱۲۸	۵۰/۳۰۴۹	۱۰
جالوس	ADCP-AWAC	۳۷/۲۱۲۸	۵۰/۳۰۴۹	۱۰

(سازمان بنادر و دریانوردی ۲۰۱۳)

۱. نیمرخ بستر کم‌رُفا با نمودار و نقشه برداشت هر نمودار

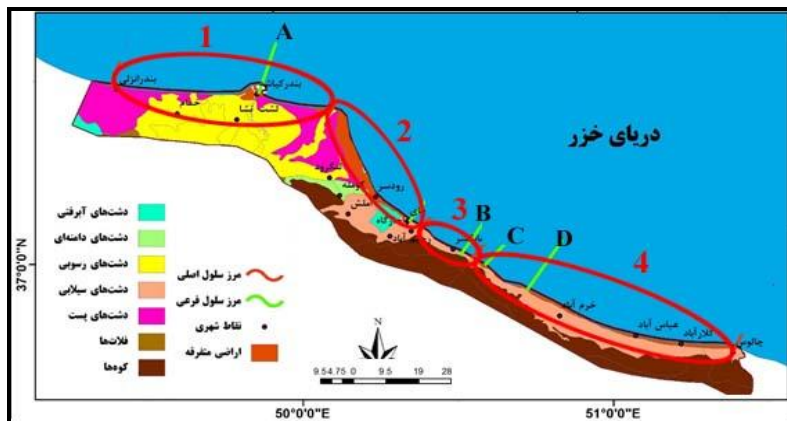


شکل ۱۴. سری زمانی تراز سطح آب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های بندر انزلی و رودسر و چالوس (سازمان بنادر و دریانوردی ۲۰۱۳)

نتایج نشان داد طول موج ایستگاه بندر انزلی با دامنه کم و ارتفاع بیشتری همراه است و شدت موج بیشتر است؛ درحالی‌که وضعیت طول موج و ریتم آن در ایستگاه رودسر و چالوس تا حدودی شبیه هم است و با دامنه موج از هم فاصله زیادی دارد و طول موج هم نسبت به انزلی از ارتفاع پایین‌تری برخوردار است. این وضعیت نشان‌دهنده فعالیت بالای سواحل انزلی به دلیل شیب پایین آن است؛ درحالی‌که کرانه رودسر و چالوس پرسیبتر و قابل تحمل و رسوب‌گذاری امواج دریا کمتر است.

### تعیین مرز سلول‌های ساحلی

نتایج تحلیل مؤلفه‌های مؤثر بر سلول ساحلی بین بندر انزلی و رشت با مدل همپوشانی با هم ترکیب شدند. هر یک از این عوامل در تعیین جهت رسوب‌گذاری، چگونگی تشکیل لندفرم‌ها، و چگونگی استفاده از آن نقش به‌سزایی دارند. نتایج حاصل از ترکیب عوامل یادشده به تشکیل سلول‌های ساحلی منجر شده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۵. تعیین قلمرو سلول‌های ساحلی بین بندر انزلی و چالوس

جدول ۷. مرز سلول‌ها و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی آن‌ها

سلول	مرز سلول	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول	طبقه‌بندی	فرایند غالب	لندفرم غالب
۱	بندر انزلی	۲۷°۴۹'۲۶,۲۳"	۲۸°۳۷'۵۵,۲۹"	۷۰,۴۶	دشت سیلابی	رسوبات رودخانه‌ای	جلگه ساحلی
	امیرآباد	۱۲°۵۰'۰۷,۷۳"	۲۲°۳۷'۳۳,۶۱"				
۲	امیرآباد	۱۲°۵۰'۰۷,۷۳"	۲۲°۳۷'۳۳,۶۱"	۳۸,۵۷	مخروط‌افکنه	رسوبات رودخانه‌ای	جلگه ساحلی
	کلاچای	۲۳°۵۰'۵۸,۲۸"	۰۴°۳۷'۵۳,۶۶"				
۳	کلاچای	۲۳°۵۰'۵۸,۲۸"	۰۴°۳۷'۵۳,۶۶"	۳۱,۱۰	توسعه‌یافته و	رسوبات رودخانه‌ای	مناطق توسعه‌یافته
	رامسر	۴۰°۵۰'۳۴,۵۵"	۵۵°۳۶'۰۹,۷۰"				
۴	رامسر	۴۰°۵۰'۳۴,۵۵"	۵۵°۳۶'۰۹,۷۰"	۸۰,۹۹	مختلط و توسعه‌یافته و	دخالت انسانی و رسوبات ساحلی	کانال و بستر رودخانه، ساحل ماسه‌ای
	چالوس	۳۰°۵۱'۱۸,۲۴"	۲۹°۳۶'۲۴,۲۴,۱۸"				

