پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال نهم، شماره ۲، پاییز۱۳۹۹
صص. ۲۰-۱

تحلیل مورفودینامیک ساحلی با هدف تعیین مرز سلول‌های رسوبی (مطالعه موردی: استان هرمزگان)

سیاوش شایان – دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
زهرا داداش زاده * – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس.
راضیه لک – دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
محمد شریفی‌کیا – دانشیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۸ تائید نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱

چکیده

بررسی تعادل رسوبی ساحل و استفاده از مفهوم سلول رسوبی رویکرد جدید و موثر در مطالعه انتقال رسوب و تغییرات خط ساحل در چند دهه اخیر است که بر اساس نگرش سیستمی به تحولات ساحل پایه‌گذاری شده است. در این نگرش بخش قابل تفکیک از ساحل که به سلول رسوبی موسوم است به صورت یک سیستم مدل می شود که دارای ورودی نظیر ورودی رسوب و وضعیت فعلی ساحل است. در این سیستم ناشی از یک‌سری فرآیندهای انتقال رسوب، خروجی سیستم حاصل می‌گردد که همانا رسوب خروجی از سیستم و وضعیت جدید ساحل اعم از فرسایش و رسوبگذاری و تغییر خط ساحل است. سواحل استان هرمزگان از مهمترین و استراتژیک ترین سواحل ایران است که دارای محیط ساحلی بسیار پیچیده و تنوع فرم و فرآیند است. از این‌رو این سواحل براساس واحدهای ژئومورفولوژیکی، الگوی موج و جریان خط ساحلی به سلول و زیرسلول‌های رسوبی تقسیم شدند. جهت نیل به این هدف از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای LandSat8، داده‌های هیدرودینامیک، آمار باد، هیدرولوژی، لایروبی بنادر بزرگ و رسوب-شناسی (تهیه شده توسط سازمان بنادر و دریانوردی) استفاده شده است. داده‌ها در محیط ArcGIS10.3 تحلیل شده و محیط ساحل براساس ویژگی‌های مشترک فرم و فرایندی طبقه-بندی و بر مبنای هدف مطالعه، مرز سلول‌های رسوبی با استفاده از معیارهای ژئومورفولوژیک و در طی شش مرحله تعیین شد. سپس در هر سلول، با استفاده از داده‌های گل‌موج، گل‌جریان، گل‌رسوب، نت رسوبی و نقشه ژئومورفولوژی، مخازن و منابع رسوبی و جهت جابجایی رسوب تعیین شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که به منظور تعیین راهبردها و سیاست‌های مدیریت خط ساحلی، بر اساس تفاوتهای محیطی سلول‌ها به به ۶ سلول اصلی و ۱۷ زیرسلول قابل تفکیک هستند که این تفاوت‌های سلولی می‌تواند در تعیین نوع و شیوه کاربری‌های آتی قلمرو ساحلی مورد استفاده مدیران و بهره-برداران ساحلی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی ساحلی، سلول رسوبی، مدیریت ساحلی، سواحل استان هرمزگان.

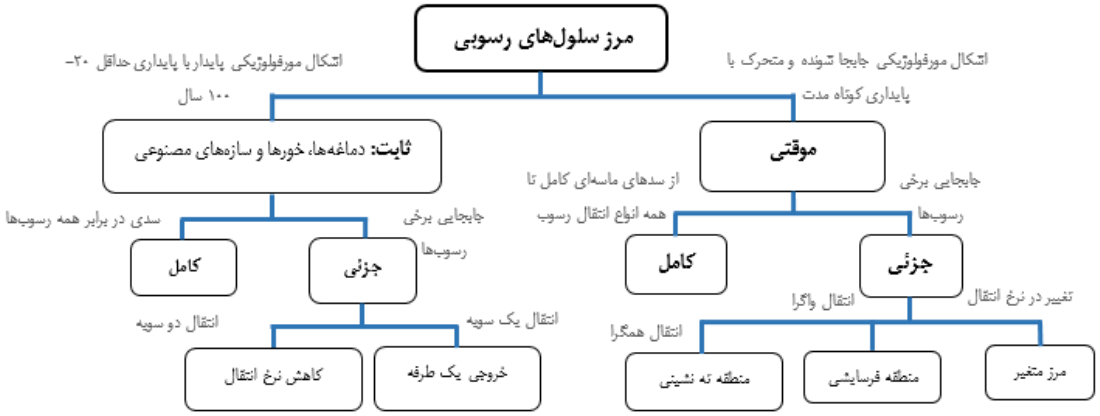
---

* نویسنده مسئول: E-mail: Z.dadashzade@Gmail.com

مقدمه

انتقال رسوب و تغییرات خط ساحل مهم‌ترین عامل طبیعی موثر در نحوه استفاده و عملکرد سازه‌ها و تاسیسات ساحلی است. نحوه و جهت انتقال رسوب و نهایتا تغییرات دراز مدت ساحل از نظر فرسایش و رسوبگذاری به طور مستقیم بر طراحی و کارکرد پروژه‌هایی که با ساحل ارتباط دارند تاثیر می‌گذارد و لذا یکی از مولفه‌های اصلی مطالعات پایه پروژه‌های ساحلی و در مقیاس کلان‌تر برنامه‌های مدیریت خط ساحلی مطالعات مربوط به رسوب است. مورفولوژی سواحل موجود دنیا ناشی از تحولات زمین ساخت مربوط به سنین زمین‌شناسی عمدتا دوره هولوسن است که هم اکنون متاثر از پدیده‌های موثر ساحلی نظیر موج، جریان و باد در حال تعادل عمدتا دینامیکی است. هر گونه تاثیر انسانی به منظور استفاده از ظرفیت‌های سواحل اعم از احداث سازه‌های ساحلی، استفاده از منابع رسوب ساحل و یا ممانعت از تغذیه رسوب ساحل با احداث سد بر روی رودخانه‌ها، روند طبیعی تعادل ساحلی را به هم می‌زند و ممکن است اثرات کوتاه و یا درازمدت در استفاده از ساحل در محل مورد نظر و یا سواحل مجاور بگذارد. این تاثیرات بعضا بدون بازگشت و جبران ناپذیر هستند(پاتش و گریگ[1]، ۲۰۰۶). شناخت روند موجود انتقال رسوب پیش نیاز تخمین تغییرات و روند تاثیرات پروژه‌های ساحلی است. بررسی تعادل رسوبی ساحل و استفاده از مفهوم سلول رسوبی، رویکرد جدید و موثر در مطالعه انتقال رسوب و تغییرات خط ساحلی در چند دهه اخیر است که بر اساس نگرش سیستمی به تحولات ساحل پایه گذاری شده است. در این نگرش بخش قابل تفکیکی از ساحل به سلول رسوبی موسوم است به صورت سیستمی مدل می‌شود که دارای یک سری ورودی نظیر ورودی رسوب و وضعیت فعلی ساحل است. در این سیستم به سبب فعالیت فرآیندهای انتقال رسوب، خروجی سیستم حاصل می‌گردد که همانا میزان رسوب خروجی از سیستم و وضعیت جدید ساحل اعم از فرسایش و رسوبگذاری و نهایتا تغییر خط ساحل است(کوپر و پونتی[2]، ۲۰۰۶). سلول‌های رسوبی به صورت محفظه[3]هایی در ساحل هستند که هر کدام دارای یک چرخه کامل رسوبی؛ اعم از منابع تولید ماسه، مسیرهای انتقال و مخازن رسوبگذاری هستند(شوارتز[4]، ۲۰۰۵). به این ترتیب استفاده از مفهوم سلول رسوبی، گام مهمی در درک فرایندهای ساحلی و واکنش‌های ژئومورفولوژیک آن است. جهت مطالعه دقیق‌تر نواحی درون سلول و ارائه دستورالعمل‌های مدیریت سواحل در حوضه منطقه‌ای، زیر سلول‌ها تعریف می‌شوند. زیرسلول‌ها عموما استقلال تعریف شده در سلول‌ها را ندارند، بلکه انتقال محدود رسوبات بین زیر سلول‌ها وجود خواهد داشت. در انتخاب مرز زیر سلول‌های رسوبی رویکرد مشابه سلول رسوبی به کار می‌رود(اینمن[5]، ۱۹۹۹). مطالعه سواحل نشان می‌دهد تمایز رفتار متعادل و یا ناپایدار واحدهای رسوبی نیاز به درک کامل عوامل موثر در تغییر مرز سلول‌ها است. این عوامل شامل دخالت‌های انسانی و یا تغییرات پیشرونده طبیعی خطوط ساحلی (بالا یا پایین رفتن سطح دریا و...) است. از این رو مطالعات باید در مقیاس‌های متفاوت و به صورت همزمان صورت گیرد(ماتیکا و برامپتون[6]، ۱۹۹۳). (شکل ۱).

[1] . Patsch and Griggs
[2] . Cooper and Pontee
[3]. Compartment
[4] . Schwartz
[5] . Inman
[6] . Motyka& Brampton



شکل ۱: طبقه بندی انواع مرزهای انتقال رسوب در سلول‌های ساحلی (Bray et.al, 1995)

مرز سلول و زیر سلول‌های رسوبی را می‌توان از طریق شناسایی ناپیوستگی‌ها در نرخ تولید رسوب یا امتداد انتقال رسوب، به طور مشخصی تعیین کرد. این روش را می‌توان از طریق شناسایی پارامترهای ژئومورفولوژیکی، رسوب شناختی، بررسی تاریخی، هیدرولیک و جمع آوری اطلاعات مربوط به فرآیندهای موجود، به اجرا درآورد. پایداری مرزهای ثابت با استفاده از مطالعات تاریخی آن‌ها در طی ۲۰ تا ۱۰۰ سال مشخص می‌شوند. نوعاً این مرزها شامل دماغه‌ها و خورها هستند، اما در برخی موارد سازه‌های مصنوعی بزرگ که در طی سالیان زیادی برجای مانده‌اند؛ نیز چنین تاثیر مشابهی را دارا هستند. مرزهای موقتی عموماً ثابت نبوده و به صورت جابجا شونده هستند و پایداری کمی دارند. این مرزها نوعاً محل همگرایی رانه‌های ساحلی[1] هستند (اشکال تراکمی ساحلی مانند زبانه‌های ماسه‌ای) و از طریق تفاوت‌های فاحشی که در نرخ انتقال رسوب بوجود می‌آید، مشخص شده و تمیز داده می‌شوند. این مرزها لزوماً همیشه دارای ساختار و یا شکل ژئومورفولوژیک واحد و خاصی نیستند. مرزهای ثابت و موقتی هر کدام بر اساس نشت و نفوذ (گذر) رسوبات آن از یکدیگر قابل تشخیص و تفکیک هستند. مرزهای ثابت به صورت سدی در برابر همه رسوب‌هایی که در سلول تولید می‌شوند، عمل می‌کنند، در حالی که مرزهای موقتی به صورت گذری بوده و دارای عملکرد دوره‌ای هستند(بری و همکاران[2]، ۱۹۹۵).

