

تحلیل مورفودینامیک ساحلی با هدف تعیین موز سلول‌های رسوی (مطالعه موردی: استان هرمزگان)

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

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱ تایید نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۱۱

چکیده

بررسی تعادل رسوی ساحل و استفاده از مفهوم سلول رسوی رویکرد جدید و موثر در مطالعه انتقال رسوی 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 رسوی موسوم است به صورت یک سیستم مدل می‌شود که دارای ورودی نظیر ورودی رسوی و وضعیت فعلی ساحل است. در این سیستم ناشی از یکسری فرآیندهای انتقال رسوی، خروجی سیستم حاصل می‌گردد که همانا رسوی خروجی از سیستم و وضعیت جدید ساحل اعم از فرسایش و رسویگذاری 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 زئومورفولوژیکی، الگوی موج و جریان خط ساحلی به سلول و زیرسلول‌های رسوی تقسیم شدند. جهت نیل به این هدف از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای LandSat8، داده‌های هیدرودینامیک، آمار باد، هیدرولوژی، لاپرواژی بنادر بزرگ و رسوی-شناسی (تهیه شده توسط سازمان بنادر و دریانوردی) استفاده شده است. داده‌ها در ArcGIS10.3 تحلیل شده و محیط ساحل براساس ویژگی‌های مشترک فرم و فرایندی طبقه-بندی و بر مبنای هدف مطالعه، موز سلول‌های رسوی با استفاده از معیارهای زئومورفولوژیک و در طی شش مرحله تعیین شد. سپس در هر سلول، با استفاده از داده‌های گل‌موج، گل‌جریان، گل‌رسوب، نت رسوی و نقشه زئومورفولوژی، مخازن و منابع رسوی و سیاست‌های مدیریت خط ساحلی، بر اساس 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: زئومورفولوژی ساحلی، سلول رسوی، مدیریت ساحلی، سواحل استان هرمزگان.

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 نهایتاً 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 عمدتاً دوره هولوسن است که هم اکنون متاثر از پدیده‌های موثر ساحلی نظیر موج، جریان و باد در حال تعادل عمدتاً 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 تقدیم 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 بعضاً بدون بازگشت و جبران ناذیر هستند^(پاتش و گریگ، 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 نهایتاً تغییر خط ساحل است^(کوپر و پونتی، ۲۰۰۶). سلول‌های رسوبی به صورت محافظه‌هایی در ساحل هستند که هر کدام دارای یک چرخه کامل رسوبی؛ اعم از منابع تولید ماسه، مسیرهای انتقال و مخازن رسوبگذاری هستند^(شوارتز، 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 عموماً 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^(ایمن، 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، ۱۹۹۳). (شکل ۱)

^۱ . Patsch and Griggs

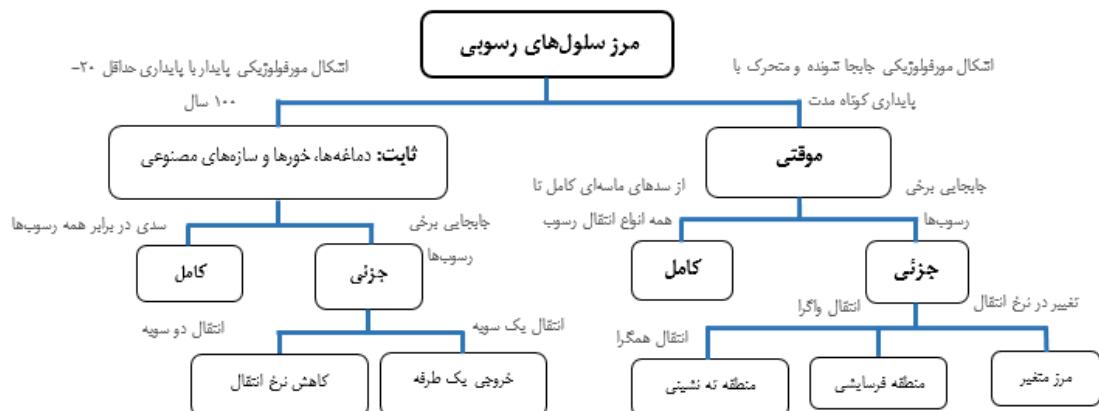
^۲ . Cooper and Pontee

^۳ . Compartment

^۴ . Schwartz

^۵ . Inman

^۶ . Motyka& Brampton



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

مرز سلول و زیر سلول‌های رسوبی را می‌توان از طریق شناسایی ناپیوستگی‌ها در نز انتقال 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 صنعتی بزرگ که در طی سالیان زیادی بر جای 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^۱ هستند (اشکال تراکمی ساحلی مانند زبانه‌های ماسه‌ای) و از طریق تفاوت‌های فاحشی که در نز 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^۲، ۱۹۹۵).

سواحل استان هرمزگان از نوع حاشیه دریایی^۳ بوده و به صورت ذاتی از نظر ژئومورفولوژی از پیچیدگی‌های سواحل از این نوع برخوردار است (شانه‌ساززاده^۴، 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، تعیین 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. دیباچ نیا و همکاران (2012)، در مقاله‌ای که مستخرج از طرح مدیریت سواحل و بنادر (ICZM) ایران است برخی پارامترهای لندرفرمی مانند دماغه‌ها و فروفتگی‌های ساحل را با استفاده از

¹. littoral drift convergences² . Bray & et.al³. سواحل حاشیه‌ای: سواحل حاشیه‌ای Marginal sea coast.⁴ . Shanehsazzadeh