نتایج نشان داد محدوده بین بندر انزلی و چالوس را می‌توان به ۴ سلول اصلی و ۵ زیرسلول طبقه‌بندی کرد. موقعیت کلی این سلول‌ها در ادامه می‌آید.

**سلول ساحلی ۱.** بین بندر انزلی (بندر کاسپین) تا دماغه امیرآباد قرار می‌گیرد. در محدوده امیرآباد مصب رودخانه حشمت‌رود مرز حوضه اصلی سفیدرود با حوضه لاهیجان‌نور در شرق مصب رودخانه حشمت‌رود است. مورفولوژی این سلول اغلب از ساحل ماسه‌ای و جلگه پست آبرفتی حاصل نهشته‌گذاری سفیدرود تشکیل شده است.

**سلول ساحلی ۲.** از منطقه امیرآباد تا کلاچای (رضامحله) امتداد دارد. مرز این سلول در منطقه امیرآباد، مصب رودخانه تا شرق کلاچای، به صورت دماغه ساحلی تشکیل یافته از پوشش گیاهی و موج‌شکن‌های ساحلی است. همچنین، در مرز سلول ساحلی کلاچای ساخت‌وسازها و دخالت‌های انسانی باعث برجسته شدن این بخش شده است.

**سلول ساحلی ۳.** بین منطقه کلاچای (رضامحله) تا ساحل رامسر قرار دارد. مرز این سلول از شرق منطقه کلاچای

توسط موج شکن و دماغه های سنگی و دارای پوشش جنگلی شروع و به ساحل رامسر ختم می شود.

**سلول اصلی ۴.** از رامسر تا شرق شهر چالوس را پوشش می دهد. مرز این سلول در غرب و منطقه ساحلی

رامسر توسط موج شکن های ساحلی مشخص می شود. در مشرق نیز توسط سازه های ساحلی شهر چالوس و در نهایت بندر نوشهر محدود می شود (شکل ۱۶۷). در مجموع ویژگی های بارز هر سلول ساحلی در جدول ۷ خلاصه شده است.



شکل ۱۶۷. مرز سلول ساحلی در ساحل رامسر (سمت راست) و شرق چالوس (سمت چپ)

#### جدول ۸. مقایسه ویژگی های ژئومورفولوژیکی سلول ها با یکدیگر

سلول ها	بار رسوبی	شیب	تفاوت ها	تشابهات
۱	۸۲۳۸۰۱۱۱,۵۱	بسیار کم	مورفولوژی متفاوت به دلیل منبع رسوب دهی متفاوت هستند.	هر دو سلول نوار کم عرض تری را پوشش می دهند و از شیب بیشتری برخوردارند.
۲	۱۸۱۷۱۹۲۳,۶۴	بسیار کم		
۴	۱۵۱۷۲۸۷,۹۲۶	کم		
۳	۹۳۸۲۷۳,۵۲۳	کم	گستره شیب دو سلول از یکدیگر متفاوت است.	بیان رسوبی کمتر و شیب کمتری دارند.

#### لندفرم های حاصل از رسوب گذاری و ارتباط آن با سلول های ساحلی

لندفرم های حاصل از رسوب گذاری در سلول های رسوبی تا حدودی متفاوت از یکدیگر است. سلول های ۲ و ۱، که بین کلاچای تا امیرآباد و امیرآباد تا بندر انزلی را در بر می گیرند و در استان گیلان قرار گرفته اند، حاصل فرایندهای رسوب گذاری رودخانه سفیدرود و فعال تر از سایر فرایندهای ژئومورفولوژیکی فعال هستند. برخی از این لندفرم ها تشکیل دهنده سلول های ساحلی مورد نظر، لندفرم های کانال رودخانه، پیچان رود رها شده، و تالاب های ساحلی هستند که در آنها فرایند فرسایش نقش اساسی در شکل گیری آنها داشته است. فرسایش خندقی تا آبراهه ای و حفر کانال در واحد دشت در شکل گیری کانال پیچان رود رها شده و فرسایش نوار ساحلی و پیشروی دریا در خشکی در شکل گیری تالاب های سلول بندر انزلی تا امیرآباد نقش داشته است.