سواحل استان هرمزگان از نوع حاشیه دریایی[3] بوده و به صورت ذاتی از نظر ژئومورفولوژی از پیچیدگی‌های سواحل از این نوع برخوردار است(شانه‌ساززاده[4]، ۲۰۱۴). تنوع ساختارهای زمین‌شناسی به صورتی است که در فواصل نزدیک ساختارهای متفاوتی از نوع ساحل شنی- ماسه‌ای، پهنه‌های گلی و کرانه سنگی- صخره‌ای دیده می‌شوند. تنوع ساختارهای ساحلی و همچنین پیچیدگی فعالیت فرآیندهای ساحلی، تعیین رویکردی ثابت جهت بررسی فرآیندهای رسوبی را با مشکل روبرو می‌سازد. به همین دلیل استفاده از مفهوم سلول رسوبی و تعیین مرز آن‌ها و همچنین تفکیک منابع و مخازن رسوبی در درون سلول‌ها از پیچیدگی مطالعه محیط ساحلی استان هرمزگان کاسته و در راستای مدیریت سواحلی از این قبیل کمک شایانی می‌کند. از این رو با تعیین مرز سلول‌های رسوبی در راستای هدف مطالعه و به طبع آن، تبیین ژئومورفولوژیک آن‌ها می‌توان عدم قطعیت در نتایج بدست آمده را تا حدود زیادی تقلیل داد. در ایران مطالعه چندانی به جز چند مورد که برگرفته از مطالعات پایش نواحی ساحلی ایران و مدیریت یکپارچه نوار ساحلی ایران (ICZM) توسط سازمان بنادر و دریانوردی در مورد سلول‌های ساحلی است، صورت نگرفته است. دیباج‌نیا و همکاران (2012)، در مقاله‌ای که مستخرج از طرح مدیریت سواحل و بنادر (ICZM) ایران است برخی پارامترهای لندفرمی مانند دماغه‌ها و فرورفتگی‌های ساحل را با استفاده از

---

[1]. littoral drift convergences

[2] . Bray & et.al

[3]. Marginal sea coast سواحل حاشیه‌ای: سواحلی هستند که در اثر فعالیت فرآیندهای فرسایش و رسوبگذاری شکل گرفته اند.

[4] . Shanehsazzadeh

تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه اسنادی، برای تشریح تغییرات ساحل و تفکیک لندفرمی سلول‌های ساحلی مورد بررسی قرار داده‌اند. در مطالعات پایش نواحی ساحلی ایران، سلول‌های ساحلی که برای سواحل هرمزگان تعیین شده‌اند تنها بر اساس فرم دسته‌بندی شده و به بررسی جزییات چندانی در مطالعه ژئومورفولوژیکی و تقسیم‌بندی آن‌ها پرداخته نشده است. همچنین نقش فرآیندهای ژئومورفولوژیکی در فرم‌زایی و تغییر خطوط ساحلی بررسی نشده است. از آنجایی که سلول رسوبی یک مدل و مفهوم بنیادی است و به تنهایی کاربرد ندارد، لذا از این مفهوم در محاسبه بودجه رسوبی که از ارکان‌های مهم مدیریت خط ساحلی است استفاده می‌شود. بنابراین یکی از بخش‌های مهم مطالعات دریایی، مطالعه بودجه رسوبی در طول نوار ساحلی مورد نظر است. با استفاده از این مطالعات می‌توان وضعیت رسوبی یک سلول را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. در حقیقت بودجه رسوبی، دریافت یا از دست دادن رسوب در یک حجم کنترل خاص را محاسبه می‌کند(کاندولف و همکاران[1]، ۲۰۱۸). برای نوشتن بودجه رسوبی در یک سلول رسوبی نیاز به شناخت منابع و مخازن رسوبی در آن محدوده است. پس از آن عوامل مختلف کمی شده و مقدار دهی می‌شوند و بر اساس مطالعات مختلف و تحلیل و تفسیرآن‌ها بودجه رسوبی محاسبه شده و در نهایت مسیر حرکت رسوبات در یک سلول مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در ارتباط با سلول‌های رسوبی در ابتدا Inman و Chamberlain (1960)، مفهوم سلول‌های ساحلی یا رسوبی را در امتداد سواحل جنوبی کالیفرنیا ارائه دادند. پس از آن؛ Dorman (1968)، Habel و Armstrong (1978)، در طول سواحل کالیفرنیا، Lowry و Carter (1982) درایرلند، Bray و همکاران (1995) در انگلستان، Best و Griggs (1997) در کالیفرنیا، Buijsman و همکاران (2003) در واشنگتن، Frihy و همکاران (2004) در مصر و Sabatier و همکاران (2006) در سواحل دریای مدیترانه فرانسه، Zikra و همکاران (2017) دراندونزی و Thom و همکاران (2018) در استرالیا از جمله تلاش‌های پیش از این مطالعه جهت تعیین سلول و زیرسلول‌های رسوبی کشورهای یاد شده است. در این پژوهش نیز سلول‌های رسوبی استان هرمزگان تعیین شده‌اند با این تفاوت که تاکید بر استفاده از روش‌های تبیین مساله (در این جا تعیین مرز سلول و زیرسلول‌ها و مطالعه ویژگی‌های لندفرمی و فرایندی آن‌ها) به روش‌های ژئومورفولوژیک است.

هدفی که پژوهش حاضر به دنبال دارد تعیین مرز سلول و زیرسلول‌های رسوبی و تبیین ژئومورفولوژیک آن‌ها برای سواحل استان هرمزگان است. شناسائی و تعیین سلول‌های رسوبی در طول خط ساحل از جنبه‌های مختلفی ضروری است که از آن جمله می‌توان به تعریف چارچوب تحقیقات هیدرودینامیک و رسوب، بررسی مسائل و مشکلات بنادر و سازه‌های دریایی مستقر در این محدوده، تعریف طرح مدیریت خط ساحل از جنبه‌های مختلف اقتصادی- اجتماعی، تعیین استراتژی و سیاست‌های ساماندهی و عمران مناطق ساحلی خاص سلول‌های رسوبی اشاره کرد. لذا در تحقیقات حاضر با استفاده از تجربه‌های سایر کشورها و با توجه به مسائل و کاربری‌ها و پدیده‌های دریایی و مورفولوژی خاص سواحل ایران خط ساحل به سلول‌های رسوبی تقسیم‌بندی شده تا زمینه تکمیل سایر تحقیقات و طرح مدیریت ساحل فرآهم آید. بدین ترتیب با مرزبندی سلول‌ها شاهد کاهش عرصه سرزمینی هستیم. مهمترین عرصه‌های فرسایش و رسوبگذاری پیرامون بنادر احداث شده هستند که خود نقش تغییر کاربری اراضی ساحلی را در ایجاد عدم تعادل بین فرآیندهای رسوبی روشن می‌سازد. نتایج این تحقیق مشخصا زمینه‌های تحقیقات آتی در شناسایی هرچه دقیق‌تر فرایندهای رسوبی را به منظور مدیریت بهینه مناطق ساحلی فرآهم آورده و نقش تعیین کننده‌ای در اتخاذ اقدامات مدیریت منابع طبیعی کشور خواهد داشت.

[1] . Kondolf et.al

منطقه مورد مطالعه

محدوده ساحلی استان هرمزگان که مطالعات سلول‌های رسوبی بر روی آن انجام گرفته در حد فاصل خط ساحلی بین حوالی منطقه تنگ در دریای عمان و دماغه خلیج نایبند در خلیج فارس است. محدوده مورد نظر بین خط ساحلی موقعیت-های جغرافیایی °۲۵,۴۳۸۹۷۴ شمالی و °۵۹,۲۵۶۱۸۸ شرقی در شرق منطقه تا °۲۷,۳۹۰۰۸۱ شمالی و °۵۲,۵۷۷۲۶۸ شرقی در غرب منطقه واقع شده است (شکل۲ و جدول ۱). گستره نوار ساحلی استان هرمزگان سرزمینی است نسبتا هموار و پست که با شیبی ملایم در جهت شمال به جنوب و غرب به شرق گسترده شده است. در این پهنه که شامل نواحی دشتی و جلگه‌ای استان است، ارتفاعات بلندی وجود ندارد و جنس عمده عارضه‌های توپوگرافی آن تپه ماهورهای آهکی، گچی، نمکی، مارنی و ماسه‌ای است که حداکثر بلندی آن‌ها به ۵۰۰ متر از سطح دریا می‌رسد.

شکل ۲: موقعیت جغرافیایی و سلول‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از مفهوم یا مدل سلول رسوبی سواحل استان هرمزگان را هدف مطالعه قرار داده است. چارچوب تحقیق حاضر بر مبنای روش تحقیق تحلیل استقرایی ژئومورفولوژیک استوار است. مراحل انجام پژوهش حاضر به این ترتیب صورت گرفته است: گام اول مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی، بررسی داده‌های موجود و جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از مطالعات میدانی، گام دوم پردازش‌های رایانه‌ای و گام سوم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری. در این راستا ابزار به کار رفته جهت تهیه داده‌ها شامل مشاهدات میدانی، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای LandSat8 است. سایر تحلیل‌ها بر مبنای داده‌های اخذ شده از سازمان‌های مربوطه انجام گرفته است. این داده‌ها شامل داده‌های آماری باد (سازمان هواشناسی، ۱۳۹۶)، آمار دبی رسوبی رودخانه‌ها (وزارت نیرو، ۱۳۹۴)، هیدرودینامیک دریا (گل‌موج، گل‌جریان و گل‌رسوب، جزر و مد، امواج بلند و سونامی)، آمار لایروبی بنادر بزرگ و تراز آب دریا (سازمان بنادر و دریا نوردی، ۱۳۹۱) است. برای تعیین مرز سلول و زیرسلول‌های رسوبی استان هرمزگان مراحل تولید داده‌ها و استفاده از ابزارهای پژوهشی به شرح زیر صورت گرفته است: ابتدا تمامی خط ساحلی استان از ابتدا تا انتها با استفاده از تصاویر ماهوارهای LandSat8 بررسی و مطالعه شد. در این مرحله، خط ساحلی بر مبنای عوارض ژئومورفولوژیک یکپارچه با مقیاس بزرگ (ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک) (مانند مجموع سواحل ماسه‌ای که در قاعده دلتا تشکیل شده‌اند یا مجموع چند خور مجاور و یا مجموع چند ساحل صخره‌ای مجاور) دسته‌بندی شدند. شناسایی این عوارض و لندفرم‌ها از طریق ترسیم نقشه ژئومورفولوژی (شکل۳) منطقه و با استفاده نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ انجام شد.