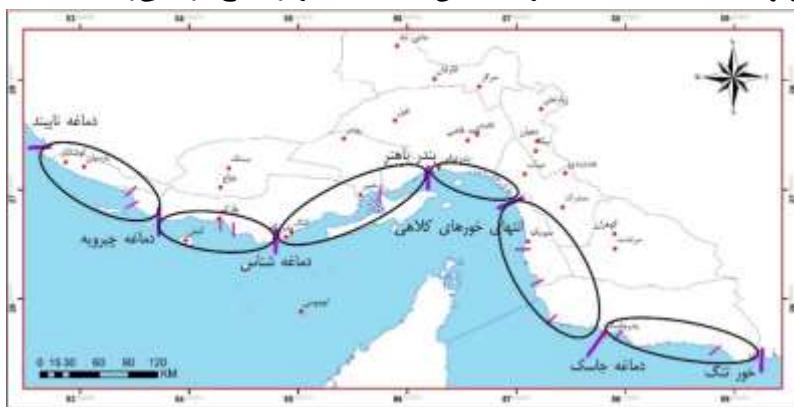
تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه استنادی، برای تشریح تغییرات ساحل و تکیک لندفرمی سلول‌های ساحلی مورد بررسی قرار داده‌اند. در مطالعات پاییش نواحی ساحلی ایران، سلول‌های ساحلی که برای سواحل هرمزگان تعیین شده‌اند تنها بر اساس فرم دسته‌بندی شده و به بررسی جزئیات چندانی در مطالعه ژئومورفولوژیکی و تقسیم‌بندی آن‌ها پرداخته نشده است. همچنین نقش فرآیندهای ژئومورفولوژیکی در فرم‌زایی و تغییر خطوط ساحلی بررسی نشده است. از آنجایی که سلول رسوی یک مدل و مفهوم بنیادی است و به تنها‌یی کاربرد ندارد، لذا از این مفهوم در محاسبه بودجه رسوی که از ارکان‌های مهم مدیریت خط ساحلی است استفاده می‌شود. بنابراین یکی از بخش‌های مهم مطالعات دریایی، مطالعه بودجه رسوی در طول نوار ساحلی مورد نظر است. با استفاده از این مطالعات می‌توان وضعیت رسوی یک سلول را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. در حقیقت بودجه رسوی، دریافت یا از دست دادن رسوی در یک حجم کترل خاص را محاسبه می‌کند(کاندولف و همکاران^۱، ۲۰۱۸). برای نوشتن بودجه رسوی در یک سلول رسوی نیاز به شناخت منابع و مخازن رسوی در آن محدوده است. پس از آن عوامل مختلف کمی شده و مقدار دهی می‌شوند و بر اساس مطالعات مختلف و تحلیل و تفسیر آن‌ها بودجه رسوی محاسبه شده و در نهایت مسیر حرکت رسویات در یک سلول مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در ارتباط با سلول‌های رسوی در ابتدا Inman (1960) مفهوم سلول‌های ساحلی یا رسوی را در امتداد سواحل جنوبی کالیفرنیا ارائه دادند. پس از آن؛ Dorman (1968) و Habel (1968) در طول سواحل کالیفرنیا، Carter (1982) در ایرلند، 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) در اندونزی و Thom و همکاران (2018) در استرالیا از جمله تلاش‌های پیش از این مطالعه جهت تعیین سلول و زیرسلول‌های رسوی کشورهای یاد شده است. در این پژوهش نیز سلول‌های رسوی 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 رسوی و تبیین ژئومورفولوژیک آن‌ها برای سواحل استان هرمزگان است. شناسائی و تعیین سلول‌های رسوی در طول خط ساحل از جنبه‌های مختلفی ضروری است که از آن جمله می‌توان به تعریف چارچوب تحقیقات هیدرودینامیک و رسوی، 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 رسوی اشاره کرد. لذا در تحقیقات حاضر با استفاده از تجربه‌های سایر کشورها و با توجه به مسائل و کاربری‌ها و پدیده‌های دریایی و مورفوژوئی خاص سواحل ایران خط ساحل به سلول‌های رسوی تقسیم‌بندی شده تا زمینه تکمیل سایر تحقیقات و طرح مدیریت ساحل فراهم آید. بدین ترتیب با مرزبندی سلول‌ها شاهد کاهش عرصه سرزمینی هستیم. مهمترین عرصه‌های فرسایش و رسویگذاری پیرامون بنادر احداث شده هستند که خود نقش تغییر کاربری اراضی ساحلی را در ایجاد عدم تعادل بین فرآیندهای رسوی روشن می‌سازد. نتایج این تحقیق مشخصاً زمینه‌های تحقیقات آتی در شناسایی هرچه دقیق‌تر فرآیندهای رسوی را به منظور مدیریت بهینه مناطق ساحلی فراهم آورده و نقش تعیین کننده‌ای در اتخاذ اقدامات مدیریت منابع طبیعی کشور خواهد داشت.

منطقه مورد مطالعه

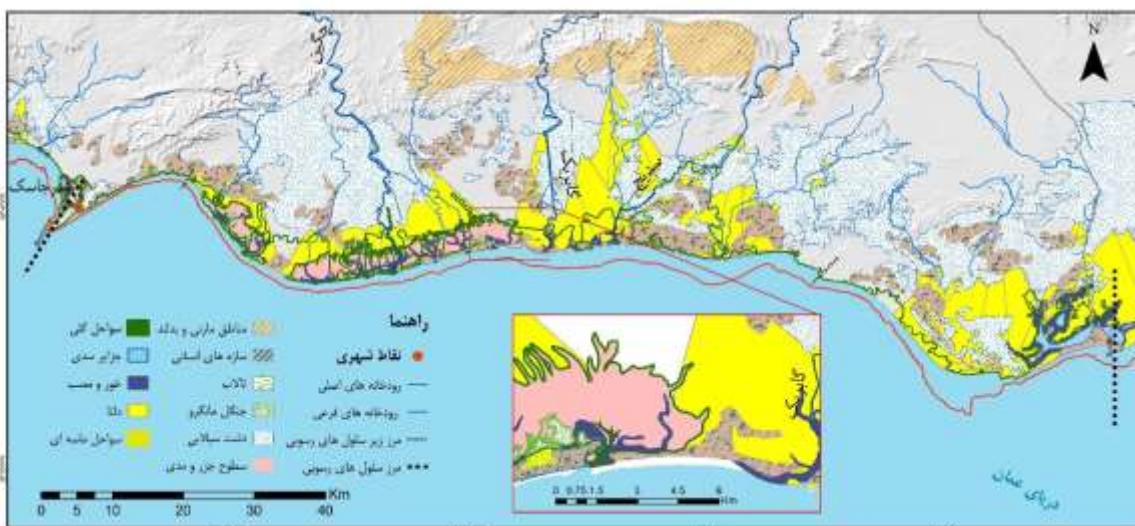
محدوده ساحلی استان هرمزگان که مطالعات سلول‌های رسوی بر روی آن انجام گرفته در حد فاصل خط ساحلی بین حوالی منطقه تنگ در دریای عمان و دماغه خلیج نایین در خلیج فارس است. محدوده مورد نظر بین خط ساحلی موقعیت-های جغرافیایی $25,43^{\circ}8974^{\prime}$ شمالي و $59,25^{\circ}6188^{\prime}$ شرقی در شرق منطقه تا $27,39^{\circ}00.81^{\prime}$ شمالی و $52,57^{\circ}26.8^{\prime}$ شرقی در غرب منطقه واقع شده است (شکل ۲ و جدول ۱). گستره نوار ساحلی استان هرمزگان سرزمینی است نسبتاً 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 عمدۀ عارضه‌های توپوگرافی آن تپه ماهورهای آهکی، گچی، نمکی، مارنی و ماسه‌ای است که حداقل بلندی آن‌ها به ۵۰۰ متر از سطح دریا می‌رسد.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی و سلول‌های رسوی مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از مفهوم یا مدل سلول رسوی 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 استنادی، 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 رسوی رودخانه‌ها (وزارت نیرو، ۱۳۹۴)، هیدرودینامیک دریا (گل‌موج، گل‌جريان و گل‌رسوب، جزر و مد، امواج بلند و سونامی)، آمار لایروبی بنادر بزرگ و تراز آب دریا (سازمان بنادر و دریا نورده، ۱۳۹۱) است. برای تعیین مرز سلول و زیرسلول‌های رسوی استان هرمزگان مراحل تولید داده‌ها و استفاده از ابزارهای پژوهشی به شرح زیر صورت گرفته است: ابتدا تمامی خط ساحلی استان از ابتدا تا انتهای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LandSat8 بررسی و مطالعه شد. در این مرحله، خط ساحلی بر مبنای عوارض ژئومورفولوژیک یکپارچه با مقیاس بزرگ (ژئومورفولوژی ساختمنی 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 لندرفرم‌ها از طریق ترسیم نقشه ژئومورفولوژی (شکل ۳) 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 تمایز 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 گل رسوب 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 مرازهای ثابت جزئی به عنوان مرز یزرسلول‌ها تعیین شدند. سپس برای هر یک از سلول‌ها مرز سلول در پسکرانه و مرز آن در دریا نیز بازناسایی 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^۱ 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.