در سلول ۴ و ۳، که بخش شرقی محدوده مورد مطالعه را تشکیل می دهد، به جهت شیب زیاد ساحل و نزدیکی دامنه

کوهستان به ساحل، فرایندهای رودخانه‌ای و فرسایش ساحلی متفاوت از دو سلول دیگر عمل می‌کنند. در این محدوده، به دلیل نوسانات فصلی و دوره‌ای تراز دریا و طوفان‌های زمستانه، لندفرم ساحلی در قالب مخروط‌افکنه حاصل شده است. همچنین، در این فرایند عوامل رودخانه‌ای نیز تأثیرگذارند. آورد رسوب رودخانه‌های چالوس، سلمان‌رود، صفارود، و ده‌ها آبراهه فرعی مهم‌ترین نقش را در شکل‌گیری لندفرم دشت ساحلی محدوده مورد نظر داشته‌اند. رسوبات تشکیل‌دهنده لندفرم یادشده دقیقاً از کوهپایه تا دریا روند ریزدانه شدن را نشان می‌دهند و در آن‌ها عوامل حمل رسوبات به روش جورشدگی هیدرولیکی و عمدتاً آبی نقش داشته است. این وضعیت در زیرسلول بین چالوس تا محله شیروود نمود بیشتری دارد. همچنین، از مشخصه برخی سلول‌های ساحلی تعیین‌شده فرسایش کرانه‌ای و تغییرات خط ساحلی است. برای درک فرسایش خط ساحلی از مدل‌سازی امواج محلی با استفاده از مدل عددی طیفی در نرم‌افزار SW. DHI MIKE21 توسط سازمان بنادر و دریانوردی استفاده شد (ADCP<sup>۱</sup>). ایستگاه‌های مورد استفاده شامل ایستگاه‌های بندر انزلی و رودسر و چالوس بوده است.

**فرسایش کرانه‌ای در سلول ۱.** در این سلول فرسایش کرانه‌ای با شکست موج به صورت عمود بر ساحل و افزایش دریا در خشکی همراه است. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در ایستگاه بندر انزلی راستای جریان موج در کرانه ساحلی به سمت غرب تمایل دارد و در مواقعی که ارتفاع موج‌ها زیاد است روند حرکت موج موازی خط ساحل انجام می‌شود؛ اما با پایین آمدن ارتفاع موج جریان به صورت عمود بر ساحل به حالت رفت و برگشت آب به خشکی و دریا صورت می‌گیرد. از آنجا که تعداد آبراهه‌های منتهی به دریا در این سلول بیشتر از سایر سلول‌هاست، میزان آورد رسوبات نیز در این سلول بیشتر از سایر سلول‌های ساحلی است. از طرفی شیب ساحل در این سلول کمتر از سایر محدوده‌های مورد مطالعه است. برای این منظور، بیشترین گستره ساحلی را لندفرم دشت‌های رسوبی به خود اختصاص داده است. در این میان نیروی امواج ساحلی با حمل رسوبات دریا به سمت خشکی در نهایت باعث ایجاد تپه‌های ماسه‌ای در نواحی بندر انزلی شده است.