شکل ۳: نقشه ژئومورفولوژی سواحل شرقی استان هرمزگان (سلول رسوبی ۶)

در مرحله دوم ویژگی‌های هیدرودینامیکی، جهت تشخیص عوامل مؤثر بر جابجایی و تغییرات حجم رسوب مطالعه شد. این ساحل با توجه به ویژگی‌های مشترک هیدرودینامیکی (جهت موج، جریان‌های دریایی، جزر و مد) و رسوب برای بار دوم نیز تقسیم‌بندی شدند. در مرحله سوم، مرز جداکننده سواحل که آن‌ها را به لحاظ ویژگی‌های یاد شده از یکدیگر متمایز می‌کرد، ترسیم شده و سلول‌های رسوبی اصلی تعیین شدند. مرز سلول‌های رسوبی را عوارض ژئومورفولوژیک بزرگ (مانند دماغه‌ها و خورها) و سازه‌های مصنوعی بزرگ (مانند بندر باهنر) که توانایی به دام انداختن رسوب را داشته و مانع از جابجایی رسوب در مقیاس‌های زمانی بزرگ (۲۰ تا ۱۰۰ سال) می‌شوند، تشکیل می‌دهند. علاوه بر این، با استفاده از نقشه‌های ژئومورفولوژی و هیدرومتری و نیز گل‌رسوب منطقه، منابع، مخازن و مسیر غالب جابجایی رسوب‌ها تعیین شد. در مرحله چهارم، با اعمال تمامی سه مرحله ذکر شده، مناطق با ویژگی‌های مشترک ژئومورفولوژیکی، هیدرودینامیکی و جهت رسوب با مقیاس زمانی و مکانی کوچکتر دسته‌بندی شده و مرزهای ثابت جزئی به عنوان مرز زیرسلول‌ها تعیین شدند. سپس برای هر یک از سلول‌ها مرز سلول در پسکرانه و مرز آن در دریا نیز بازشناسایی شد و در این مورد جهت تعیین مرز سلول در پسکرانه از پارامترهای متعددی 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[1] ترسیم شده است. خروجی مراحل ذکر شده در محیط GIS تحلیل شد (شکل‌های ۴ و ۵). در شکل ۶ مراحل روش تحقیق به صورت نمودار مفهومی ارائه شده است.

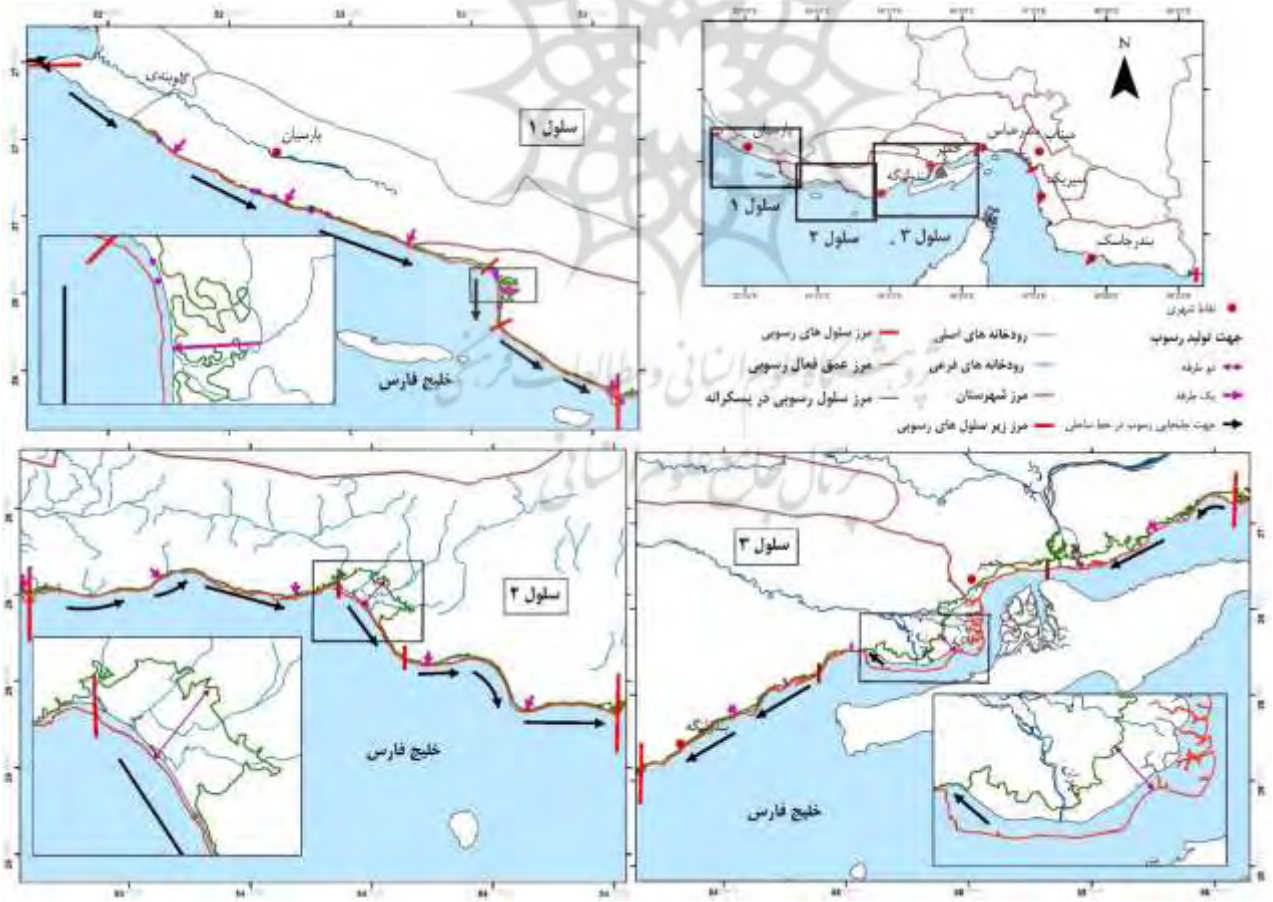
جهت تخمین بودجه رسوبی بطور کلی چهار روش وجود دارد که با استفاده از آن‌ها موازنه بودجه رسوبی در شاخابه‌ها (inlets) و محیط پیرامون آن‌ها انجام می‌شود. این روش‌ها شامل ۱- SBAS، ۲- مدل مخزن (Kraus, 2000)، ۳- روش شار انرژی موج (Jarret,1977,1991) و ۴- مدل(Bodge, 1999) . از بین روش‌های اشاره شده روش SBAS بیشترین کاربرد را برای نوشتن بودجه در مناطق مختلف داشته است. با توجه به سادگی این روش و پرکاربرد بودن آن، در این مطالعه نیز از روش مذکور برای نوشتن بودجه رسوبی در سواحل استان هرمزگان بهره گرفته شده است. سامانه

۱. عمق منطقه‌ی فعال رسوبی یا عمقی که پروفیل بستر در گذشت زمان و با عبور موج‌های منطقه‌ی مطالعاتی تغییر چندانی ندارد یک تقریب مهندسی معمول برای بسیاری از کاربردها است (Schwartz, 2005). مفهوم عمق منطقه‌ی فعال رسوبی در کاربردهای عملی به معنای عدم حرکت رسوبات نیست، بلکه به این معنا است که در اعماق عمیق‌تر از این عمق، انتقال خالص رسوبات نزدیک به صفر بوده و پروفیل بستر تغییر چندانی نخواهد داشت (Dean & Dalrymple, 2004).

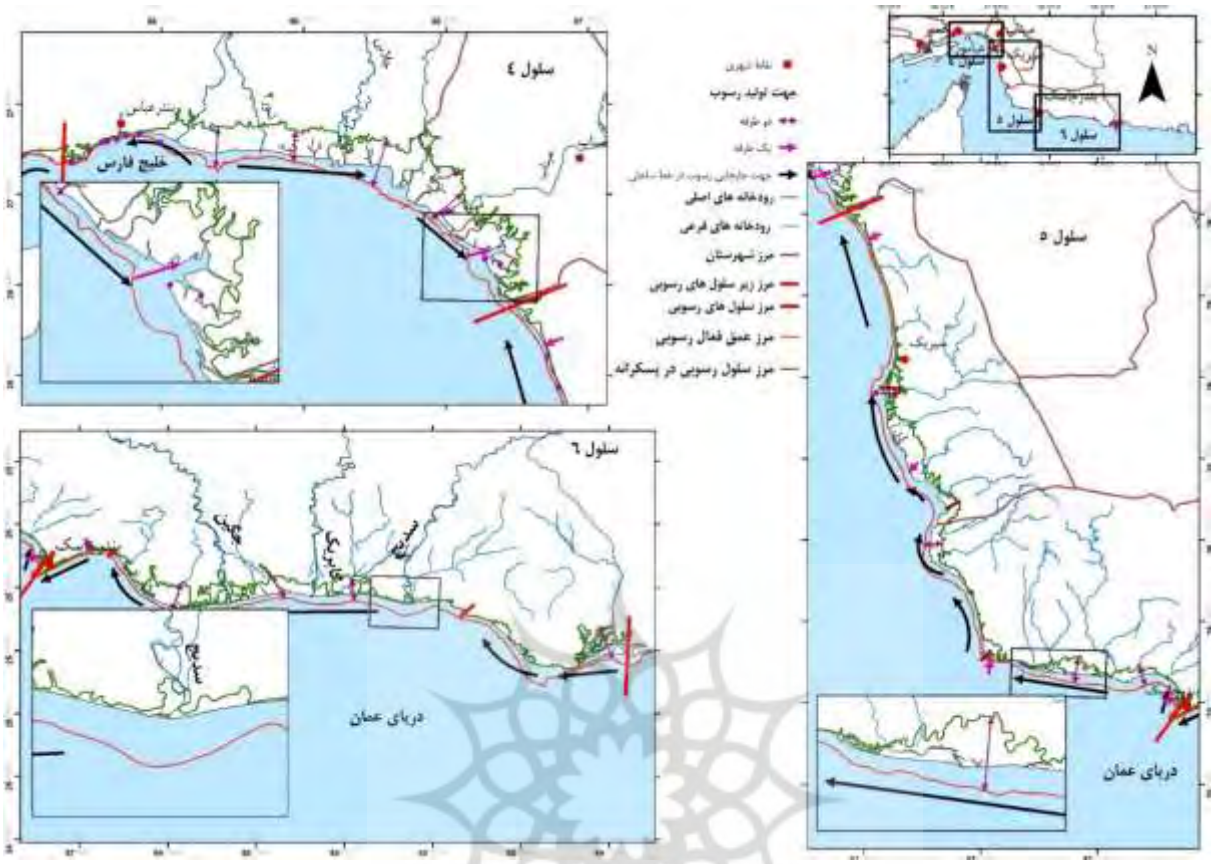
تحلیل بودجه رسوبی SBAS یک برنامه کامپیوتری است که از یک واسط گرافیکی برای استفاده از معادله بودجه رسوبی استفاده می‌کند. این سامانه به مهندسان سواحل در راستای فرموله کردن بودجه رسوبی در مناطق با مسیرهای حرکتی پیچیده رسوب نظیر شاخابه‌ها یا در یک منطقه با چندین شاخابه با سواحل و زیرساخت‌های مختلف کمک می‌کند. در این روش از یک حجم کنترل بهره گرفته می‌شود و میزان ورود و خروج و نیز تغییرات درون حجم کنترل را موازنه می‌کند. بودجه رسوبی در واقع محاسبه دریافت یا از دست دادن رسوب در یک حجم کنترل خاص است که سلول رسوبی نامیده می شود. در یک حجم کنترل اختلاف جبری بین منابع و مخازن رسوبی بایستی معادل نرخ تغییرات در حجم رسوبی است که در یک منطقه رخ می‌دهد. معادله مورد استفاده در این روش بصورت زیر است:

$$\sum Q_{source} - \sum Q_{sink} - \Delta V + P - R = Residual$$

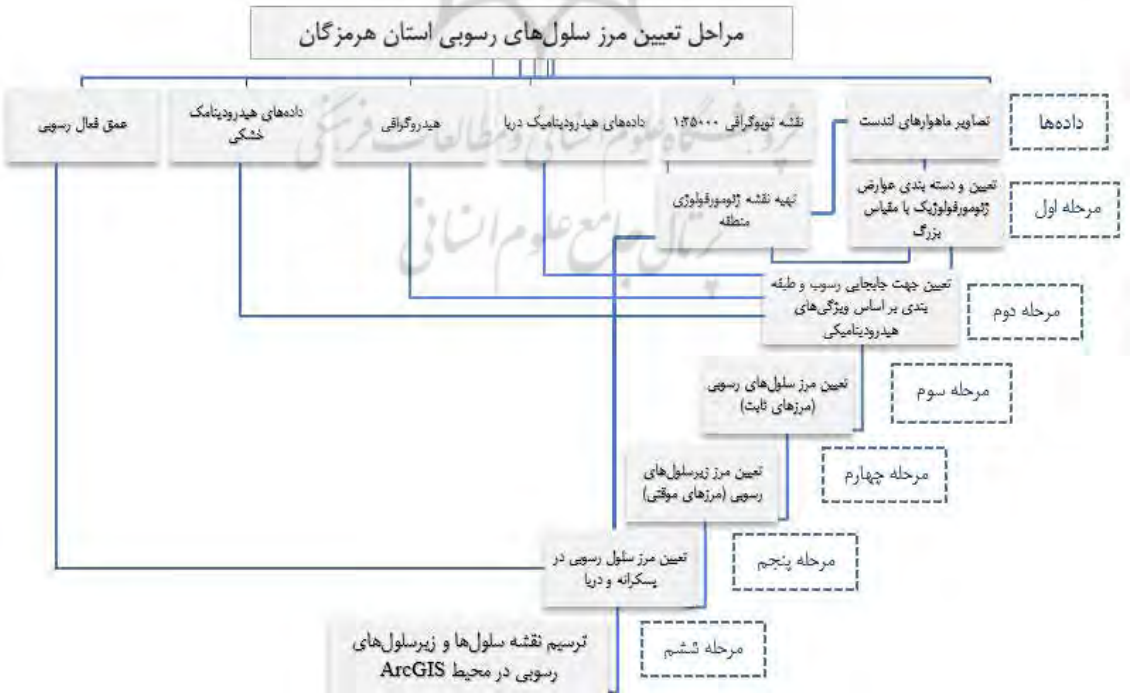
$Q\ source$ و $Q\ sink$ به ترتیب منابع و مخازن رسوبی در حجم کنترل هستند، ΔV نرخ تغییرات در حجم درون سلول است، P و R به ترتیب مقادیر مصالح بارگذاری و برداشت شده در یک سلول هستند و $Residual$ درجه موازنه بودن سلول را نشان می دهد. برای سلول موازنه شده مقدار این پارامتر صفر است. برای نوشتن بودجه رسوبی در یک سلول در ابتدا بایستی منابع و مخازن موجود در سلول رسوبی شناسایی شده و بر اساس اطلاعات مختلف مقدار آنها برآورد شود. پس از مشخص شدن مقادیر عوامل مختلف در رابطه بودجه رسوبی وارد شده و موازنه رسوبی صورت می‌گیرد.



شکل ۴: سلول‌های رسوبی غرب استان هرمزگان



شکل ۵: سلول‌های رسوبی شرق استان هرمزگان



شکل ۶: نمودار مفهومی مراحل تعیین و ترسیم مرز سلول‌ها و زیرسلول‌های رسوبی

بحث و یافته‌ها

در این مطالعه جهت نیل به راهکاری در جهت تعیین و تبیین سلول‌های رسوبی و با استفاده از معیارهای لندفرمی، عوارض ساحلی و سلول‌های رسوبی سواحل استان هرمزگان مورد مطالعه قرار گرفت. سواحل طولانی استان هرمزگان در مجموع به ۶ سلول و ۱۷ زیرسلول‌رسوبی تقسیم شده است. شناسایی این سلول‌ها و زیرسلول‌ها براساس بررسی ساختار ژئومورفولوژیک و نیروهای عامل (موج، جریان، باد)، همچنین شناسایی منابع و مخازن رسوبی از دیدگاه ژئومورفولوژی ساحلی صورت گرفته است. محدوده سلول‌های رسوبی در شکل‌های ۴ و ۵ و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. در طول سواحل طولانی استان هرمزگان بنادر، دماغه‌های سنگی و سواحل رسوبی متعددی وجود دارد که رخنمون مهمترین آن‌ها باعث ایجاد مرز نسبتا دائمی برای سلول‌های رسوبی استان هرمزگان شده است. این بیرون‌زدگی واحدهای سنگی مختلف و همچنین تغییرات مورفولوژیک، شیب و امتداد ساحل، وجود سواحل در پناه جزایر، رودخانه‌های متعدد فصلی و دائمی و وجود اقلیم‌های متفاوت، و ویژگی‌های هیدرودینامیکی در سواحل شرقی، مرکزی و غربی تنوع زیادی به سواحل این استان داده است. لذا باوجود این تنوع محیط فیزیکی، برخی سلول‌ها و زیر سلول‌های رسوبی در طول سواحل این استان دارای ژنتیک متفاوتی نسبت به یکدیگر هستند (جدول ۲).

جدول ۱: سلول‌های رسوبی تعیین شده برای سواحل استان هرمزگان

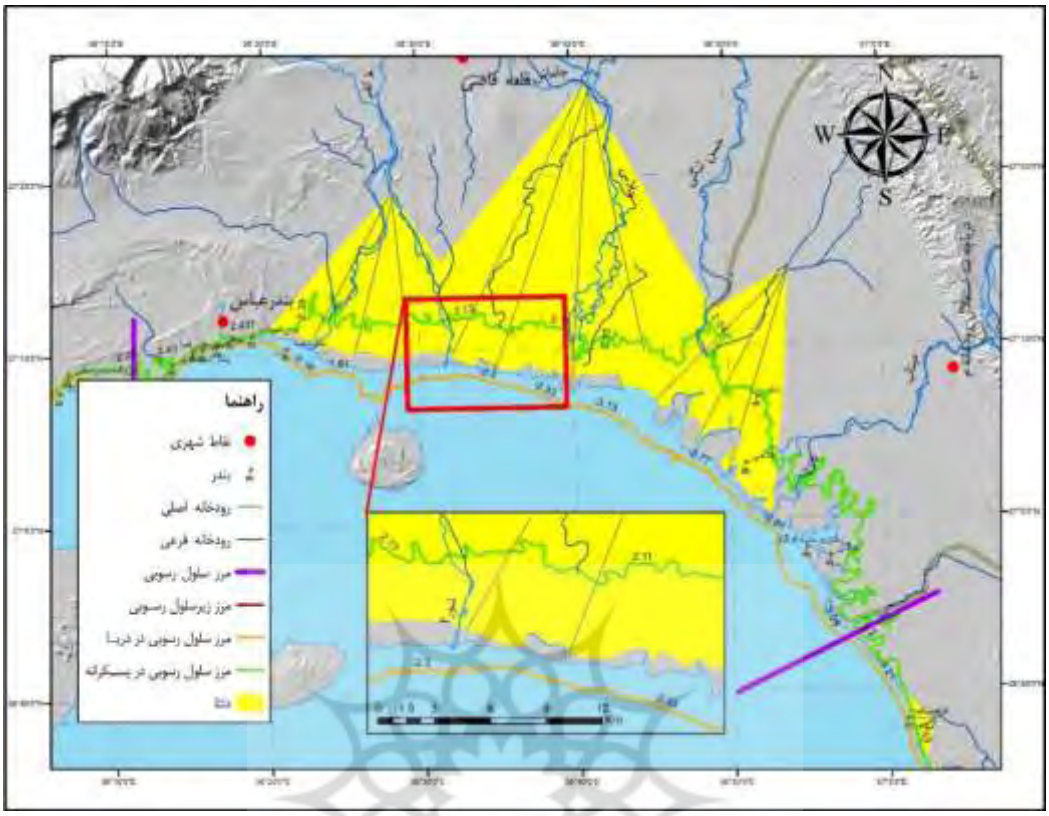
شماره سلول	ابتدا و انتهای سلول	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول تقریبی (KM)	طبقه‌بندی ساحل	فرآیند غالب	لندفرم غالب
۱	راس دماغه خلیج نایبند	۵۲,۵۷۷۲۶۸°	۲۷,۳۹۰۰۸۱°	۱۴۲	سواحل کوهستانی	فرسایش توسط امواج	دماغه- خلیج کوچک- پرتگاه سنگی
	دماغه چیرویه	۵۳,۷۲۷۸۴۳°	۲۶,۶۹۹۹۱۶°				
۲	دماغه چیرویه	۵۳,۷۲۷۸۴۳°	۲۶,۶۹۹۹۱۶°	۱۲۱	سواحل کوهستانی	فرسایش توسط امواج	دماغه- خلیج کوچک- پرتگاه سنگی
	دماغه شناس	۵۴,۷۹۴۲۴۴°	۲۶,۴۹۶۸۹۶°				
۳	دماغه شناس	۵۴,۷۹۴۲۴۴°	۲۶,۴۹۶۸۹۶°	۱۷۲	سواحل غوطه‌ور	جریان جزر و مد- رودخانه	سواحل گلی و کم شیب- دلتا- خور و مصب- تالاب
	بندر باهنر	۵۶,۲۰۲۵۶۵°	۲۷,۱۳۷۳۱۵°				
۴	بندر باهنر	۵۶,۲۰۲۵۶۵°	۲۷,۱۳۷۳۱۵°	۹۴	سواحل غوطه‌ور	جریان امواج- جریان جزر و مد- رودخانه	سواحل ماسه‌ای و کم شیب- دلتا- خور و مصب- زبانه و جزایر ماسه‌ای- تالاب
	انتهای خورهای کلاهی	۵۶,۹۴۰۷۶۶°	۲۶,۹۱۳۶۴۴°				
۵	انتهای خورهای کلاهی	۵۶,۹۴۰۷۶۶°	۲۶,۹۱۳۶۴۴°	۱۹۴	سواحل دلتایی	جریان امواج- امواج موازی ساحل- جزر و مد-رودخانه- باد	سواحل ماسه‌ای و کم شیب- دلتا- خور و مصب- تالاب- زبانه و جزایر ماسه‌ای، تپه-های ماسه‌ای
	دماغه جاسک	۵۷,۷۶۹۹۸۰°	۲۵,۶۴۰۹۸۴°				
۶	دماغه جاسک	۵۷,۷۶۹۹۸۰°	۲۵,۶۴۰۹۸۴°	۱۶۳	سواحل دلتایی	جریان امواج- امواج موازی ساحل- جزر و مد-رودخانه- باد	سواحل ماسه‌ای و کم شیب- دلتا- خور و مصب- تالاب- زبانه و جزایر ماسه‌ای، تپه-های ماسه‌ای