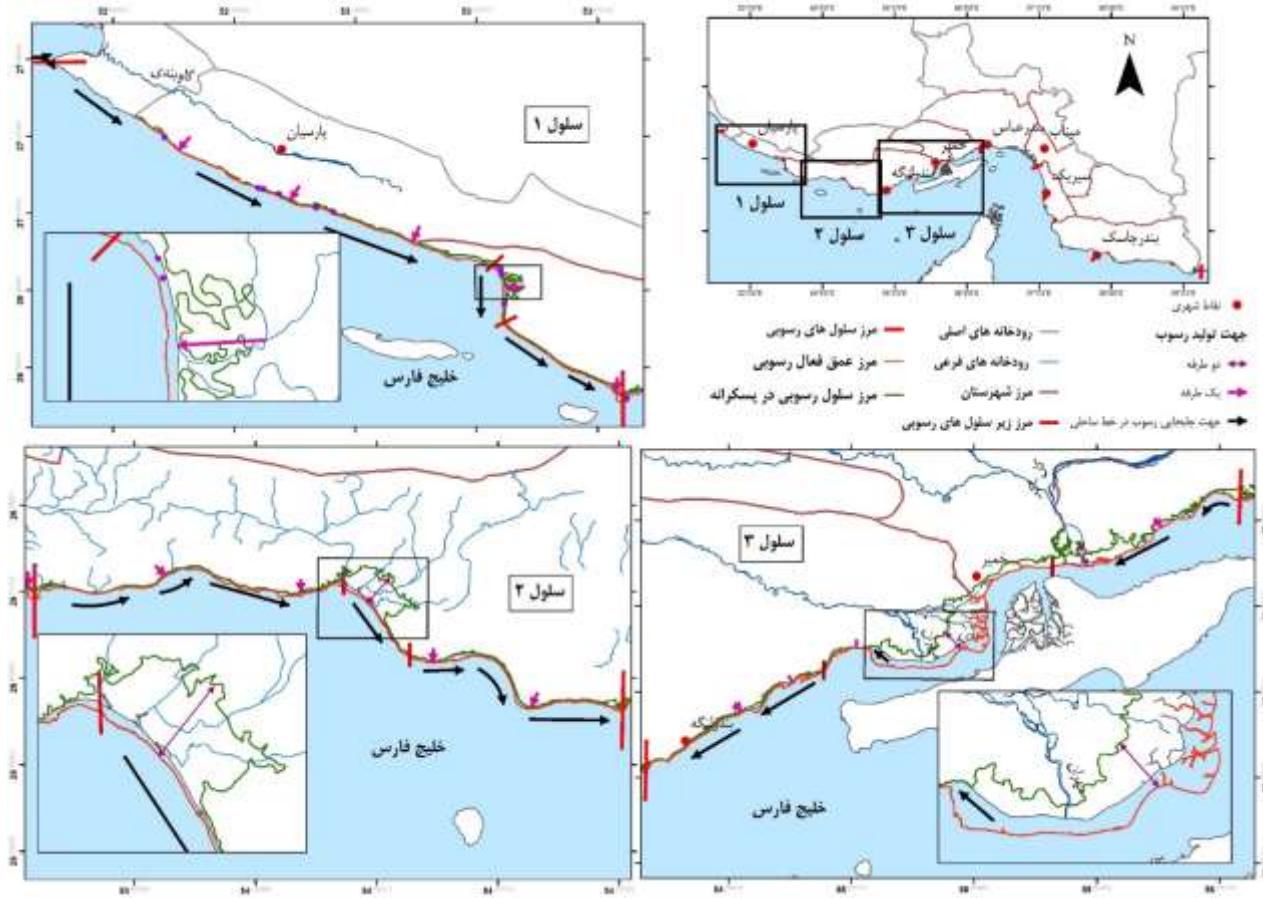
جهت تخمین بودجه رسوبی بطور کلی چهار روش وجود دارد که با استفاده از آن‌ها موازنی بودجه رسوبی در شاخابه‌ها (inlets) و محیط پیرامون آن‌ها انجام می‌شود. این روش‌ها شامل ۱- SBAS، ۲- مدل مخزن (Kraus, 2000)، ۳- SBAS روش شار انرژی موج (Jarret, 1977, 1991) و ۴- مدل (Bodge, 1999). از بین روش‌های اشاره شده روش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

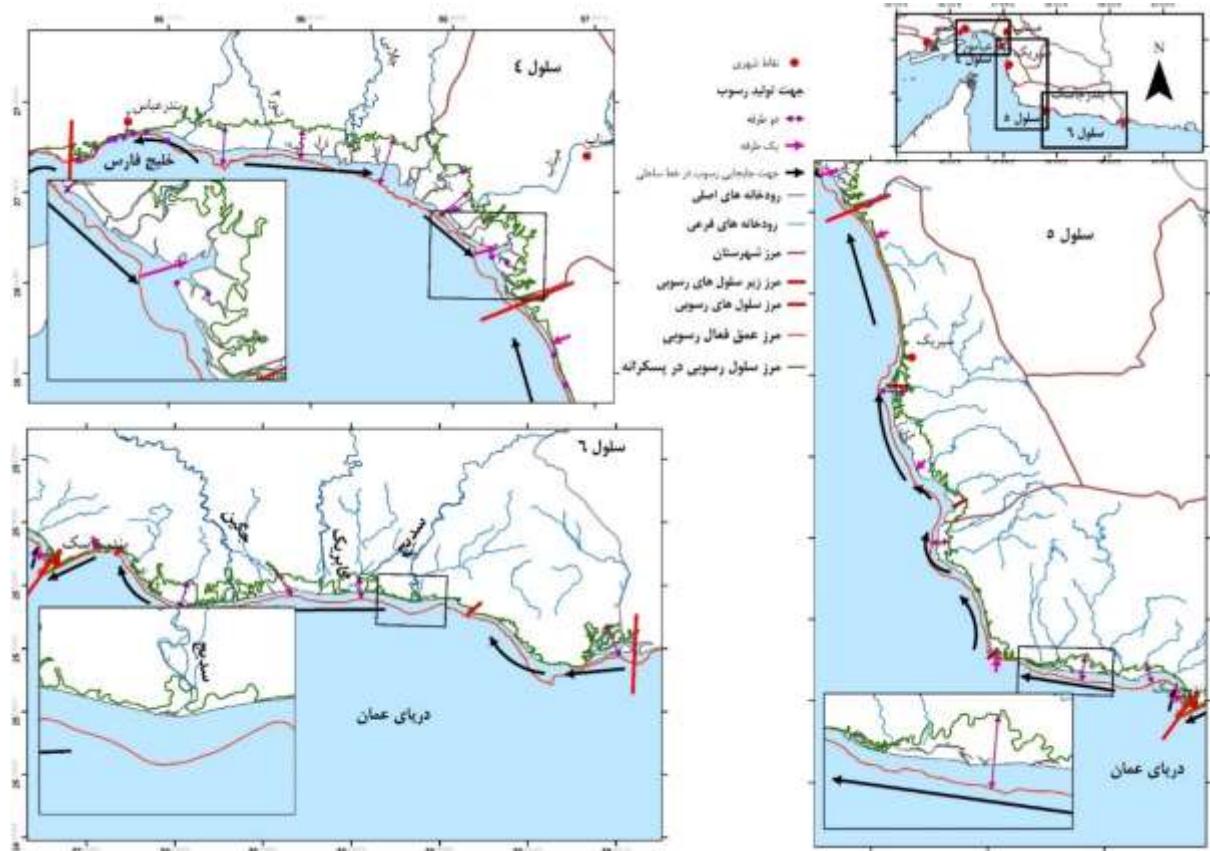
تحلیل بودجه رسوی SBAS یک برنامه کامپیوتراست که از یک واسط گرافیکی برای استفاده از معادله بودجه رسوی استفاده می‌کند. این سامانه به مهندسان سواحل در راستای فرموله کردن بودجه رسوی در مناطق با مسیرهای حرکتی پیچیده رسوی نظیر شاخابها یا در یک منطقه با چندین شاخابه با سواحل و زیرساخت‌های مختلف کمک می‌کند. در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