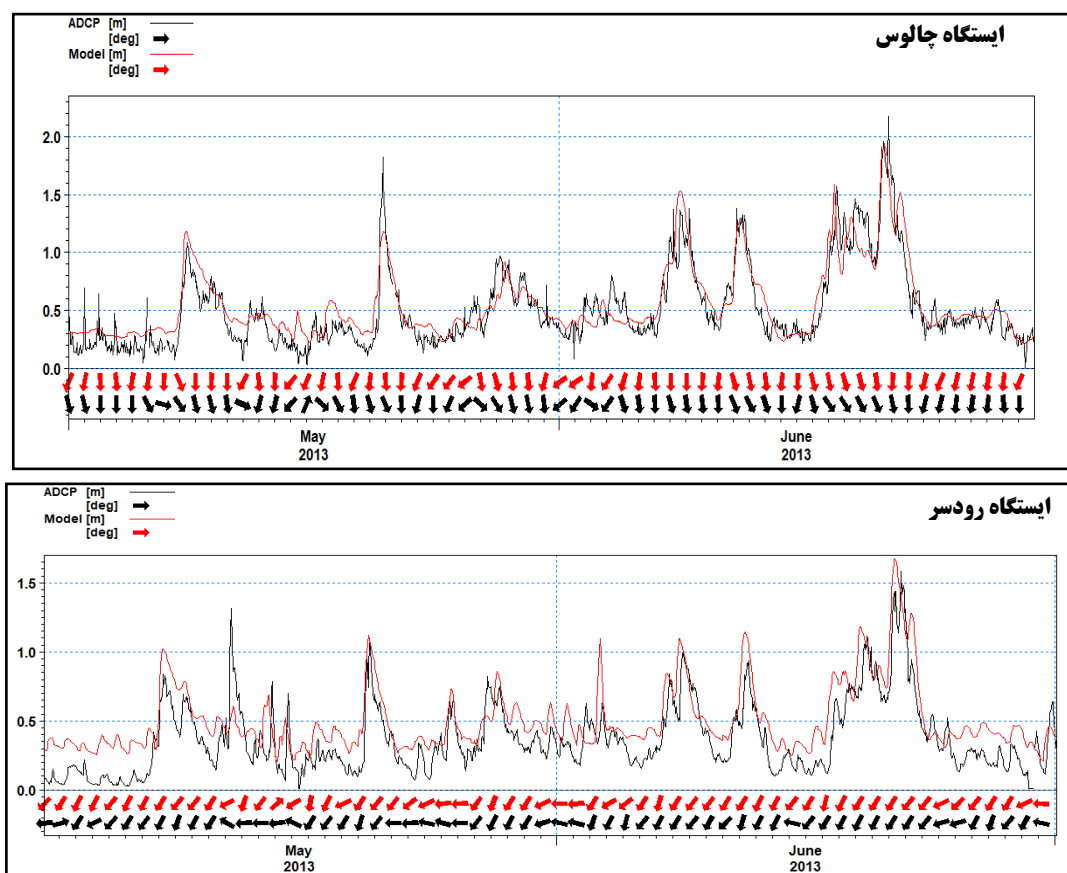
**فرسایش کرانه‌ای در سلول ۲.** در این سلول وضعیت فرسایش و فرایند غالب تغییرات خط ساحلی فرسایش حاصل از امواج و جریان موازی ساحل است. نتایج به‌دست‌آمده از شکل ۱۱ نشان داد با افزایش ارتفاع موج جهت جریان به سمت غرب تمایل پیدا می‌کند. بنابراین، فرایند غالب حمل مواد رسوبی در خط ساحلی و به موازات ساحل از سمت شرق به غرب بوده است. این فرایند در نزدیکی مرز سلول در کلاچای به صورت ماسه‌های ریزدانه همراه پوسته‌های نرم‌تانان است. همچنین، پهنای خط ساحلی نیز با حرکت به سمت غرب سلول و نزدیکی به منطقه امیرآباد گسترده‌تر می‌شود.

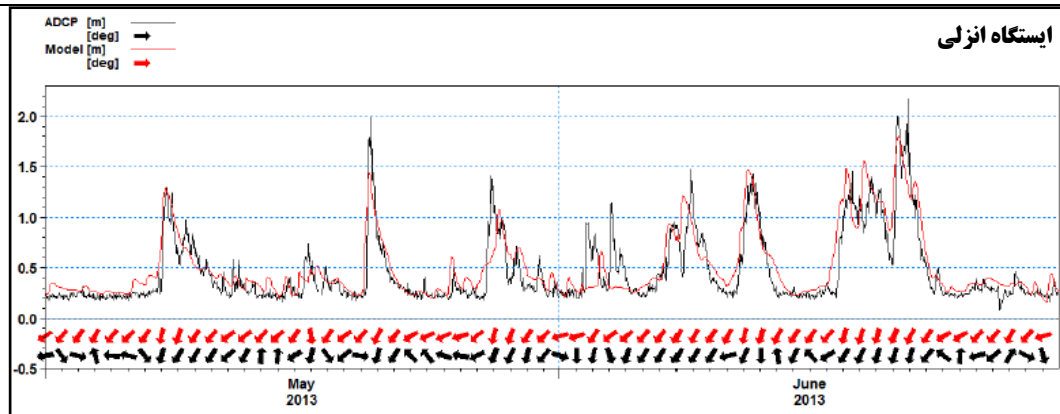
**فرسایش کرانه‌ای در سلول ۳.** در این سلول فرایند فرسایش همچنان شبیه سلول ۱ است؛ اما دستکاری و فرسایش ساحل با فعالیت‌های انسانی به فرایند فوق اضافه می‌شود. در این سلول، به منظور جلوگیری از پیشروی خط ساحل به خشکی، موج‌شکن‌های لاشه سنگی در بیشترین بخش‌های ساحل به کار گرفته شده است.