جدول ۲: سلول و زیرسلول‌های رسوبی سواحل استان هرمزگان و ویژگی‌های آن‌ها

نام سلول	نام زیرسلول	منبع رسوبی					مخزن رسوبی						جهت جابجایی رسوب				
		رودخانه	باد	رسوبات بستر	فرسایش کران‌های	مصالح و مواد لایروبی و تیو شده*	خور	دلتا ماسه‌های بادی	سواحل ماسه‌ای	زبانه ماسه‌ای و جزایر سدی	جلبک‌های زیر دریا	بارُوی بتادر و جتی‌ها	از غرب به شرق	از شرق به غرب	کراس شور	شمال به جنوب	جنوب به شمال
Cell1	SubCell1	-	-	•	•	•	-	-	•	-	•	۴	•	-	-	-	-
	SubCell2	•	-	•	•	-	•	•	•	-	-	۲	-	-	-	•	-
	SubCell3	-	-	•	•	-	-	-	•	-	-	-	•	-	-	-	-
Cell2	SubCell1	-	-	•	•	-	•	-	•	-	-	۴	•	-	-	-	-
	SubCell2	-	-	•	•	-	•	-	•	-	-	۲	•	-	-	-	-
	SubCell3	-	-	•	•	-	•	-	•	-	-	۲	•	-	-	•	-
Cell3	SubCell1	•	-	•	•	-	•	-	•	-	-	۹	-	•	-	-	-
	SubCell2	•	-	•	-	-	•	-	•	-	-	۵	-	-	•	-	-
	SubCell3	•	-	•	-	-	•	-	•	-	-	۱۰	-	•	•	-	-
Cell4	-	•	-	•	-	-	•	-	•	•	-	۴	•	•	•	-	-
Cell5	SubCell1	•	•	•	•	-	•	•	•	•	-	۴	-	-	-	-	•
	SubCell2	•	•	•	-	-	•	•	•	•	-	۱	-	-	•	-	•
	SubCell3	•	•	•	-	-	•	•	•	•	-	۵	-	-	•	-	•
	SubCell4	•	•	•	-	-	•	•	•	•	-	۲	-	•	•	-	•
Cell6	SubCell1	•	•	•	-	-	•	•	•	•	-	۴	-	-	-	•	-
	SubCell2	•	•	•	-	-	•	•	•	•	-	۱	-	•	•	-	-
	SubCell3	•	•	•	-	-	•	•	•	•	-	۵	-	•	•	-	-

* اطلاعات کافی دردسترس نیست

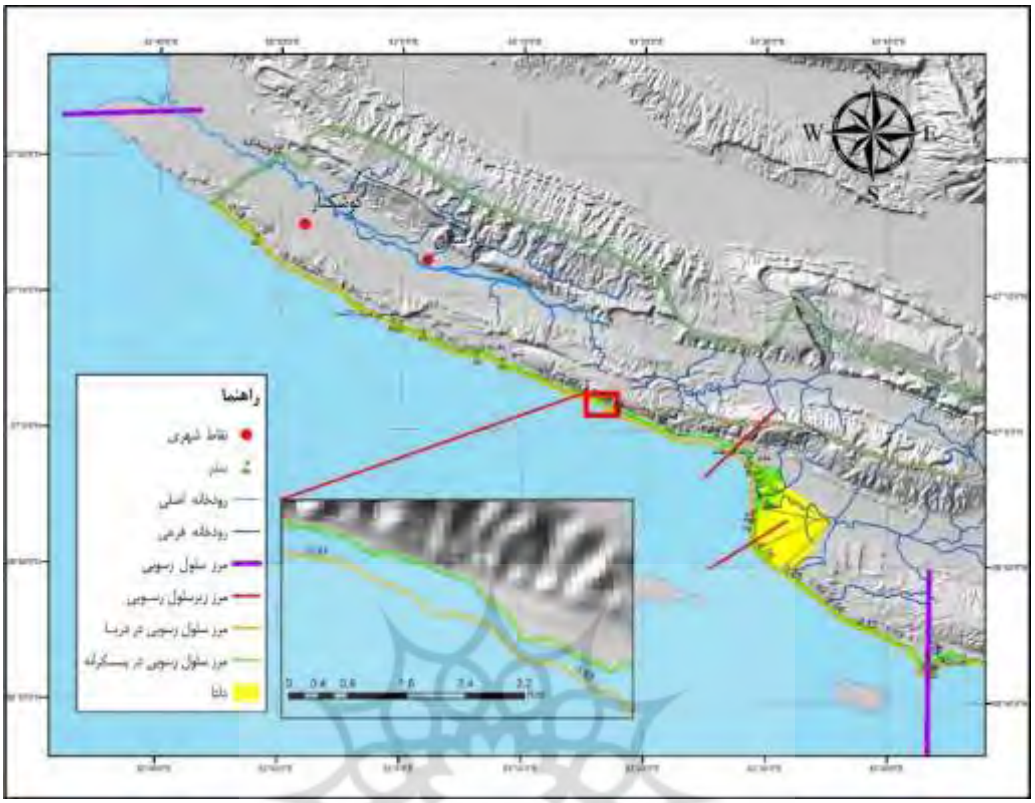
سلول و زیرسلول‌های رسوبی به لحاظ ویژگی طبیعی سواحل استان هرمزگان دارای مقیاس یکسانی نبوده و مقیاس هر یک با سلول مجاور متفاوت است. همچنین به لحاظ تفاوت در شیب ساحل و بستر دریا در مجاورت ساحل، فرایندهای فعال پسکرانه و هیدرودینامیک دریا و همچنین ویژگی‌های زمین‌شناختی متفاوت در هرکدام از این محوطه‌های رسوبی، پهنای مرز پسکران‌های و مرز دریایی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. به عنوان مثال ویژگی لیتولوژیکی ساحل و شیب ملایم ساحل در محدوده برخی سلول‌ها باعث گردید عمل تولید رسوب به خصوص در بخش‌های شرقی استان هرمزگان قوی‌تر عمل کند (سلول‌های رسوبی ۴ و ۵ و ۶). از طرف دیگر به دلیل عمق کم فلات قاره و امتداد زیاد آن در دریا، رسوبات تولید شده و رسوباتی که از طریق امواج و جریان‌های دریایی به این بخش انتقال پیدا کرده‌اند، در عمق کم رسوب کرده و به اشکال مختلف در منطقه ذخیره شوند. از این رو مرز عمق فعال رسوبی از خط ساحلی، به خصوص در نقاطی که رودها با دریا تلاقی پیدا کرده‌اند، فاصله گرفته است. به علت فعالیت تعیین‌کننده رودخانه‌ها در این سلول‌های رسوبی و نیز تحت تاثیر شیب کم منطقه و وسعت دلتای این رودها مرز تاثیرگذار پسکرانه در تولید رسوب، دورتر از خط ساحلی قرار گرفته است (شکل ۷).



شکل ۷: مرز سلول رسوبی ۴ در پسکرانه و دریا

در مقابل در بخش‌های غربی استان هرمزگان ویژگی لیتولوژیک و ساختمان زمین‌شناسی ساحل در محدوده سلول‌هایی از این قبیل باعث گردیده عمل تولید رسوب بسیار ضعیف عمل کند (سلول‌های ۱ و ۲). از طرف دیگر به دلیل عمق زیاد فلات قاره در فاصله نزدیک از خط ساحلی، رسوبات تولید شده و نیز رسوباتی که از طریق امواج و جریان‌های دریایی به این بخش انتقال پیدا کرده‌اند، در عمق زیاد رسوب می‌کنند. از این رو فاصله عمق فعال رسوبی از CD[۱]، بسیار کم بوده و براساس ویژگی‌های ساحل فاصله آن در قسمت‌های مختلف سلول دارای نوسان است. تنها در دهانه رودخانه مقام که سالانه مقداری رسوب وارد دریا می‌کند، عمق فلات قاره کم شده و به تبع آن مرز عمق فعال رسوبی نیز از دریا فاصله گرفته است. به دلیل صخره‌ای بودن سواحل در این سلول‌ها و نیز عدم و یا ضعف عمل رودخانه‌ها در مجاورت ساحل، حد تاثیرگذار پسکرانه در تولید رسوب، به خط ساحلی بسیار نزدیک است و در اکثر طول آن تقریبا منطبق با خود خط ساحلی است. تنها در دهانه رودخانه مقام این مرز از خط ساحلی فاصله گرفته است (شکل ۸).

۱. Chart Datum



شکل ۸: مرز سلول رسوبی ۱ در پسکرانه و دریا

دانشمندان بسیاری سواحل را به روش‌های مختلف طبقه بندی کرده‌اند و تاکنون طبقه بندی‌های ساحلی متعددی ارائه شده است که هرکدام از درجه اهمیت و اعتبار خاصی برخوردارند. این طبقه بندی‌ها برحسب به‌کارگیری فاکتورها و عوامل مختلفی مانند ماهیت ساحل (توصیفی)، مصرف انرژی، شمارش تعداد تضاریس خط کرانه، تکتونیک و چگونگی شکل‌گیری ساحلی (ژنتیکی)، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و یا ویژگی‌های دیگری را دارا هستند (علایی طالقانی، ۱۳۷۲). جهت طبقه بندی سواحل استان هرمزگان به لحاظ ماهیت کار (تبیین ژئومورفولوژیک) از طبقه‌بندی‌های ژئومورفولوژیک استفاده شده و همچنین این در تحقیق از ترکیب دو مدل طبقه بندی والنتین (۱۹۵۲) و طبقه بندی ژئومورفولوژیکی اینمن و نوردستروم (۱۹۷۱) استفاده شده است. زیرا هر یک از طبقه‌بندی‌های ارائه شده یا دسته‌بندی‌های خیلی کلی داشته و یا اینکه همه سواحل منطقه مورد نظر در طبقه بندی ارائه شده قرار نمی‌گیرد. از این رو به نظر می‌رسد بهتر است یا برای سواحل کشور یک مدل بومی ارائه شود و یا اینکه از ترکیب چند مدل جهت طبقه بندی سواحل استفاده شود. از این رو در یک طبقه بندی کلی سلول‌های رسوبی استان هرمزگان بر اساس ویژگی فرسایشی و رسوبگذاری و لندفرمی به سه دسته تقسیم شده‌اند. این سواحل شامل سواحل کوهستانی، سواحل دلتایی (اینمن و نوردستروم) و سواحل غوطه‌ور و هموار (والنتین) هستند. سواحل دلتایی به سواحلی گفته می‌شود که در نتیجه برجای گذاشته شدن رسوبات رودخانه‌ای در جایی که رودخانه‌ای وارد دریا می‌شود بوجود آمده‌اند. سطح این نوع سواحل معمولا محدب و وسعت آن‌ها زیاد است. در نوع سواحل کوهستانی عرض فلات قاره از ۵۰ کیلومتر کمتر و ارتفاع کوه‌ها از ۳۰۰ متر بیشتر است و کرانه‌ها معمولا سنگی و صخره ای هستند. سواحل غوطه ور و هموار سواحلی هستند که در نتیجه تراکم رسوبات توسط فرایند دریایی شکل گرفته و طبقات هموار و بدون چین خوردگی در آب فرو رفته باشد (علایی طالقانی، ۱۳۷۲). نکته قابل ذکر این است که طبقه بندی‌ای که برای سواحل استان هرمزگان صورت گرفته، به صورت مطلق نیست. به این معنی که در منطقه‌ای که تحت عنوان سواحل دلتایی دسته بندی شده است، ممکن است سواحل کوهستانی و یا سواحل غوطه ور نیز وجود داشته باشد. از این رو این سواحل