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

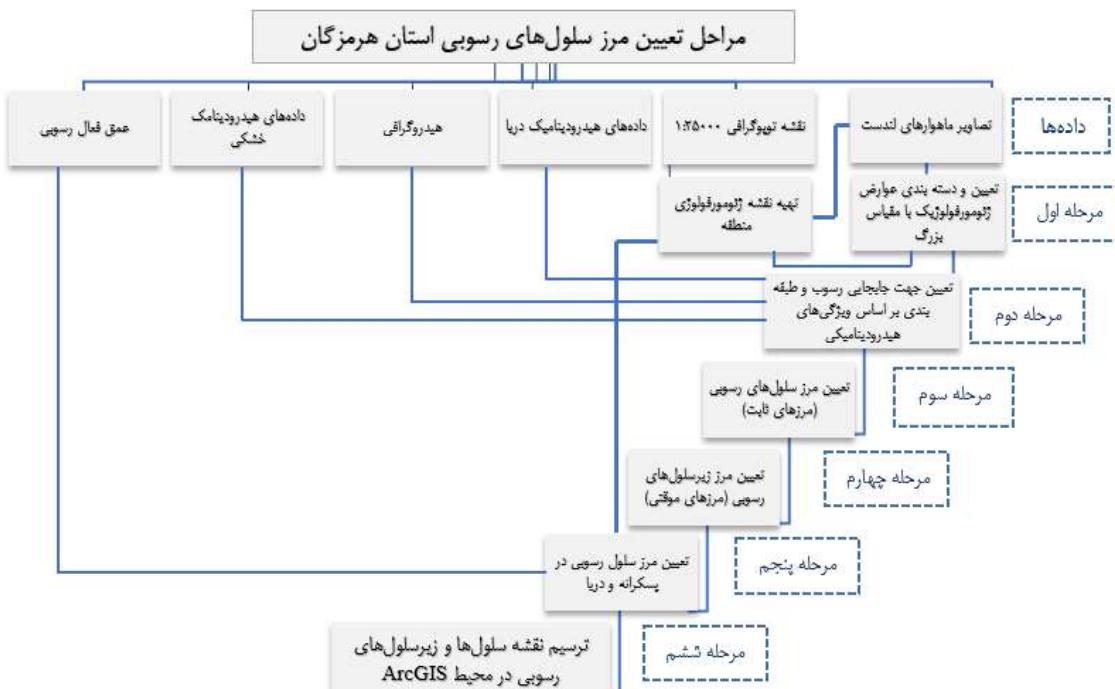
Q_{source} و Q_{sink} به ترتیب منابع و مخازن رسوی در حجم کنترل هستند، ΔV نرخ تغییرات در حجم درون سلول است، P و R به ترتیب مقادیر مصالح بارگذاری و برداشت شده در یک سلول هستند و *Residual* درجه موازنی بودن سلول را نشان می‌دهد. برای سلول موازنی شده مقدار این پارامتر صفر است. برای نوشتمن بودجه رسوی در یک سلول در ابتدا باستی منابع و مخازن موجود در سلول رسوی شناسایی شده و بر اساس اطلاعات مختلف مقدار آنها برآورد شود. پس از مشخص شدن مقادیر عوامل مختلف در رابطه بودجه رسوی وارد شده و موازنی رسوی صورت می‌گیرد.



شکل ۴: سلول‌های رسوی غرب استان هرمزگان



شکل ۵: سلول‌های رسوبی شرق استان هرمزگان



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

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 زیرسلول رسوبی تقسیم شده است. شناسایی این سلول‌ها و زیرسلول‌ها براساس بررسی ساختار ژئومورفولوژیک و نیروهای عامل (موچ، 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 رخمنون مهمترین آن‌ها باعث ایجاد مرز دائمی نسبتاً 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