شکل ۱۷. دخالت‌های انسانی در محدوده ساحلی چابکسر (راست) و رامسر (چپ)

فرسایش کرانه‌ای در سلول ۴. در این سلول فرسایش کرانه‌ای با نوسانات بالایی همراه است؛ بدین صورت که با افزایش ارتفاع موج جریان به سمت غرب تمایل پیدا می‌کند و فرسایش کرانه‌ای با حمل رسوبات به موازات ساحل در جهت غرب به شرق است. با کاهش طول موج، جریان موج به صورت عمود بر ساحل ادامه پیدا می‌کند. در برخی موارد شکست موج با حرکت جریان به سمت غرب همراه است که میزان آن خیلی کم است. این وضعیت در نمودارهای شکل ۱۵ نشان داده شده است.





شکل ۱۸۸. مقایسه سری زمانی ارتفاع و راستای موج در ایستگاه‌های مختلف (سازمان بنادر و دریانوردی ۱۳۹۳)

## نتیجه

جلگه ساحلی خزر متراکم‌ترین بخش جمعیتی کشور را به خود اختصاص داده است. با توجه به رشد جمعیت، تراکم آن نیز رو به افزایش است. یکی از زمینه‌های جذب جمعیت در این جلگه موقعیت ساحلی و دسترسی به دریای خزر است. بهره‌برداری نابسامان و نظارت‌نشده، به‌ویژه در سه دهه اخیر، خسارت‌ها و آسیب‌های جدی به این محیط، به منزله یک زیرمحیط ژئومورفیک، وارد کرده است. تجاوز به حریم ساحلی یکی از این پیامدهای مخاطره‌آمیز است؛ طوری که در سال ۱۳۷۱ با بالا آمدن تراز دریا (۱/۴ متر) خسارات عمده‌ای به سازه‌های استقرار یافته در پس کرانه وارد شد. تکرار چنین وقایعی در آینده نزدیک نیز دور از انتظار نیست. ازین‌رو، تعیین راهبردها و سیاست‌های مدیریت خط ساحلی باید با توجه به فرایندهای دینامیکی مسلط و خصوصیات لندفرمی صورت گیرد. یکی از این راه‌کارها تفکیک قلمرو ساحلی به بازه‌ها یا سلول‌های مشخص و متمایز از نظر عملکردی و سپس کاربردی است؛ سلول‌هایی که بتواند، با توجه به شرایط سیستمی حاکم بر هر یک، راهکار مدیریتی متناسب با آن سیستم را ارائه کند. اگرچه مسائل متعددی در مدیریت خط ساحلی مطرح‌اند، از آنجا که یکی از اهداف اصلی مدیریت خط ساحلی حفاظت و ثبات ساحلی است و عمده‌ترین عامل مؤثر در تعیین راهبردهای حفاظت ساحل فرسایش و رسوب‌گذاری و سپس دستیابی به پایداری ساحلی است، نوار ساحلی بین انزلی تا چالوس به چهار سلول مشخص تفکیک شد. این تقسیم‌بندی بر اساس مورفولوژی، رفتار رسوبی، و سپس بررسی میزان و چگونگی اثرگذاری هر یک از آن‌ها بر بازه‌های مجاور تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد نوارهای سلولی مورد بررسی اغلب توسط عوارض غیر طبیعی و انسان‌ساخت- مانند بنادر، موج‌شکن‌ها، دیواره‌های لاشه‌سنگی، لنگرگاه‌ها- تصرف شده است. این سازه‌ها تغییرات کلی را در عملکرد طبیعی دینامیک دریا و بیلان رسوبی و پیامد آن تغییرات مورفولوژی بخش‌های پیش‌کرانه، کرانه، و حتی پس‌کرانه نزدیک را به دنبال داشته است. یافته‌ها نشان می‌دهد سازه‌های انسانی نه تنها در تغییر مرزهای اکوسیستمی تأثیرگذار بوده‌اند، بلکه موانعی در برابر جابه‌جایی و انتقال رسوب به شمار می‌روند؛ طوری که سازه‌های اشاره‌شده کنترل‌کننده رسوب‌اند و از طریق به دام انداختن و ذخیره مواد رسوبی مانع انتقال آن به سلول رسوبی مجاور می‌شوند. منبع اصلی رسوب رودخانه‌های منتهی به پیش‌کرانه است. با وجود این، بیلان رسوبی از شرق به غرب محدوده مورد بررسی افزایش می‌یابد. اما فرایند فرسایش کرانه‌ای در سلول‌های ۳ و ۴ که