صرفا از نظر تیپ غالب ساحل و وسعت بیشتر آن تیپ طبقه بندی شده‌اند. بنابراین سلول‌های رسوبی ۱ و ۲ در طبقه سواحل کوهستانی، سلول‌های رسوبی ۳ و ۴ در طبقه سواحل غوطه ور و هموار و سلول‌های رسوبی ۵ و ۶ در طبقه سواحل دلتایی قرار دارند. شرایط زمین‌شناسی عمومی مناطق ساحلی استان هرمزگان تحت تاثیر عوامل منطقه‌ای زمین ساختی و رسوبی است. قسمت‌های میانی و غربی آن در زون زاگرس چین خورده واقع شده است. سواحل سنگی غرب استان هرمزگان امتداد یال غربی چین‌های زاگرس است که در راستای شمال غرب- جنوب شرق با دریا مماس شده است و بخش‌هایی از آن توسط پیشروی آب دریا پوشیده شده و بقایای آن جزایری چون قشم را بوجود آورده است (کرمی خانیکی، ۱۳۸۳). یکی از عمده‌ترین منابع رسوبی سواحل غربی استان (سلول‌های رسوبی ۱ و ۲) فرسایش واحدهای سنگی ساحل است پدیده فرسایش به‌ویژه در سواحلی که بیشتر تحت تاثیر امواج هستند، مهمترین فرآیند رسوبی محسوب می‌شود (غریب رضا و همکاران، ۱۳۷۷). در محدوده سلول‌های رسوبی ۱ و ۲ که در شهرستان پارسیان و قسمت عمده‌ای از شهرستان بندر لنگه قرار دارد، ارتفاع امواج در حدود ۰/۵ تا ۱/۵ متری قرار داشته و جهت غالب امواج غربی و جنوب غربی است. تحت تاثیر جهت امواج غالب منطقه، رسوب‌های تولید شده از فرسایش کرانه‌ای، در راستای غرب به شرق جابجا می‌شوند (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۶). منبع رسوبی در سلول‌های ۱ و ۲ شامل فرسایش سواحل صخره‌ای (منبع اصلی)، رسوبات تولید شده توسط رودخانه فصلی مقام (در سلول رسوبی ۱؛ زیرسلول ۱-۲)، آبراهه‌های فصلی محلی (که فقط در مواقع بارش‌های رگباری و سیلابی جریان پیدا می‌کنند) و فعالیت‌های انسانی شامل تغذیه ساحل و عملیات استحصال و بندرسازی، شهرسازی و امثال آن است. به طور کلی حجم رسوب تولید شده توسط منابع رسوبی ذکر شده، در سلول‌های رسوبی ۱ و ۲ به ترتیب ۲۶۱ و ۱۷۴ هزار مترمکعب در سال برآورد شده است (سازمان بنادر و دریانوردی ، ۱۳۹۶). مخزن رسوبی در این سلول‌ها شامل خورها و سواحل شرقی خلیج‌های کوچک محلی و موج‌شکن‌ها و جتی‌هایی است که در خط ساحلی شهرستان‌های پارسیان و بندرلنگه قرار دارند. حجم رسوبی که در این مخازن ذخیره می‌شوند به ترتیب در حدود ۱۰۲ و ۲۲۳ هزار متر مکعب در سال برآورد شده است (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۶).

همانطور که گفته شد، سلول‌های رسوبی ۳ و ۴ در طبقه سواحل غوطه ور و هموار قرار دارند. این طبقه شامل پهنه‌های جزر و مدی حاشیه دریا است که به صورت کمربند کم و بیش وسیعی از شروع دلتای رودخانه مهران تا دهانه رودخانه میناب را در بر می‌گیرد. در این پهنه رشته‌ها و موانع ماسه‌ای قابل ملاحظه‌ای وجود دارد که در ارتباط با حجم بار وارده از رودخانه‌های مذکور و نوسان‌های ناشی از جزر و مد و جریانات مربوطه قابل توجیه هستند. همچنین خورهای متعددی در این منطقه وجود دارد. در امتداد سواحل تیاب و دلتای رودخانه حسن‌لنگی و نیز حدفاصل رودخانه‌های جلابی و شور نیز رشته‌ها و موانع ماسه‌ای وجود دارد که باعث تشکیل تالاب‌های منطقه شده‌اند. ترکیب مواد تشکیل دهنده عمدتاً از سیلت و ماسه‌های ریز تشکیل شده است و بیشتر مواد ریزدانه‌تر از جمله مواد رسی، تحت تاثیر جریانات جزر و مدی به سمت غرب (بندر خمیر) در امتداد ساحل جابجا می‌شوند. قطر متوسط دانه‌بندی رسوب در این منطقه بین ۰/۲۸۵ تا کوچکتر از ۰/۰۹ میلیمتر گزارش شده است (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۱). در این قسمت از ساحل مدخل رودخانه‌های موجود به صورت خورهای کم و بیش وسیعی دیده می‌شوند و در اثر عملکرد جزر و مد به سمت خشکی گسترش یافته‌اند (یمانی، ۱۳۷۸). بخش شمال شرقی تنگه هرمز که در سلول رسوبی۴ قرار دارد از بالاترین دامنه جزرومد (۵/۴ متر) نسبت به تمام ایستگاه‌های پیرامون خلیج فارس و دریای عمان برخوردار است. به همین دلیل سطوح جزر و مدی و سبخاهای ساحلی در این محدوده از گستردگی بسیار بالایی برخوردارند. دامنه جزرومد در ورودی تنگه هرمز به ۳ متر و در راس تنگه هرمز به ۵/۴ متر می‌رسد. سایر نقاط خط ساحلی محدوده تحت بررسی به دلیل داشتن ویژگی دلتایی و قرار گرفتن خط ساحلی درست در قاعده دلتاها بسیار کم شیب است. به‌طوری که شیب آن در بعضی از قسمت‌ها بویژه در قاعده دلتاهای حسن لنگی، میناب و جلابی به کمتر از ۱ در هزار می‌رسد به همین دلیل در اثنای بالاترین سطوح جزر و مد سالانه و دوره‌ای میزان پیشروی آب ناشی از مد به بیش از چند کیلومتر می‌رسد. در پاره‌ای از مناطق و در مجاورت خورها و بسترهای

قدیمی رودخانه‌های اصلی این مقدار حتی به ۱۰ کیلومتر نیز در موارد استثنایی افزایش می‌یابد (نوحه‌گر، حسین‌زاده، ۱۳۹۰). در سلول رسوبی ۳ جریاهای دریایی از یک طرف باعث جابجایی رسوبات رودخانه‌ای وارده به دریا از رودخانه‌های منتهی به تنگه هرمز (مانند رسوبات رودخانه‌های کل و مهران) می‌شود و از طرف دیگر با توجه به ویژگی‌های رسوبات بستر و فیزیوگرافی آن، مسائل مربوط به فرسایش، رسوب‌خیزی و ایجاد اشکال بستر را باعث می‌گردد (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۰). منبع رسوبی در سلول رسوبی ۳ شامل رودخانه‌های کل و مهران، با حجم رسوبی ۱۰۹۲۰ هزار متر مکعب در سال و در سلول رسوبی ۴ رودخانه‌های شور، جلابی، حسن‌لنگی و میناب است. حجم رسوبی که توسط این رودها وارد سلول رسوبی ۴ می‌شود حدود ۱۸۱۳ هزارمتر مکعب در سال است. مخازن رسوبی در این سلول‌ها شامل خورها، لاگون‌ها و پشت موج‌شکن‌های بنادر و جتی‌ها است. حجم رسوبی که در سلول رسوبی ۳ ذخیره می‌شود حدود ۵۷ هزار مترمکعب در سال برآورد شده است. در سلول رسوبی ۴ که از ابتدا تا انتها دارای خورهای متعددی است، به دلیل پیچیدگی و ناپایداری رفتار خورها حجم رسوب ذخیره شده در این سلول رسوبی محاسبه نگردیده است (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۶). مسیر جابجایی رسوب در سلول رسوبی ۳ تحت تاثیر جریان جزر و مد و کانالیزه شدن جریان در شمال جزیره قشم از شرق به غرب است. در سلول رسوبی ۴ جابجایی رسوب بیشتر در محدوده کراس شور رخ می‌دهد. با این حال جریان‌هایی که از سمت دریای عمان به این بخش از ساحل استان هرمزگان وارد می‌شوند، تحت تاثیر جزیره هرمز دو سویه حرکت می‌کنند (در سمت شرق جزیره از غرب به شرق و در سمت غرب جزیره از شرق به غرب).

سلول‌های رسوبی ۵ و ۶ در جلگه ساحلی شرق تنگه هرمز قرار گرفته اند. این بخش از نظر ساختمانی جزء واحد مورفوتکتونیکی زاگرس به شمار می‌رود. اما از نظر سایر خصوصیات، به‌ویژه خصوصیات لیتولوژیک، کاملاً مشابه با واحد مکران در مشرق خود است. در طول کواترنر عوامل فرسایش به تدریج قسمت عظیمی از کوه‌ها را فرسوده کرده و رسوبات حاصل از آن، در کناره ساحلی انباشته شده و زمین‌های هموار جلگه ساحلی را شکل داده‌اند. وسعت بیشتر دلتاها، نتیجهٔ حجم زیاد بار رسوبی ریزدانه‌ایی است که به وسیله شبکه زهکشی و رودهای اصلی به محدوده خط ساحلی منتقل می شود. بارش رگباری منطقه به گونه‌ای است که این رودخانه‌ها در زمان بارش، اغلب حالت سیلابی دارند. حجم رسوب معلقی که همراه با رودهای جگین، گابریک، سدیج و سایر رودهای این منطقه منتقل می‌شود، در تمام ایران بی‌همتاست (یمانی، ۱۳۷۸). گذشته از فرایندهای حاکم در محیط خشکی، حرکات آب دریا، به‌ویژه اثر مکانیکی امواج دریا بر تحول خط ساحلی تأثیر گذار هستند. اثر این امواج در تابستان بیشتر از زمستان است؛ زیرا بادهای طوفانی ناشی از پرفشارهای جنب حاره‌ای در تابستان‌ها شدیدتر و مداومتر است (محمودی، ۱۳۷۰). در این بخش حجم رسوب فراوانی را که رودخانه-های موجود در سطح این سلول‌های رسوبی به خط ساحلی منتقل می‌کنند، موجب پیشروی تدریجی قاعده این دلتاها شده است. تحدب موجود در خط ساحلی مورد مطالعه، نتیجه این فرایند است. علاوه بر دینامیک رودها و انتقال رسوب به خط ساحلی، باد و حرکات آب دریا و امواج، نقش بسیار موثری در توزیع رسوبات منتقل شده توسط رودخانه‌ها ایفا کرده‌اند. تشکیل خورها، پیکان‌ها، سدهای ماسه‌ای و لاگون‌ها، اغلب نتیجه عملکرد این فرایندها است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲). منبع رسوبی در سلول رسوبی ۵ شامل فرسایش کرانه‌ای، فرسایش بادی (از خشکی به دریا)، بستر دریا، رسوباتی که توسط جریان‌های دریایی وارد سلول می‌شوند و رودخانه‌های چالاک، گز، حیوی، کرئی، بریزک و رودخانه خشک زنگلی (تنها در مواقع سیلابی جریان دارد) و در سلول رسوبی ۶ رودخانه‌های سدیج، گابریک و جگین است. حجم رسوبی که توسط این رودخانه‌ها وارد سلول‌های رسوبی ۵ و ۶ می‌شود به ترتیب حدود ۱۵۵۳ و ۸۸۱۸ هزار متر مکعب در سال برآورد شده است. مخازن رسوبی در این سلول‌ها شامل خورها، زبانه‌ها و جزایر ماسه‌ای، تل ماسه‌ها، لاگون‌ها و پشت بازوی بنادر و جتی‌های موجود در منطقه است. حجم رسوبی که در این سلول‌ها ذخیره می‌شوند به ترتیب حدود ۳۷۹ و ۷۸۰ هزار مترمکعب در سال برآورد شده است (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۶). مسیر جابجایی رسوب در سلول رسوبی ۵ تحت تاثیر جریان‌های موازی ساحل و راستای ساحل از جنوب به شمال و در سلول رسوبی ۶ از شرق به غرب است. در ویژگی

هر یک از سلول‌ها به تفکیک زیرسلول‌های آن‌ها بیان شده است. در ادامه مثالی از کاربرد سلول رسوبی در مطالعات بودجه رسوبی استان هرمزگان آورده شده است.