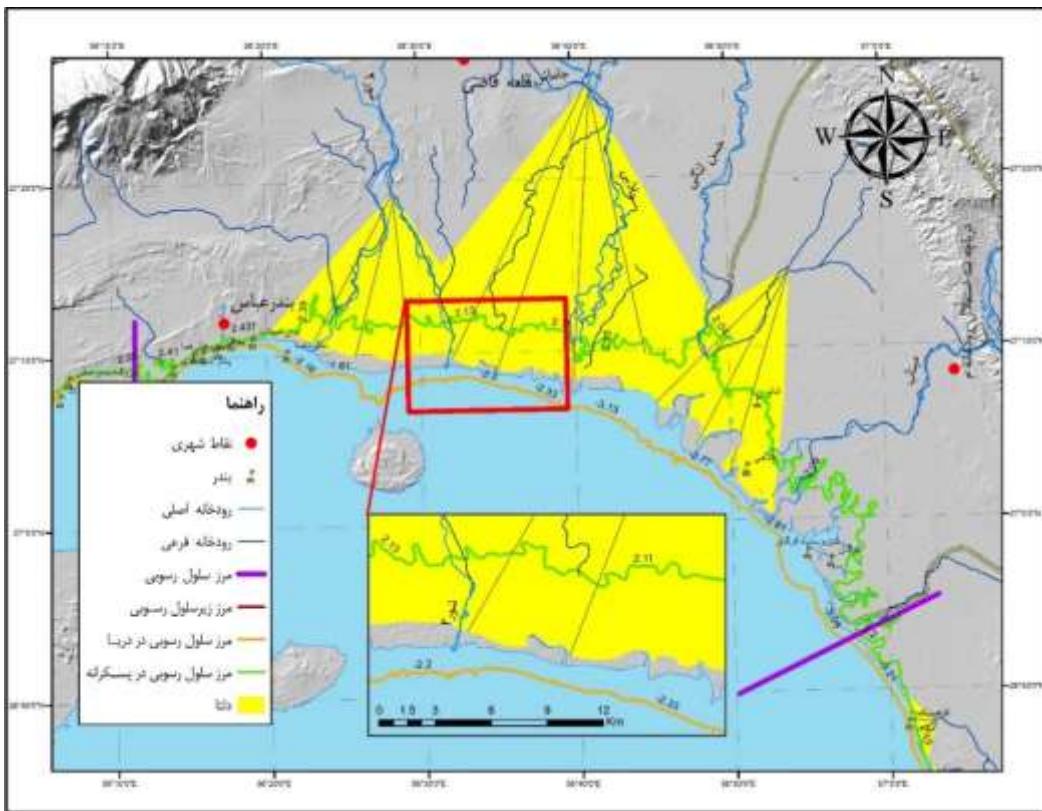
شماره سلول	ابتدا و انتهای سلول	طول جغرافیایی	طول	عرض جغرافیایی	طول تقریبی (KM)	طبقه‌بندی ساحل	فرآیند غالب	لندفرم غالب
۱	راس دماغه خلیج ناییند	۵۲,۵۷۷۲۶۸°	۲۷,۳۹۰۰۸۱°	۰۲۶,۹۹۹۹۱۶	۱۴۲	سوالن کوهستانی	فرسایش توسط امواج	دماغه- خلیج کوچک- پرتگاه سنگی
	دماغه چپرویه	۰۵۳,۷۲۷۸۴۳°	۰۲۶,۹۹۹۹۱۶	۰۲۶,۴۹۶۸۹۶				
۲	دماغه چپرویه	۰۵۳,۷۲۷۸۴۳°	۰۲۶,۹۹۹۹۱۶	۰۲۶,۴۹۶۸۹۶	۱۲۱	سوالن کوهستانی	فرسایش توسط امواج	دماغه- خلیج کوچک- پرتگاه سنگی
	دماغه شناس	۰۵۴,۷۹۴۲۴۴°	۰۲۶,۴۹۶۸۹۶	۰۲۷,۱۳۷۳۱۵				
۳	دماغه شناس	۰۵۴,۷۹۴۲۴۴°	۰۲۶,۴۹۶۸۹۶	۰۲۷,۱۳۷۳۱۵	۱۷۲	سوالن غوطه‌ور	سوالن جزر و مد- دلتا- خور و مصب- تالاب	سوالن گلی و کم شیب- جریان جزر و مد- رودخانه
	بندر باهنر	۰۵۶,۰۲۵۶۵°	۰۲۶,۴۹۶۸۹۶	۰۲۷,۱۳۷۳۱۵				
۴	بندر باهنر	۰۵۶,۰۲۵۶۵°	۰۲۷,۱۳۷۳۱۵	۰۲۶,۹۱۳۶۴۴	۹۴	سوالن غوطه‌ور	سوالن امواج- جریان امواج- رودخانه	سوالن ماسه‌ای و کم شیب- دلتا- خور و مصب- جزایر ماسه‌ای- تالاب
	انتهای خورهای کلاهی	۰۵۶,۹۴۰۷۶۶°	۰۲۶,۹۱۳۶۴۴	۰۲۷,۱۳۷۳۱۵				
۵	انتهای خورهای کلاهی	۰۵۶,۹۴۰۷۶۶°	۰۲۶,۹۱۳۶۴۴	۰۲۵,۶۴۰۹۸۴	۱۹۴	سوالن دلتایی	سوالن امواج- امواج موازی ساحل- جزر و مد- رودخانه- باد	سوالن ماسه‌ای و کم شیب- دلتا- خور و مصب- تالاب- زبانه و جزایر ماسه‌ای، تپه- های ماسه‌ای
	دماغه جاسک	۰۵۷,۷۶۹۹۸۰°	۰۲۵,۶۴۰۹۸۴	۰۲۵,۶۴۰۹۸۴				
۶	دماغه جاسک	۰۵۷,۷۶۹۹۸۰°	۰۲۵,۶۴۰۹۸۴	۰۲۵,۶۴۰۹۸۴	۱۶۳	سوالن دلتایی	سوالن امواج- امواج موازی ساحل- جزر و مد- رودخانه- باد	سوالن ماسه‌ای و کم شیب- دلتا- خور و مصب- تالاب- زبانه و جزایر ماسه‌ای، تپه- های ماسه‌ای

جدول ۲: سلول و زیرسلول‌های رسوبي سواحل استان هرمزگان و ویژگي‌های آن‌ها

جهت جابجایی رسوپ	مخزن رسوبی								نتیج رسوبی						نام زیرسلول	نام سلول			
	چهل به شمال	شمال به جنوب	کراس شور	غرب به شرق	از غرب به شرق	بازوی بادر و جترها	جزیره	زیر دریا	زیله ماسه‌ای و ماسه‌ای	سواحل ماسه‌ای	دل ماسه‌ای بادی	خور	مساح و مواد لایروبی و بیو شده	فرسایش کرانه‌ای	رسوات پست	بناد	روندله		
-	-	-	-	-	*	*	*	-	*	-	-	-	*	*	-	-	-	SubCell1	Cell1
-	*	-	-	-	*	*	-	-	*	*	*	*	-	*	*	-	*	SubCell2	
-	-	-	-	*	-	-	-	*	-	-	-	*	*	*	-	-	SubCell3		
-	-	-	-	*	*	-	-	-	*	-	*	*	-	*	*	-	SubCell1	Cell2	
-	-	-	-	*	*	-	-	-	*	-	*	*	-	*	*	-	SubCell2		
-	*	-	-	*	*	-	-	-	*	-	*	*	-	*	*	-	SubCell3		
-	-	-	*	-	*	*	-	-	*	-	*	*	-	*	*	-	SubCell1	Cell3	
-	*	-	*	-	*	*	-	-	*	-	*	*	-	*	*	-	SubCell2		
-	-	*	*	-	*	*	-	-	*	-	*	*	-	*	*	-	SubCell3		
*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	Cell4	Cell5
*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	SubCell1	
*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	SubCell2	
*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	SubCell3	
*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	SubCell4	
-	*	-	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	SubCell1	Cell6
-	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	SubCell2	
-	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	*	-	*	*	*	*	SubCell3	

* اطلاعات کافی در متن در نیست.

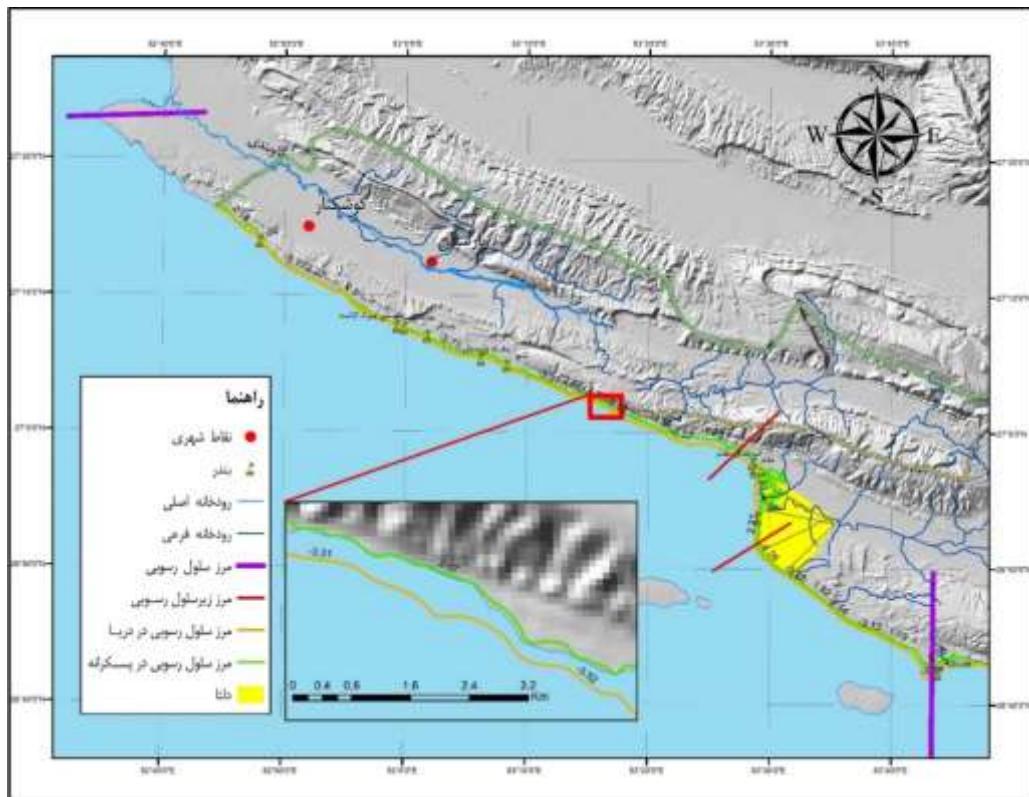
سلول و زیرسلول‌های رسوبي به لحاظ ویژگي طبیعی سواحل استان هرمزگان دارای مقیاس یکسانی نبوده و مقیاس هر یک با سلول مجاور متفاوت است. همچنین به لحاظ تفاوت در شیب ساحل و بستر دریا در مجاورت ساحل، فرایندهای فعلی پسکرانه و هیدرودینامیک دریا و همچنین ویژگی‌های زمین‌شناختی متفاوت در هرکدام از این محوطه‌های رسوبي، پهنهای مرز پسکرانه‌های و مرز دریایی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. به عنوان مثال ویژگی لیتوولوژیکی ساحل و شیب ملائم ساحل در محدوده برخی سلول‌ها باعث گردید عمل تولید رسوپ به خصوص در بخش‌های شرقی استان هرمزگان قوی‌تر عمل کند (سلول‌های رسوبي 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 رسوپ کرده و به اشکال مختلف در منطقه ذخیره شوند. از این رو مرز عمق فعلی رسوپی 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 رسوبي و نیز تحت تاثیر شیب کم منطقه و وسعت دلتای این رودها مرز تأثیرگذار پسکرانه در تولید رسوپ، دورتر از خط ساحلی قرار گرفته است (شکل ۷).



شکل ۷: مرز سلول رسوی ۴ در پسکرانه و دریا

در مقابل در بخش‌های غربی استان هرمزگان ویژگی لیتوژئیک و ساختمان زمین‌شناسی ساحل در محدوده سلول‌هایی از این قبیل باعث گردیده عمل تولید رسوی بسیار ضعیف عمل کند (سلول‌های ۱ و ۲). از طرف دیگر به دلیل عمق زیاد فلات قاره در فاصله نزدیک از خط ساحلی، رسویات تولید شده و نیز رسویاتی که از طریق امواج و جریان‌های دریایی به این بخش انتقال پیدا کرده‌اند، در عمق زیاد رسوی می‌کنند. از این رو فاصله عمق فعال رسوی از^۱ CD، بسیار کم بوده و براساس ویژگی‌های ساحل فاصله آن در قسمت‌های مختلف سلول دارای نوسان است. تنها در دهانه رودخانه مقام که سالانه مقداری رسوی وارد دریا می‌کند، عمق فلات قاره کم شده و به تبع آن مرز عمق فعال رسوی 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 رسوی، به خط ساحلی بسیار نزدیک است و در اکثر طول آن تقریباً 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 رسوی ۱ در پسکرانه و دریا

دانشمندان بسیاری سواحل را به روش‌های مختلف طبقه‌بندی کرده‌اند و تاکنون طبقه‌بندی‌های ساحلی متعددی ارائه شده است که هر کدام از درجه اهمیت و اعتبار خاصی برخوردارند. این طبقه‌بندی‌ها بر حسب به کارگیری فاکتورها و عوامل مختلفی مانند ماهیت ساحل (تصویفی)، مصرف انرژی، شمارش تعداد تضاریس خط کرانه، تکتونیک و چگونگی شکل‌گیری ساحلی (زنگیکی)، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و یا ویژگی‌های دیگری را دارا هستند (علایی طالقانی، ۱۳۷۲). جهت طبقه‌بندی سواحل استان هرمزگان به لحاظ ماهیت کار (تبیین ژئومورفولوژیک) از طبقه‌بندی‌های ژئومورفولوژیک استفاده شده و همچنین این در تحقیق از ترکیب دو مدل طبقه‌بندی والتين (۱۹۵۲) و طبقه‌بندی 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 طبقه‌بندی 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 طبقه‌بندی سواحل استفاده شود. از این رو در یک طبقه‌بندی کلی سلوول‌های رسوی استان هرمزگان بر اساس ویژگی فراسایشی و رسویگذاری و لندفرمی به سه دسته تقسیم شده‌اند. این سواحل شامل سواحل کوهستانی، سواحل دلتایی (ایمن و نوردستروم) و سواحل غوطه‌ور و هموار (والتين) هستند. سواحل دلتایی به سواحلی گفته می‌شود که در نتیجه بر جای گذاشته شدن رسوبات رودخانه‌ای در جایی که رودخانه‌ای وارد دریا می‌شود بوجود آمداند. سطح این نوع سواحل معمولاً 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 معمولاً سنگی و صخره‌ای هستند. سواحل غوطه‌ور 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 طبقه‌بندی‌ای که برای سواحل استان هرمزگان صورت گرفته، به صورت مطلق نیست. به این معنی که در منطقه‌ای که تحت عنوان سواحل دلتایی دسته‌بندی شده است، ممکن است سواحل کوهستانی و یا سواحل غوطه‌ور نیز وجود داشته باشد. از این رو این سواحل

صرف از نظر تیپ غالب ساحل و وسعت بیشتر آن تیپ طبقه بندی شده‌اند. بنا بر این سلول‌های رسوی ۱ و ۲ در طبقه سواحل کوهستانی، سلول‌های رسوی ۳ و ۴ در طبقه سواحل غوطه ور و هموار و سلول‌های رسوی ۵ و ۶ در طبقه سواحل دلتایی قرار دارند. شرایط زمین‌شناسی عمومی مناطق ساحلی استان هرمزگان تحت تأثیر عوامل منطقه‌ای زمین ساختی و رسوی 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 رسوی سواحل غربی استان (سلول‌های رسوی ۱ و ۲) فرسایش واحدهای سنگی ساحل است پدیده فرسایش بهویژه در سواحلی که بیشتر تحت تأثیر امواج هستند، مهمترین فرآیند رسوی محسوب می‌شود (غريب رضا و همکاران، ۱۳۷۷). در محدوده سلول‌های رسوی 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 تأثیر جهت امواج غالب منطقه، رسوی‌های تولید شده از فرسایش کرانه‌ای، در راستای غرب به شرق جابجا می‌شوند (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۶). منبع رسوی در سلول‌های ۱ و ۲ شامل فرسایش سواحل صخره‌ای (منبع اصلی)، رسویات تولید شده توسط رودخانه فصلی مقام (در سلول رسوی ۱؛ زیرسلول ۲-۱)، آبراهه‌های فصلی محلی (که فقط در موقع 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 رسوی تولید شده توسط منابع رسوی ذکر شده، در سلول‌های رسوی ۱ و ۲ به ترتیب ۲۶۱ و ۱۷۴ هزار مترمکعب در سال برآورد شده است (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۶). مخزن رسوی 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 رسوی 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 رسوی 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 وارد 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 سور نیز رشته‌ها و موانع ماسه‌ای وجود دارد که باعث تشکیل تالاب‌های منطقه شده‌اند. ترکیب مواد تشکیل دهنده عمده‌تاً از سیلت و ماسه‌های ریز تشکیل شده است و بیشتر مواد ریزدانه‌تر از جمله مواد رسی، تحت تأثیر جریانات جزر و مدی به سمت غرب (بندر خمیر) در امتداد ساحل جابجا می‌شوند. قطر متوسط دانه‌بندی رسوی 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 رسوی ۴ قرار دارد از بالاترین دامنه جزو رود (۵/۴ متر) نسبت به تمام استگاه‌های پیرامون خلیج فارس و دریای عمان برخوردار است. به همین دلیل سطوح جزر و مدی و سبخه‌های ساحلی در این محدوده از گسترده‌گی بسیار بالایی برخوردارند. دامنه جزو رود 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 در قاعده دلتاهای بسیار کم شیب است. به طوری که شیب آن در بعضی از قسمت‌ها بويژه 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 پاره‌های از مناطق و در مجاورت خورها و بسترها میزان پیشروی آب ناشی از مد به بیش از چند کیلومتر می‌رسد.

قدیمی رودخانه‌های اصلی این مقدار حتی به ۱۰ کیلومتر نیز در موارد استثنایی افزایش می‌یابد (نوحه‌گر، حسین‌زاده، ۱۳۹۰). در سلول رسوی ۳ جریاها از یک طرف باعث جابجایی رسوبات رودخانه‌ای وارد به دریا از رودخانه‌های متنه‌ی 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، رسوب خیزی و ایجاد اشکال بستر را باعث می‌گردد (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۰). منبع رسوی در سلول رسوی ۳ شامل رودخانه‌های کل و مهران، با حجم رسوی ۱۰۹۲۰ هزار متر مکعب در سال و در سلول رسوی ۴ رودخانه‌های شور، جلابی، حسن‌لنگی و میناب است. حجم رسوی که توسط این رودها وارد سلول رسوی ۴ می‌شود حدود ۱۸۱۳ هزار متر مکعب در سال است. مخازن رسوی در این سلول‌ها شامل خورها، لاگون‌ها و پشت موج‌شکن‌های بنادر و جتی‌ها است. حجم رسوی که در سلول رسوی ۳ ذخیره می‌شود حدود ۵۷ هزار متر مکعب در سال برآورد شده است. در سلول رسوی ۴ که از ابتدا تا انتهای دارای خورهای متعددی است، به دلیل پیچیدگی و ناپایداری رفتار خورها حجم رسوب ذخیره شده در این سلول رسوی محاسبه نگردیده است (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۶). مسیر جابجایی رسوب در سلول رسوی ۳ تحت تاثیر جریان جزر و مد و کانالیزه شدن جریان در شمال جزیره قسم از شرق به غرب است. در سلول رسوی 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 رسوی ۵ و ۶ در جلگه ساحلی شرق تنگه هرمز قرار گرفته‌اند. این بخش از نظر ساختمانی جزء واحد مورفوکتونیکی زاگرس به شمار می‌رود. اما از نظر سایر خصوصیات، بهویژه خصوصیات لیتوولوژیک، 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 دلتاهای نتیجه حجم زیاد بار رسوی ریزدانه‌ای است که به وسیله شبکه زهکشی و رودهای اصلی به محدوده خط ساحلی منتقل می‌شود. بارش رگباری منطقه به گونه‌ای است که این رودخانه‌ها در زمان بارش، اغلب حالت سیلابی دارند. حجم رسوی 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 (محمدی، ۱۳۷۰). در این بخش حجم رسوی فراوانی را که رودخانه‌های موجود در سطح این سلول‌های رسوی به خط ساحلی منتقل می‌کنند، موجب پیشروع تدریجی قاعده این دلتاهای 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 رسوی در سلول رسوی 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 (نتها در موقع سیلابی جریان دارد) و در سلول رسوی ۶ رودخانه‌های سدیج، گابریک و جگین است. حجم رسوی که توسط این رودخانه‌ها وارد سلول‌های رسوی ۵ و ۶ می‌شود به ترتیب حدود ۱۵۵۳ و ۸۸۱۸ هزار متر مکعب در سال برآورد شده است. مخازن رسوی در این سلول‌ها شامل خورها، زبانه‌ها و جزایر ماسه‌ای، تل ماسه‌ها، لاگون‌ها و پشت بازوی بنادر و جتی‌های موجود در منطقه است. حجم رسوی که در این سلول‌ها ذخیره می‌شوند به ترتیب حدود ۳۷۹ و ۷۸۰ هزار متر مکعب در سال برآورد شده است (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۶). مسیر جابجایی رسوب در سلول رسوی ۵ تحت تاثیر جریان‌های موازی ساحل و راستای ساحل از جنوب به شمال و در سلول رسوی 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 رسوی در مطالعات بودجه رسوی استان هرمزگان آورده شده است.

تعیین منابع و مخازن رسوی (Sinks and Sources) در محدوده زیر سلول ۱-۵ : بطور کلی منابع رسوی شامل انتقال رسوی کرانه‌ای به درون سلول، فرسایش پرتگاه‌های ساحلی، انتقال رسوی رودخانه‌ای به سواحل، فرسایش ساحل، بارگذاری مصالح لاپرواژی شده و افت تراز سطح آب است. مخازن رسوی می‌توانند شامل انتقال رسوی کرانه‌ای، افزایش سطح ساحل، لاپرواژی و برداشت مصالح از سواحل، افزایش نسبی تراز سطح آب و چاله‌های رسوی باشد. در اینجا به دلیل اجتناب از اطالله کلام، بودجه رسوی محاسبه شده در زیر سلول ۱-۵ (زیر سلول اول سلول رسوی پنجم) به عنوان مثال بیان شده است. زیر سلول اول سلول رسوی ۵ از منطقه کلاهی واقع در جنوب میتاب 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 رسوی وجود دارد که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

منابع رسوی

از منابع مهم تولید رسوی در نوار ساحلی استان هرمزگان، آورد رسویات از رودخانه‌های مختلفی است که در محدوده مورد مطالعه وجود دارند. داده‌های آورد رسویات 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 رسوی در آنها وجود داشته مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و منحنی سنجه آن‌ها بدست آمده است. براساس این پارامترها، میزان رسویات معلق بصورت تابعی از دبی جریان برآورده شده است. با بهره‌گیری از رابطه بدست آمده میزان رسویات معلق محاسبه شده و با در نظر گرفتن مقدار ۱۰ درصد این رسویات به عنوان بار بستر میزان بار کل رسوی در این رودخانه‌ها برآورده شده است. در رودخانه‌هایی که این اطلاعات موجود نبوده با استفاده از روابط تجربی اقدام به محاسبه میزان رسویات در آن‌ها شده است. در مطالعه حاضر از این اطلاعات به عنوان یکی از منابع مهم تولید رسوی در سواحل استان استفاده می‌شود. قابل ذکر است که مقادیر محاسبه شده در مطالعات فوق الذکر مقدار حمل رسوی و یا تولید شده تا ایستگاه مورد نظر است و این مقادیر رسوی تا ورودی به دریا دستخوش تغییرات زیادی می‌شوند. رسویات 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 رسویات 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 رسوی این رودخانه در حدود ۱۵۵ هزار متر مکعب در سال برآورده شده است. بنابراین بر اساس روش شناسی بیان شده، مقدار رسوی ورودی از این رودخانه به نوار ساحلی در حدود ۸۵ هزار متر مکعب در سال است. از دیگر منابع رسوی این زیر سلول 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 وسعت دارد. این رودخانه فصلی است بگونه‌ای که فقط در زمان‌های سیالابی جریان دارد. آورد رسوی این رودخانه براساس مطالعات، در حدود ۳۶ هزار متر مکعب در سال تخمین زده شده که از این مقدار حدود ۵۵ درصد آن وارد ناحیه ساحلی می‌شود. بنابراین سالیانه در حدود ۱۷۹ هزار متر مکعب رسوی این رودخانه وارد بودجه رسوی 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 رسوی به عنوان یکی از منابع رسوی برای نواحی شمالی این زیر سلول (به دلیل جهت جنوب به شمال انتقال رسوی) عمل می‌کند. علاوه بر منابع رسوی که در بالا به آن‌ها اشاره شد، در شمال و جنوب بندر زیارت سیریک تعدادی مسیل دیده می‌شود که در موقع سیالابی می‌توانند نقش منابع رسوی این ناحیه را ایفا نمایند. میزان تأثیر این رسویات

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

مخازن رسوی

در این زیر سلول مخازن رسوی مختلفی وجود دارد. از مخازن رسوی در این زیر سلول، بنادر و خور-مصب‌هایی هستند که در دهانه رودخانه‌ها و اطراف بازوی بنادر قرار داشته و باعث قطع جریان رسب در طول خط ساحلی شده است. در این زیر سلول، 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 ۶۸، ۶۰، 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 بالا دست بندر کوهستک است به ترتیب در حدود ۱۴۴، ۱۲۸ و ۱۰ هزار متر مکعب در سال برآورد شده که مجموع آن‌ها در حدود ۲۶-۲۷ هزار متر مکعب در سال بدست می‌آید که در سمت معادله بودجه رسوی وارد می‌شود (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۱).

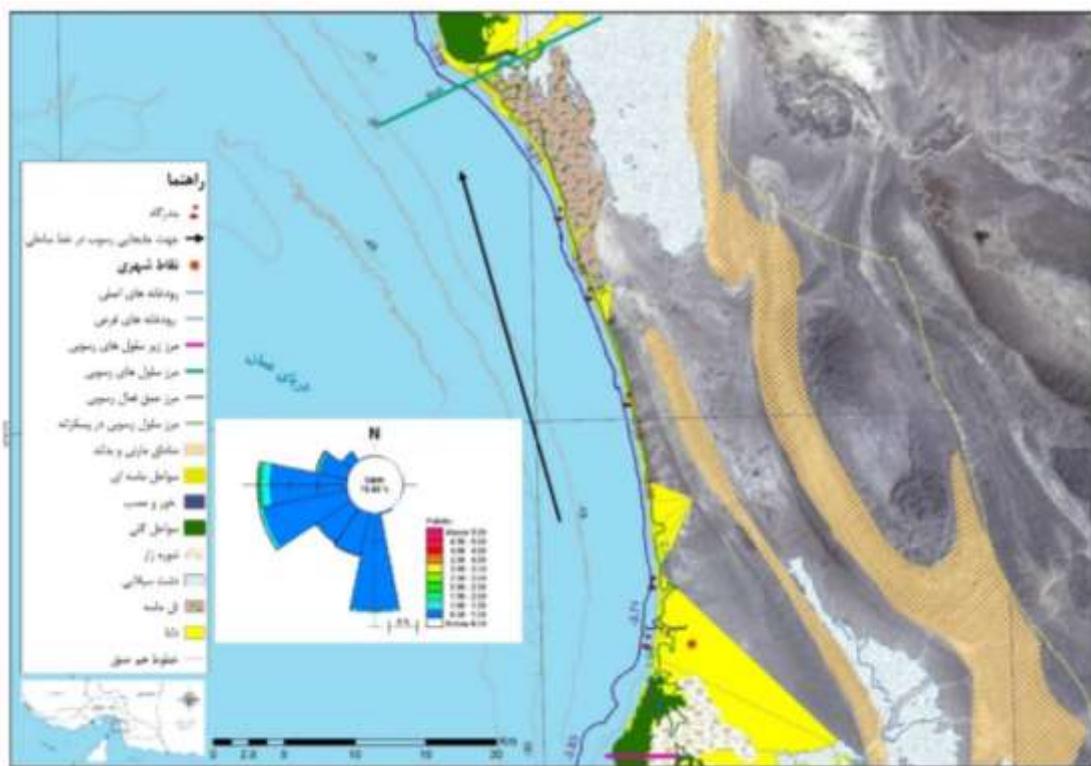
بودجه رسوی

تمامی منابع و مخازن زیر سلول اول در بالا ارائه شدند که مقادیر بدست آمده از روش‌های مختلف در اینجا وارد معادله بودجه رسوی 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 رسوی 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 مقاییر عوامل مختلف در بودجه رسوی مشاهده می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود این زیر سلول در حدود ۴۱ هزار متر مکعب در سال مازاد رسب دارد که احتمالاً در زبانه‌های رسوی و دلتاهای موجود در طول نوار ساحلی رسوب‌گذاری می‌کند.



شکل ۹: زیرسلول رسوی ۱-۵

نتیجه گیری

براساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، معیار تعیین مرز سلول‌های رسوی 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 (Bray et.al, 1995 و Motyka& Brampton, 1993, Inman, 1999) مرز سلول‌های رسوی از دو نوع دماغه و خور تشکیل شده است. معیار دوم، توانایی این مرزها در جلوگیری از جابجایی رسوی و ایجاد یک چرخه رسوی 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 رسوی بین زیرسلول‌های مجاور می‌شوند. به این ترتیب سواحل استان هرمزگان به ۶ سلول و ۱۷ زیرسلول رسوی تقسیم‌بندی شد. منبع اصلی رسوی در همه سلول‌ها رسوی تولید شده توسط رودها است. تنها در سلول رسوی ۱ منبع اصلی رسوی، فرسایش کرانه‌ای است. مخازن رسوی شناسایی شده در سواحل استان هرمزگان نیز شامل خورها، زبانه‌های ماسه‌ای، سد ماسه‌ای، لاغون‌ها و سواحل یک سوی خلیج‌های کوچک است. عمده‌ترین عوامل تاثیرگذار در جهت جابجایی رسوی 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 رسوی بیشتر در امتداد عمود بر ساحل^۱ 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 رسوهایی که وارد دریا می‌شوند شده و حجم نت رسوی در ساحل نیز تغییر خواهد کرد) و به تبع آن مرز سلول‌ها نیز جابجا خواهد شد. این نتایج براساس پژوهش‌هایی مانند

¹. Crossshore

(2018) Thom و Mangoor, (2004) Best & Griggs (1997) Inman & Chamberlain (1960) 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 نوردهی 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

- ببهانی، 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، شماره ۱۳۹۲.
- 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.
- علائی‌طلاقانی، م، ۱۳۷۲. طبقه‌بندی انواع سواحل جغرافیا: رشد آموزش زمین‌شناسی، شماره ۳۲ و ۳۳.
- غریبرضاء، 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 برنامه‌بریزی 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 بعد (ترانسکت)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۲، صص ۱۵۷-۱۷۴.
- Best, T.C., Griggs, G.B., 1997. A sediment budget for the Santa Cruz littoral cell. *Soc 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., Buzzi, Simone., Castelletti, Andrea., Cochrane, T.A., Gibson, Stanfrod., 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.
- Shanehsazzadeh, 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.