مناطق چالوس تا رامسر و رامسر تا کلاچای را پوشش می‌دهند همچنان فعال است. عمده‌ترین عوامل تأثیرگذار در جهت جابه‌جایی رسوب در این سلول‌ها جریان‌های موازی ساحل در راستای موج غالب و مسلط در آن‌هاست. با توجه به نتایج این پژوهش، مشخص شد سلول‌های ۱ و ۲ تحت تأثیر نوسانات آب دریا و دینامیک ساحلی حساسیت بیشتری دارند و تعیین حریم توسعه و مدیریت ساحلی از منظر پایداری مستلزم در نظر گرفتن دو عامل بالاترین تراز محتمل آب دریا و رانش جانبی رسوب با راستای غربی است. در مقایسه، سلول‌های ۳ و ۴ از ثبات نسبی بیشتری برخوردارند. زیرا دبی رسوبی رودهای منتهی به بخش ساحلی کمتر و برعکس شیب پس‌کرانه آن‌ها بیشتر است. ازین‌رو، نوسانات کوتاه‌مدت با دامنه کوتاه تأثیر زیادی بر اهداف کاربردی آن‌ها ندارد. با وجود این، تعیین حریم توسعه با اهداف کوتاه‌مدت و بلندمدت ضروری است. بدیهی است اهداف کوتاه‌مدت به کاربری‌های عمومی و کم‌هزینه، مانند فضاهای سبز و گردشگری برای گذران اوقات فراغت، اختصاص می‌یابد و حریم بلندمدت به همان نسبت به کاربری‌های پایدار و سازه‌های مسکونی. روشن است که مرزبندی و تعیین هر نوع کاربری صرفاً در قالب سلول‌های ساحلی تفکیک شده امکان‌پذیر است. زیرا، همان‌گونه که تحلیل داده‌ها آشکار ساختند، هویت عملکردی هر سلول تابع شرایط ژئومورفولوژیکی، هیدرودینامیکی، و اکوژئومورفولوژیکی آن است.

## منابع

- Afshari Azad, Mohammadreza & Haleh Pourki (2003). "Classification and Analysis of Geomorphic Phenomena of the Western Caspian Sea with Approaches to Sea Level Fluctuations", *Journal of Geography and Regional Development*, No. 19, pp. 134-151.
- Alizadeh Lahijani, Hamid (2002). "Caspian Sea Water Level Oscillation", National Institute of Oceanography, National Marine Hazard Forecast and Warning Center, pp. 1-17.
- Alizadeh Lahijani, Hamid (1999). "Changes in the profile of the Iranian coast against the Caspian Sea water level fluctuation", *Oceanography Journal*, Vol. 2, No 2 & 3, pp. 35-41.
- Ansari Lari, Ahmad & Mohammadreza Servati (2009). "Geomorphology and Integrated Management Coastal area and Zones Rivers Coast Persian Gulf from Port of Kang to Port of Hosseinieh", *Geographical Land Journal*, Sixth Year, No. 21, pp. 83-117.
- Buijsman, M. C., Sherwood, C. R., Gibbs, A. E., Gelfenbaum, G., Kaminsky, G., Ruggiero, P., & Franklin, J. (2003). "Regional sediment budget of the Columbia River Littoral Cell", USA. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-281, pp. 167-185.
- Dadashzadeh, Zahra (2018). "Geomorphological Explanation in Sedimentary Cell Boundaries", PhD Thesis in Geography, Geomorphology and Environmental Management, Supervisors: Siavash Shayan and Dr Razieh Lak, Consulting Professors: Dr Mojtaba Yamani and Dr, Faculty of Humanities, Tarbiat Modarres University, Tehran.
- Daryabandar Consulting Engineers (1999). "Report of Engineering Services Studies of Phase One of Roodsar Port".
- Derafshi, Khebatbot, Mostafa Nazarali, & Majid Jandaghi Alaei (2016). "Determination of Coastal Sedimentary Cells on the South Coast of the Caspian Sea", *Proceedings of the Fourth National Conference of the Iranian Association of Geomorphology and Land Preparation*, pp. 25-28.

- Emadeddin, Somayeh (2004). "Investigation of surface change of Nekrud basis under the influence of Caspian Sea water level and Alborz landmass", *Journal of Geographical Space Preparation*, Vol. 3, No. 10, pp. 66-81.
- Farajzadeh Asl, Manouchehr (2012). "Guide to Morphological Studies of the Delta", Journal 562, Deputy of Strategic Planning and Supervision.
- Frihy, O., Iskander, M., & Badr, A. (2004). "Effects of shoreline and bedrock irregularities on the morphodynamics of the Alexandria coast littoral cell", *Egypt. Geo Mar. Lett.* Vol. 24, No. 4, pp. 195-211.
- Geological and mineral discoveries organization (2019). Geological Maps and Topographic Maps, access in <https://gsi.ir/fa/map>
- Ghavnati, Ezzatallah & Reza Mansouri (2013). "Morphological Classification of Coastal Intelligent Line in Integrated Coastal Zone Management (Case Study: Noshahr to Babolsar)", *Quantitative Geomorphological Research*, Vol. 2, No. 2, pp. 99-118.
- Ghodrati, Alireza, Mohammad-Reza Gharib, Reza Mohammadali Dadashi, & Shahriar Sobeh Zahedi (2005). Investigation of Caspian Sea Shoreline Changes in Geomorphological Changes of Guilan Downstream Basins, Second National Conference on Watershed Management and Soil Management, Kerman, May Association Irrigation and Water of Iran.
- Griggs, Gary B. & Kiki Patsch (2018). Natural changes and human impacts on the sand budgets and beach widths of the Zuma and Santa Monica littoral cells, Southern California, Article in *Shore and Beach*.
- Iran Soil Consulting Engineers (1994). Report of Soil Mechanics and Engineering Studies of Anzali Port Fishery Project.
- Kalvandi, Seyed Mohammad, Saeedreza Khodanashenas, Bijhan Gahraman, Ramazan Tahmasebi, & Armin Bostani (2011). "Analysis of Different Curve Measurement Methods in Estimation of Sediment Inlet to Dams (Case Study: Dosti Dam)", *Journal of Irrigation and Water Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 10-20.
- Karam, Amir, Saeed Rahimi Harabadi, & Mehdi Heidari (2014). "Geomorphic Spatial-Temporal Scales in Coastal Systems and Its Position in Environmental Management", *Iranian Journal of Applied Geomorphology*, Vol. 2, No. 4, pp. 1-15
- Khoshnavan, A., Ruhanzadeh S., King, J., & Nzhadqly G. (2012). "Segmentation southern coast of the Caspian Sea sedimentary morphodynamic evidence", *Earth and Space Physics Journal*, Vol. 37, No. 3, pp. 1-15.
- Khoshnavan, H. (2008). Classified Morphodynamic Caspian Sea sediments on the structures, the twenty-sixth meeting of Earth Sciences. Geological Survey of Minerals
- Khoshnavan, Homayoun, Somaiieh Rohanzadeh, Javad Malek, & Ghasem Nejadgholi (2011). "Zonning of the South Coast of the Caspian Sea Based on Sedimentary Morphodynamic Evidence", *Journal of Earth and Space Physics*, Vol. 37, No. 3, pp. 1-15.
- Komijani, Fereshte (2016). "Hydrodynamic Classification of the South Coast of the Caspian Sea-Mazandaran Province", *Journal of Marine Engineering*, Vol. 12, No. 24, pp. 53-64.
- Mansouri, Reza, Ezzatollah Ghnnavati, Mohammadreza Sarvati, & Amir Karam (2012). "Identification and Classification Morphological of the Coastal Areas of the Southern Caspian Sea Using Shepard Method (Case Study: Noshahr to Babolsar)", *Geographical*

- Land Journal*, Ninth Year, No. 36, pp. 91-110.
- Moradpour, Shima (2012). Investigation of Caspian Sea Coastal Geomorphology and its Impact on Environmental Planning (Case Study: Anzali to Chamkhaleh), MA Thesis in Geomorphology in Environmental Planning, Supervisor: Mohammad Jafar Zardarian, Advisor Professor, Mohammad Reza Afshari Azad and Alireza Ghodrati, Ferdowsi University of Mashhad, Department of Geography.
- Peynador, C. & Méndez-Sánchez, F. (2010). Managing coastal erosion: A management proposal for a littoral cell in Todos Santos Bay, Ensenada, Baja California, Mexico, *Ocean & Coastal Management*, 53, pp. 350-357.
- Ports and Maritime Organization (2014). Geology of the Caspian Coast, General Office of Coastal and Port Engineering.
- Rastegar, Hossein & Mehdi Habibi (2012). "Evaluation of Five Deposition Estimation Methods in Jegin River in Hormozgan Province", *Journal of Watershed Engineering and Management*, Vol. 3, No. 1, pp. 12-20.
- Sabatier, F., Maillet, G., Provansal, M., Fieury, T., Suanez, S., & Vella, C. (2006). Sediment budget of the Rhone delta shore face since the middle of the 19th century. *Mar. Geol.* 234, pp. 143-157.
- Sazeh Pardazan Consulting Engineers (1991). Report of Kiashahr Fishery Port.
- Schwardz, M. (2005). Encyclopedia of coastal science, Springer, PO Box 17, 3300 AA, Dordrecht, The Netherland, pp. 594-599.
- Shaneh Sazzan, Ahmad, Reza Parsa, & Hossein Ardalan (2014). Evaluation of Sediment Cells in Coastal Process Studies of Hormozgan Province, 11th International Conference on Shores, Ports and Marine Structures (ICOPMAS), Tehran.
- Thom, B. G., Eliot, I., Eliot, M., Harvey, N., Rissik, D., Sharples, C., Shortf, A. D., & Woodroffe, C. D. (2018). "National sediment compartment framework for Australian Coastal Management", *Ocean and Coastal Management*, pp. 103-120.
- Walton, T. L., Robert, Jr., Dean, G., & Rosati, J. D. (2012). "Sediment budget possibilities and improbabilities", *Coastal Engineering*, Vol. 60, pp. 323-325.
- Water Research Center of Ministry of Power (1994). The final report Babelrood reorganization plan estuaries, pp. 1-20.
- Yamani, Mojtaba, Mehrnoosh Ghadimi, & Ahmad Noohagher (2013). "Investigation of Temporal Changes in the East Coast of Hormuz Strait through Statistical Analysis of Equilibrium Transect Profiles", *Quantitative Geomorphological Research*, Vol. 2, No. 2, pp. 174-157.
- Yamani, Mojtaba, Mehran Maghsoudi, Hadi Nairi, & Khabbat Amani (2018). "Land use zoning of Qeshlagh waterway route based on risk factors from Vahdat Dam to Zaveh Dam", *Quantitative Geomorphology Research*, Vol. 7, No. 1, pp. 90-105.
- Yamani, Mojtaba, Mehran Maghsoudi, Hadi Naieri, & Khabat Amani (1979). "Land Use Zoning of Gheshlagh Dam Route Based on Risk Factors from Vahdat Dam to Zaveh Dam", *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, Vol. 7, No. 1, pp. 90-105.

Yousefi Roshan, Mohammad-Reza & Parviz Kardvani (2013). "Fluctuating Water Level and Caspian Sea Efficiency (Coastal Area of Babolsar County)", *Earth Knowledge Research*, Fourth Year, No. 14, pp. 16-16.

Zikra, M. S. & Wirayuhanto, H. (2017). Coastal sediment cells for the north coast of east Java, Indonesia, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol. 8.