تعیین منابع و مخازن رسوبی (Sinks and Sources) در محدوده زیر سلول ۵-۱ : بطور کلی منابع رسوبی شامل انتقال رسوب کرانه‌ای به درون سلول، فرسایش پرتگاه‌های ساحلی، انتقال رسوب رودخانه‌ای به سواحل، فرسایش ساحل، بارگذاری مصالح لایروبی شده و افت تراز سطح آب است. مخازن رسوبی می‌تواند شامل انتقال رسوب کرانه‌ای، افزایش سطح ساحل، لایروبی و برداشت مصالح از سواحل، افزایش نسبی تراز سطح آب و چاله های رسوبی باشد. در اینجا به دلیل اجتناب از اطاله کلام، بودجه رسوبی محاسبه شده در زیرسلول ۵-۱ (زیرسلول اول سلول رسوبی پنجم) به عنوان مثال بیان شده است. زیر سلول اول سلول رسوبی ۵ از منطقه کلاهی واقع در جنوب میناب شروع شده و تا جنوب بندر سیریک ادامه پیدا می‌کند. محدوده مذکور در شکل ۹ نمایش داده شده است. در این محدوده چندین منبع و مخزن رسوبی وجود دارد که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

منابع رسوبی

از منابع مهم تولید رسوب در نوار ساحلی استان هرمزگان، آورد رسوبات از رودخانه‌های مختلفی است که در محدوده مورد مطالعه وجود دارند. داده‌های آورد رسوبات رودخانه‌های موجود در استان هرمزگان، از مطالعات پایش استان هرمزگان (۱۳۹۱) استخراج شده است. در این مطالعات رودخانه‌هایی که دارای ایستگاه‌های هیدرومتری بوده و اطلاعات همزمان جریان و رسوب در آنها وجود داشته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و منحنی سنجه آن‌ها بدست آمده است. براساس این پارامترها، میزان رسوبات معلق بصورت تابعی از دبی جریان برآورد شده است. با بهره‌گیری از رابطه بدست آمده میزان رسوبات معلق محاسبه شده و با در نظر گرفتن مقدار ۱۰ درصد این رسوبات به عنوان بار بستر میزان بار کل رسوبی در این رودخانه‌ها برآورد شده است. در رودخانه‌هایی که این اطلاعات موجود نبوده با استفاده از روابط تجربی اقدام به محاسبه میزان رسوبات در آن‌ها شده است. در مطالعه حاضر از این اطلاعات به عنوان یکی از منابع مهم تولید رسوب در سواحل استان استفاده می‌شود. قابل ذکر است که مقادیر محاسبه شده در مطالعات فوق الذکر مقدار حمل رسوب و یا تولید شده تا ایستگاه مورد نظر است و این مقادیر رسوب تا ورودی به دریا دستخوش تغییرات زیادی می‌شوند. رسوبات تولید شده در حوضه آبریز دارای طیف وسیعی از دانه‌بندی هستند که از ذرات خیلی درشت دانه تا خیلی ریزدانه را شامل می‌شود. رودخانه چالاک از رودخانه‌هایی است که بخشی از رسوبات زیر سلول اول را تأمین می‌کند. این رودخانه فصلی بوده و در بیشتر مواقع خشک است. طول آن در حدود ۲۸ کیلومتر و حوضه آبریز آن ۱۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. براساس مطالعات انجام شده، میزان آورد رسوب این رودخانه در حدود ۱۵۵ هزار متر مکعب در سال برآورد شده است. بنابراین بر اساس روش شناسی بیان شده، مقدار رسوب ورودی از این رودخانه به نوار ساحلی در حدود ۸۵ هزار متر مکعب در سال است. از دیگر منابع رسوبی این زیرسلول رودخانه گز، رودخانه‌ای فصلی است که در جنوب بندر سیریک به دریا می‌ریزد. حوضه آبریز این رودخانه و طول آن به ترتیب در حدود ۱۳۰۰ کیلومتر مربع و ۶۳ کیلومتر است. این رودخانه فصلی است بگونه‌ای که فقط در زمان‌های سیلابی جریان دارد. آورد رسوب این رودخانه براساس مطالعات، در حدود ۳۲۶ هزار متر مکعب در سال تخمین زده شده که از این مقدار حدود ۵۵ درصد آن وارد ناحیه ساحلی می‌شود. بنابراین سالیانه در حدود ۱۷۹هزار متر مکعب رسوب این رودخانه وارد بودجه رسوبی این زیر سلول می‌شود. مطالعات در شمال بندر کوهستک نشان می‌دهد که به دلیل وجود بندر، سالانه در حدود ۱۰ هزار متر مکعب در سال فرسایش رخ می‌دهد. این مقدار رسوب به عنوان یکی از منابع رسوبی برای نواحی شمالی این زیرسلول (به دلیل جهت جنوب به شمال انتقال رسوب) عمل می‌کند. علاوه بر منابع رسوبی که در بالا به آن‌ها اشاره شد، در شمال و جنوب بندر زیارت سیریک تعدادی مسیل دیده می‌شود که در مواقع سیلابی می‌توانند نقش منابع رسوبی این ناحیه را ایفا نمایند. میزان تأثیر این رسوبات

در بودجه رسوبی گرچه زیاد نیست اما در راستای شناسایی منابع مختلف و دقیق‌تر کردن بودجه رسوبی می‌توانند مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند.

مخازن رسوبی

در این زیر سلول مخازن رسوبی مختلفی وجود دارد. از مخازن رسوبی در این زیر سلول، بنادر و خور-مصب‌هایی هستند که در دهانه رودخانه‌ها و اطراف بازوی بنادر قرار داشته و باعث قطع جریان رسوب در طول خط ساحلی شده است. در این زیرسلول، بندر کوهستک، بندر کریان، بندر زیارت سیریک، بندرگروک و بندر سیریک قرار دارند. بر اساس مطالعات که بر مبنای مقایسه تصاویر ماهواره‌ای انجام شده، حجم رسوبگذاری در اطراف این بنادر به ترتیب در حدود ۶۰ ، ۸۴، ۶۸ ، ۳۳ و ۲۵ هزار متر مکعب در سال برآورد شده است.

تغییرات خط ساحلی

تغییرات خط ساحلی در این محدوده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۱۵ بدست آمده است. بر اساس ارزیابی‌های موجود مقدار تغییرات خط ساحلی که شامل تغییرات بلند مدت خط ساحلی در این دوره ۲۳ ساله (فرسایش و انباشت رسوبات در طول خط ساحلی) و نیز فرسایش موضعی بالادست بندر کوهستک است به ترتیب در حدود ۱۴۴، ۱۲۸ و ۱۰ هزار متر مکعب در سال برآورد شده که مجموع آن ها در حدود ۲۶- هزار متر مکعب در سال بدست می‌آید که در سمت معادله بودجه رسوبی وارد می‌شود (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۱).

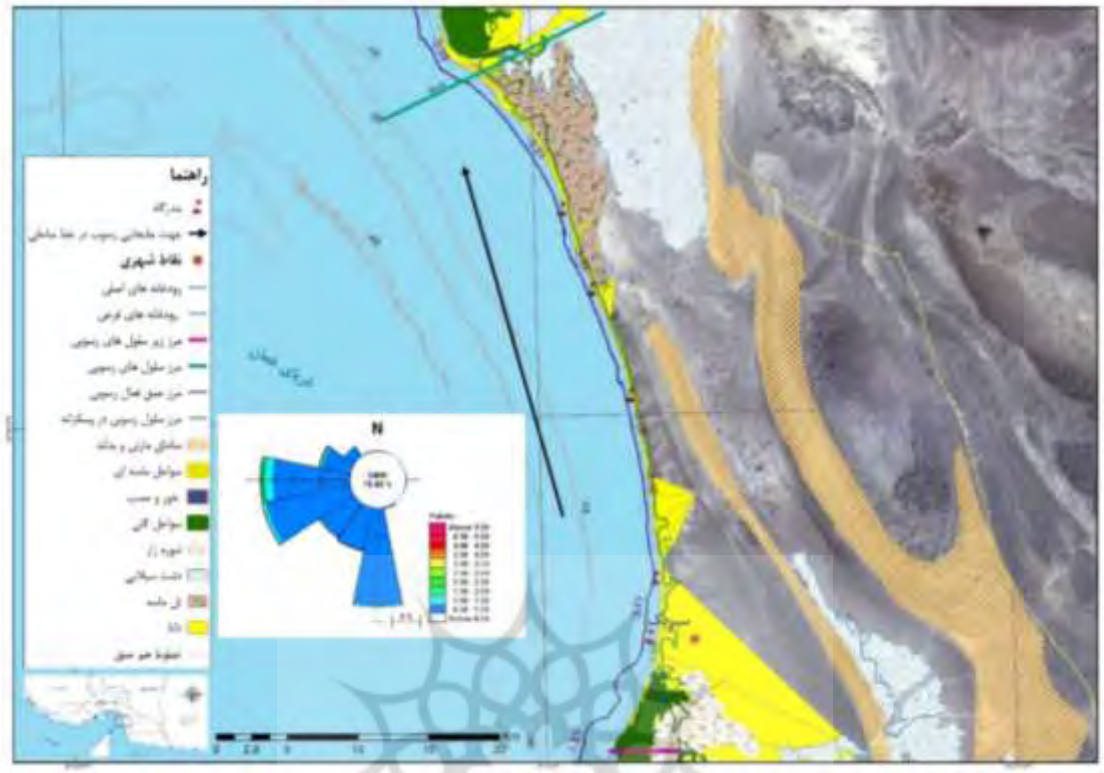
بودجه رسوبی

تمامی منابع و مخازن زیر سلول اول در بالا ارائه شدند که مقادیر بدست آمده از روش‌های مختلف در اینجا وارد معادله بودجه رسوبی شده و موازنه آن صورت می‌گیرد. خلاصه نتایج بدست آمده از مباحث بالا در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: مقادیر عوامل مختلف در بودجه رسوبی زیر سلول اول -سلول پنجم

منابع (هزار متر مکعب در سال)	مخازن (هزار متر مکعب در سال)	تغییرات (هزار متر مکعب در سال)	رانه ساحلی ورودی (هزار متر مکعب در سال)	باقیمانده (هزار متر مکعب در سال)
۲۶۴	۲۷۰	-۲۶	۲۱	۴۱

در جدول بالا مقاویر عوامل مختلف در بودجه رسوبی مشاهده می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود این زیر سلول در حدود ۴۱ هزار متر مکعب در سال مازاد رسوب دارد که احتمالاً در زبانه‌های رسوبی و دلتاهای موجود در طول نوار ساحلی رسوبگذاری می‌کنند.



شکل ۹: زیرسلول رسوبی ۵-۱

نتیجه گیری

براساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، معیار تعیین مرز سلول‌های رسوبی در استان هرمزگان، در درجه اول براساس معیارهای لندفرمی است. از این رو در سواحل استان هرمزگان به مانند مرزهای معرفی شده در مطالعات بین‌المللی (Inman,1999، Motyka& Brampton, 1993 و Bray et.al, 1995) مرز سلول‌های رسوبی از دو نوع دماغه و خور تشکیل شده است. معیار دوم، توانایی این مرزها در جلوگیری از جابجایی رسوب و ایجاد یک چرخه رسوبی در درون سلول مورد نظر است. مرز زیرسلول‌ها نیز به همین ترتیب انتخاب شدند. با این تفاوت که مرز جداکننده زیرسلول‌ها ثابت نبوده و به صورت موقت (در مقیاس زمانی کوتاه) مانع جابجایی رسوب بین زیرسلول‌های مجاور می‌شوند. به این ترتیب سواحل استان هرمزگان به ۶ سلول و ۱۷ زیرسلول رسوبی تقسیم‌بندی شد. منبع اصلی رسوب در همه سلول‌ها رسوب تولید شده توسط رودها است. تنها در سلول رسوبی ۱ منبع اصلی رسوب، فرسایش کرانه‌ای است. مخازن رسوبی شناسایی شده در سواحل استان هرمزگان نیز شامل خورها، زبانه‌های ماسه‌ای، سد ماسه‌ای، لاگون‌ها و سواحل یک سوی خلیج‌های کوچک است. عمده‌ترین عوامل تاثیرگذار در جهت جابجایی رسوب در سلول و زیرسلول‌ها، جریان‌های موازی ساحل (در جهت غالب در طول یک سال) و راستای ساحل هستند. با این حال در سلول‌هایی که جریان جزر و مد غالب است (مانند سلول ۳ و ۴)، به دلیل ضعف امواج، جابجایی رسوب بیشتر در امتداد عمود بر ساحل[1] صورت می‌گیرد. عواملی مانند بالا آمدگی سواحل (در سواحل غربی استان هرمزگان) و بالا رفتن سطح آب دریا در جابجایی مرز سلول‌ها تاثیر بسزایی دارند. به طوری که همه پارامترهایی که جهت تعیین مرز سلول‌ها مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفته بودند تحت تاثیر قرار گرفته (به عنوان مثال تغییر در سطح اساس رودها باعث تغییر در نرخ رسوب‌هایی که وارد دریا می‌شوند شده و حجم نت رسوبی در ساحل نیز تغییر خواهد کرد) و به تبع آن مرز سلول‌ها نیز جابجا خواهد شد. این نتایج براساس پژوهش‌هایی مانند

[1]. Crossshore

Inman & Chamberlain (1960)، Best & Griggs (1997)، Mangoor, (2004) و Thom (2018) مورد تایید قرار می‌گیرد. زیرا این تحقیق بر مبنای روش‌های علمی و عملی به کار رفته در تعیین مرز، منابع و مخازن سلول رسوبی در مطالعات بین‌المللی، انجام شده است با این تفاوت که در اینجا روش‌های تبیین مساله از دیدگاه ژئومورفولوژی (توجه به مقیاس، فرم و فرآیندها با دید کل‌نگری) مورد استفاده قرار گرفته است.

سپاسگذاری

بدینوسیله از سازمان بنادر و دریا نوردی به خاطر در اختیار قرار دادن برخی داده‌های مربوط به رسوب و هیدرودینامیک و نتایج بدست آمده از گزارش بودجه رسوبی در طرح تدقیق مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی استان هرمزگان ، صمیمانه تشکر می‌نماییم.

منابع

- بهبهانی، ر.، حسین‌یار، غ.، لک، ر.، قرائی، ا.، انسانی، م.، حاجی‌زاده، س.،۱۳۹۰. مطالعه اشکال و رسوبات بستر تنگه خوران (لافت–پهل)، شرق خلیج فارس، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و هفتم، شماره پیاپی ۴۵، شماره۴.
- ثروتی، م.، منصوری، ر.، ۱۳۹۲. روش‌های پژوهش در ژئومورفولوژی، مجله سپهر، دوره بیست و دوم، شماره ۸۸.
- سازمان بنادر و دریانوردی، پایش و مطالعات شبیه‌سازی سواحل استان هرمزگان، گزارش مطالعات تغییرات خط ساحلی، ۱۳۹۱.
- سازمان بنادر و دریانوردی، پایش و مطالعات شبیه‌سازی سواحل استان هرمزگان، گزارش مطالعات رسوب، ۱۳۹۱.
- سازمان بنادر و دریانوردی، طرح تدقیق ICZM سواحل استان هرمزگان، گزارش بودجه رسوبی، ۱۳۹۶.
- علائی‌طالقانی، م.، ۱۳۷۲. طبقه‌بندی انواع سواحل جغرافیا: رشد آموزش زمین‌شناسی، شماره ۳۲ و ۳۳.
- غریب‌رضا، م.، وفایی، ف.، ۱۳۷۷. بررسی وضعیت عمومی سواحل استان هرمزگان، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- کرمی‌خانیکی، ع.، ۱۳۸۳. سواحل ایران، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.
- محمودی، ف.، ۱۳۷۰. ژئومورفولوژی، جلد دوم: ژئومورفولوژی اقلیمی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- نوحه‌گر، ا.، حسین‌زاده، م.،۱۳۹۰. دینامیک دریا و عوامل موثر بر نوسانات تراز دریا در تحول قاعده دلتاهای شمال تنگه هرمز، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳.
- یمانی، م.، ۱۳۷۸. اثر حرکات آب دریای عمان در تشکیل و تکامل تالاب‌های جزرومدی، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۷، موسسه جغرافیا، تهران.
- یمانی، م.، قدیمی، م.، نوحه‌گر، ا.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات زمانی خط ساحلی شرق تنگه هرمز از طریق تحلیل آماری نیمرخ‌های متساوی البعد (ترانسکت)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۲، صص۱۵۷–۱۷۴.
- *Best, T.C., Griggs, G.B., 1997. A sediment budget for the Santa Cruz littoral cell. Sock Economic Paleontologists and Mineralogists Spec. Pub. No. 46, pp. 35–50.*

- *Bodge, K.R. 1999. Inlet Impacts and Families of Solutions for Inlet Sediment Budgets. Proc. Coastal Sediments '99, American Society of Civil Engineers, NY, Vol 1, pp. 703-718.*
- *Bray. M. J., Carter. D.J., Hooke. J.M., 1995, Littoral Cell Definition and Budgets for Central Southern England, Journal of Coastal Research, 11. 2. 381.*
- *Buijsman, M.C., Sherwood, C.R., Gibbs, A.E., Gelfenbaum, G., Kaminsky, G., Ruggiero, P., Fraklin, J., 2003. Regional sediment budget of the Columbia River Littoral Cell, USA. U.S. Geological Survey Open-File Report 02-281. p. 167.*
- *Cooper N.I., Pontee N.J., 2006. Appraisal and evolution of the littoral 'sediment cell' concept in applied coastal management: Experiences from England and Wales, Ocean & Coastal Management 49 498–510.*
- *Dean, R. G., & Dalrymple., R. A. 2004. Coastal processes with engineering applications. Cambridge University Press.*
- *Dibajnia, M., Soltanpour, M., Vafai, F., Jazayeri Shoushtari, S.M.H., Kebriaee, A., 2012. A shoreline management plan for Iranian coastlines. Ocean & Coastal Management 63 1e15.*
- *Dorman, C.E. 1968. The Southern Monterey Bay Littoral Cell: A preliminary sediment budget study. MA. thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA. p. 231.*
- *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. 24 (4), 195–211.*
- *Habel, J.S., Armstrong, G.A., 1978. Assessment and atlas of shoreline erosion along the California coast. State of California, Department of Navigation and Ocean Development, Sacramento, California. p. 277.*
- *Inman, D.L., Chamberlain, T.K., 1960. Littoral sand budget along the southern California coast (abstract). Report 21st International Geological Congress. Copenhagen, pp. 245–246.*
- *Inman, D.L., Jenkins, S.A., 1999. Climate change and the periodicity of sediment flux of small California rivers. J. Geol. 107, 251–270.*
- *Jarrett, J. T. 1977. Sediment budget analysis: Wrightsville Beach to Kure Beach, N.C. Proceedings, Coastal Sediments '77. American Society of Civil Engineers (ASCE), ASCE Press, New York, 986-1005.*
- *Jarrett, J. T. 1991. Coastal sediment budget analysis techniques. Proceedings, Coastal Sediments '91. American Society of Civil Engineers, (ASCE), ASCE Press, New York, 2223-2233.*
- *Kondolf, G.M., Schmitt, R.J.P., Carling, Paul., Darby, Steve., Arias, Mauricio., Bizzi, Simone., Castelletti, Andrea., Cochrane, T.A., Gibson, Stanford., Kummu, Matti., Oeurng, Chantha., Rubin, Zan., Wild, Thomas., 2018. Changing sediment budget of the Mekong: Cumulative threats and management strategies for a large river basin. Science of the Total Environment, 625.114.*
- *Kraus, N. C. 2000. Reservoir model of ebb-tidal shoal evolution and sand bypassing, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering (in preparation).*
- *Lowry, P., Carter, R.W.G., 1982. Computer simulation and delimitation, of littoral power cells on the barrier coast of southern County, Wexford, Ireland. J. Earth Sci. R. Soc. Dublin.121–132.*
- *Motyka. J.M., Brampton. A.H., 1993. Coastal management: mapping of littoral cells, HR Wallingford report SR328.*
- *Patsch, K., Griggs, G. 2006. Littoral Cells, Sand Budget, and Beaches: Understanding California Shoreline. Institute of Marine Science, University of California, Santa Cruz.*

- *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, 143-157.*
- *Schwartz, M., 2005. ENCYCLOPEDIA of COASTAL SCIENCE. Published by Springer, PO Box 17, 3300 AA. Dordrecht, The Netherlands. 594-599.*
- *Shanehzsazzadeh, A., Parsa, R., Ardalan, H. Evaluation of Sediment Cells in Coastal Processes Studies in Hormozgan Province. The 11th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures (ICOPMAS 2014). Tehran, Iran, 24-26 Nov.*
- *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. 154 -103–120.*
- *Zikra, M., Suntoyo., Wirayuhanto, H., 2017. Coastal sediment cells for the north coast of east Java, Indonesia. International Journal of Civil Engineering and Technology. Vol 8.*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی