

## مدل‌های واکنش مورفودینامیکی جزایر سدی نسبت به تغییرات شرایط محیطی (مطالعه موردی: جزیره سدی میانکاله؛ جنوب‌خاوری دریای کاسپین)

<sup>۱</sup> رضا منصوری (نویسنده مسئول)\*، <sup>۲</sup> زهرا سربازی

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی/ مدیریته محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، Re\_mansouri@sbu.ac.ir

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی از دانشگاه شهید بهشتی، zsarbazi@ymail.com

### ۱- مقدمه

یکی از پدیده‌هایی که به واسطه شکست امواج در بیشتر سواحل دریاها رخ می‌دهد، پدیده انتقال رسوب ساحلی است که در اثر آن مقدار زیادی رسوب در راستای ساحل جابجا می‌شود. پس از انتقال مواد رسوبی، با توجه به مورفولوژی خاص منطقه ساحلی، شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر آنها و نیز در صورت وجود منابع رسوبی مناسب، اشکال خاص ژئومورفولوژیکی از جنس ماسه شکل می‌گیرند که زیانه ماسه‌ای یا جزیره سدی خوانده می‌شوند (هسلت، ۲۰۰۹؛ ۴۴). این اشکال، در جهت امواج غالب و جریان‌های دریایی در راستای ساحل دریا رشد می‌کنند. از انباشته شدن این زیانه‌ها بر روی یکدیگر، جزایر درازی به نام جزایر سدی شکل می‌گیرند که قسمتی از آب دریا را در پشت خود محصور می‌نمایند.

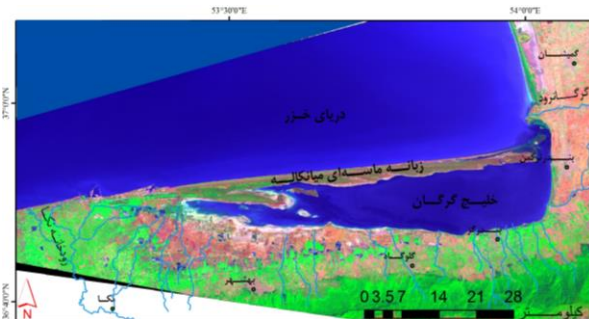
جزایر سدی، لندفرمی خطی ناشی از نهشته‌گذاری مواد رسوبی در منطقه برون کرانه می‌باشند که توسط تالاب یا مردابی از خشکی اصلی جدا شده و جهت‌گیری آنها موازی با خط ساحلی است. این گونه از لندفرم‌های ساحلی معمولاً از ماسه و در بالاتر از تراز فراکشند شکل گرفته و توسط پوشش گیاهی مستحکم می‌گردند. اندازه و ابعاد هندسی جزایر سدی بسته به میزان انباشت رسوبی بسیار متفاوت می‌باشد و ممکن است از ده‌ها تا صدها متر پهنا، صدها تا هزاران متر درازا و تا حدود ۱۰۰ متر فرازای آنها متغیر باشد. جزایر سدی معمولاً بر روی سواحل کم‌شیب و با دامنه کشند پایین شکل می‌گیرند. جزایر سدی مجاور به وسیله ورودی‌های کشندی از یکدیگر جدا می‌گردند. ورودی‌ها امکان مبادله آب بین تالاب و دریا را فراهم نموده و باعث تسهیل فرسایش، حمل و انباشت رسوب در اطراف جزایر سدی می‌شوند. جزایر سدی با جذب انرژی و حفاظت از خط ساحلی در برابر شرایط توفانی شدید نقش مهمی را به عنوان مانع برای سواحل حساس و آسیب‌پذیر ایفا می‌کنند. بنابراین، مطالعه نحوه شکل‌گیری و مورفودینامیک سیستم‌های جزایر سدی بسیار مهم و حائز اهمیت می‌باشد. هدف از این پژوهش مطالعه نظریه‌های مربوط به شکل‌گیری جزایر سدی و بررسی واکنش مورفودینامیکی آنها نسبت به تغییرات محیطی (با ارایه مصادیق موردی از جزیره سدی میانکاله در گوشه جنوب‌خاوری دریای کاسپین) می‌باشد (شکل ۱).

چگونگی تشکیل جزایر سدی بحث برانگیز بوده و بین پژوهشگران گوناگون در این زمینه اتفاق نظری وجود ندارد. اما، در اینجا سه فرضیه اصلی که مستدل‌تر و محکم‌تر می‌باشند را شرح می‌دهیم.

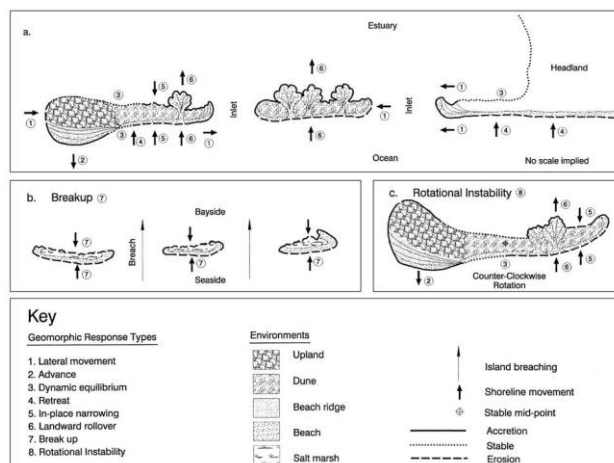
۱. مدل پیش‌رونده-از زیر آب بیرون آمده. در برخی از جزایر سدی پشته‌ها یا سدهای برون کرانه‌ای دیده می‌شوند که ممکن است طی پایین آمدن تراز دریا در دوره‌های یخچالی پیشین به وجود آمده باشند. این سدهای ساحلی طی بالا آمدن تراز دریا در دوره‌های بین‌یخچالی گذشته و بر اثر انباشت رسوب در جهت قائم گسترش یافته و طی پیشروی به سوی ساحل حمل شده‌اند.
۲. مدل پیش‌رونده-زیر آب رفته. جزایر سدی ممکن است طی پایین ترین تراز آب دریا، به صورت تپه‌های ماسه‌ای ساحلی بوده باشند که طی پیش‌روی و بالا آمدن تراز دریا در دوره بین‌یخچالی گذشته بر اثر به زیر آب رفتن زمین‌های پست و هموار از پهنه ساحلی جدا شده باشند.
۳. مدل پایدار-از زیر آب بیرون آمده. در فرضیه‌های پیشین، در مورد چگونگی تشکیل جزایر سدی، بیشتر بر توسعه پیوسته عوارض موروثی همچون سدهای برون کرانه‌ای یا تپه‌های ماسه‌ای ساحلی در دوره‌های اولیه پایین آمدن تراز دریا تاکید شده است. اما، در این نظریه اعتقاد بر این است که گسترش جزایر سدی از زمان تثبیت بالا آمدن تراز دریا در دوره بین‌یخچالی تقریباً از حدود ۴۰۰۰ سال پیش تا پایداری تراز دریا در حال حاضر تشکیل شده‌اند (هسلت، ۲۰۰۹؛ ۴۶).

از سوی دیگر، جزایر سدی محیط‌های مورفودینامیکی بسیار پویایی هستند که مستعد تغییراتی در میزان عرضه و آورد رسوب، تغییر تراز آب دریا، انرژی موج و به‌ویژه در ارتباط با شرایط هاریکن‌ها و توفان‌ها، اثرات و مداخلات ناشی از فعالیت‌های بشر می‌باشند (استون و همکاران، ۲۰۰۴). بر پایه

نقشه‌برداری‌هایی که از جزایر سدی در راستای سواحل خلیج مکزیک (لوزیانا و می‌سی‌سی‌پی) در بیش از یک قرن انجام شده است، انواع تغییرات مورفودینامیک رخ داده برای این دسته از لندفرم‌های ساحلی مشخص گردیده است. مک‌برید و همکاران (۱۹۹۵)، از این اطلاعات برای مدل‌سازی و فهم چگونگی واکنش ژئومورفولوژیکی جزایر سدی نسبت به نوسانات طبیعی و انسانی استفاده کردند (شکل ۲). در این مدل هشت نوع واکنش ژئومورفولوژیکی به شرح زیر تعریف شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی جزیره سدی میانکاله در گوشه جنوب‌خاوری دریای کاسپین.



شکل ۲: نمایش شماتیک واکنش‌های مورفودینامیکی جزایر سدی نسبت به تغییرات رخ داده در شرایط محیطی حاکم. (الف) مدل واکنش ژئومورفیک عمومی. (ب) مولفه‌ای از مدل که نشان‌دهنده تکامل از نوع باریک‌شدن درجا و فروپاشی است. (ج) مولفه‌ای دیگر از مدل که نشان‌دهنده ناپایداری چرخشی است. این‌گونه از واکنش‌ها در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت (همانطور که نشان داده شده) یا در جهت حرکت عقربه‌های ساعت در اطراف یک نقطه پایدار می‌چرخند. (مک‌برید و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۴۸).

۱. حرکت جانبی؛ شامل حرکت رسوب در راستای جبهه روبه‌سوی دریا جزیره سدی است که اغلب با فرسایش در یک طرف و نهشته‌گذاری در طرف دیگر جزیره سدی مشخص می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت که جزیره سدی به‌طور جانبی در راستای ساحل در حال حرکت می‌باشد.
۲. پیشروی؛ به ساحلی اشاره دارد که در واکنش به افزایش عرضه رسوب یا پایین‌رفتن تراز دریا به‌سوی دریا پیشروی می‌کند.
۳. تعادل پویا؛ به خط ساحلی اشاره دارد که طی یک دوره زمانی درازمدت، خواه به‌دلیل فرسایش یا نهشته‌گذاری قابل‌توجه، به‌نظر ثابت باقی‌مانده است.
۴. پسروی؛ برای سواحل مصداق دارد و به‌کار برده می‌شود که رخسار روبه‌سوی دریای آن بر اثر فرسایش و انتقال رسوب یا افزایش تراز دریا به‌سوی خشکی پسروی پیدا می‌کنند.
۵. باریک‌شدن درجا؛ در جایی رخ می‌دهد که کرانه‌های روبه‌سوی دریا و خشکی یک جزیره سدی و خلیج ایجاد شده در پشت آن، مورد فرسایش قرار می‌گیرد و باعث باریک‌شدن جزیره سدی می‌شوند؛ اما، هسته جزیره سدی ثابت باقی می‌ماند.

۶. غلطیدن به سوی خشکی؛ اغلب به دنبال باریک‌شدگی در جا رخ می‌دهد؛ یعنی درجایی که جزیره سدی برای عبور امواج طوفانی از بالای جزیره به اندازه کافی باریک شده باشد. در نتیجه، این امواج طوفانی باعث فرسایش از سمت روبه‌سوی دریا و نهشته‌گذاری در سمت روبه‌سوی خشکی می‌شود. بنابراین، پیامد آن، غلطیدن رسوب‌ها در جزایر سدی به شکل حرکت به سوی خشکی ظاهر خواهد شد.
۷. فروپاشی؛ اغلب به دنبال باریک‌شدگی در جا رخ می‌دهد، یعنی درجایی که باریک‌شدگی باعث می‌شود جزیره سدی در معرض نفوذ امواج قرار گرفته و ورودی‌های جدیدی در آن شکل بگیرد. ممکن است ورودی‌های ایجاد شده در جزایر سدی به سرعت پهن‌تر شده و گسترش یابند.
۸. ناپایداری چرخشی؛ به شرایطی گفته می‌شود که در آن جزیره سدی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت یا در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت و در واکنش به پیشروی در یک طرف و پسروی در طرف دیگر جزیره، دچار چرخش می‌شود.
- واژگان کلیدی:** تغییرات محیطی، واکنش‌های مورفودینامیکی، جزایر سدی، میانکاله، دریای کاسپین.

## ۲- مواد و روش‌های پژوهش

در این پژوهش با بهره‌گیری از رویکردی نظری و مفهومی و نیز با استناد به منابع و ماخذ معتبر و مربوطه، نظریه‌های مربوط به شکل‌گیری جزایر سدی تشریح شده و واکنش مورفودینامیکی آنها نسبت به تغییرات محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، به‌عنوان نمونه مصادیقی از جزیره سدی میانکاله واقع در گوشه جنوب‌خاوری دریای کاسپین و در ارتباط دوره‌های نوسانات تراز آن ارائه شده است.

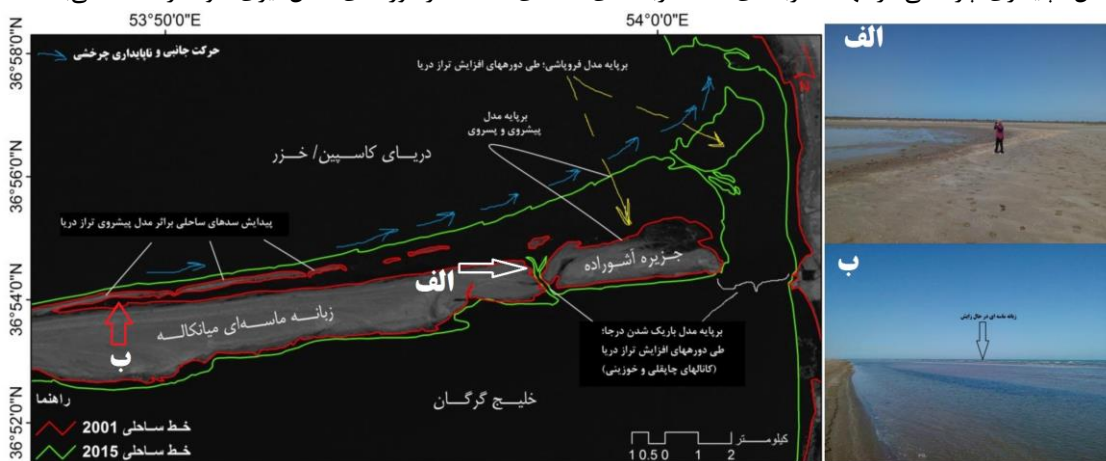
## ۳- بحث و یافته‌های پژوهش

جزیره سدی میانکاله با درازای تقریبی ۶۰ کیلومتر، درازترین و بزرگ‌ترین زبانه ماسه‌ای در کرانه‌های جنوبی دریای کاسپین می‌باشد و پس از خلیج گرگان، مهم‌ترین چشم‌انداز ژئومورفولوژیکی کرانه‌های شمالی کشور محسوب می‌شود. آهنگ نوسانات تراز دریای کاسپین نسبت به اقیانوس‌ها بسیار سریع بوده و در حدود صدبرابر آن می‌باشد. به دلیل شیب ملایم کرانه‌های جزیره سدی میانکاله (شیب متوسط بخش شمالی: ۰/۴٪ و شیب متوسط بخش جنوبی: ۰/۲٪) و دربرگرفته شدن توسط دریا، در مواقع پیشروی آب دریا، آسیب‌پذیرترین بخش کرانه‌ای منطقه می‌باشد. آثار پیشروی دریا به فاصله ۱۰۰ متری ساحل کنونی بر روی این زبانه ماسه‌ای بزرگ قابل ردیابی است. تاثیرپذیری سریع مورفولوژیکی - مورفودینامیکی این منطقه از نوسانات سریع تراز دریا، مجموعه جزیره سدی میانکاله را به یکی از بهترین مناطق برای بررسی و تطبیق مدل‌های مورفودینامیکی مک‌برید و همکاران ۱۹۹۵ تبدیل می‌نماید. زبانه‌های ماسه‌ای این جزیره سدی از دهانه رودخانه‌های کرانه‌های خاوری مازندران و در دهانه خلیج گرگان به موازات کرانه و همسو با رانه ساحلی یا آورد رسوب ساحلی تشکیل شده است. امواج با راستای شمال‌باختری پس از شکست، جریان‌های کرانه‌راستا ایجاد می‌نمایند و بدین ترتیب رسوب‌های ناشی از رودخانه‌های تجن، نکارود و دیگر رودخانه‌های منطقه را به سمت خاور انتقال می‌دهند؛ سرانجام، نهشته‌گذاری این رسوب‌ها باعث تشکیل جزیره سدی میانکاله می‌شوند. به نظر می‌رسد منشأ این رسوبات عمدتاً از محیط خشکی و به‌طور ویژه بیشتر از رسوب‌های رودخانه نکا باشد. با مطالعه و بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی مربوط به شبه‌جزیره میانکاله طی دوره‌های گوناگون، مشخص می‌گردد که این زبانه از شمار فراوانی از زبانه‌های ماسه‌ای که هر یک در دوره‌ای خاص تشکیل شده، شکل گرفته باشد؛ به‌گونه‌ای که زبانه‌های بعدی در راستا و در ادامه آنها رشد کرده‌اند. راس این زبانه‌ها که عموماً تحت تاثیر تفرق امواج، خمیده و به سمت جنوب‌خاوری کج شده، گاهی تا درون خلیج گرگان توسعه یافته، به‌طوری که جزایر بخش باختری این خلیج در واقع بخش پایانی زبانه‌های ماسه‌ای کج شده هستند. از نگاه زمین‌شناختی و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، خلیج گرگان و جزیره سدی میانکاله کاملاً با واحدهای کلاسیک جغرافیای طبیعی مجموعه‌های جزیره سدی توصیف شده توسط زمین‌شناسان بسیاری همچون شوارتز ۱۹۷۱، سیلی ۱۹۸۸، بوید و همکاران ۱۹۹۲ و نیکولز ۱۹۹۹ همخوانی دارد.

با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که از هشت مدل مورفولوژیکی - دینامیکی مک‌برید و همکاران ۱۹۹۵ برای جزایر سدی، شش مورد آن به‌طور حتماً در جزیره سدی میانکاله قابل بازشناسی است. به‌طور کلی، در منطقه مورد مطالعه مدل‌های: حرکت جانبی، پیشروی، پسروی، باریک‌شدن در جا، فروپاشی و ناپایداری چرخشی شناسایی گردید.

همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد، در جزیره سدی میانکاله مدل حرکت جانبی همسو با جریان‌های کرانه‌راستا از باختر به سوی خاور منطقه در جریان است. در حال حاضر بخش باختری منطقه در سمت خاوری بندر امیرآباد با فرسایش روبرو است. اما، بخش خاوری منطقه در حال رسوب‌گذاری بوده و بر اثر رسوب‌گذاری در این بخش سدهای ساحلی متعددی در حال زایش می‌باشند (شکل ۳ ب). مدل پیشروی و پسروی نیز طی دوره‌های نوسان تراز دریا در منطقه وجود داشته و آثار آن نیز در منطقه کاملاً مشهود می‌باشد. در واقع، مدل پیشروی و پسروی به ترتیب بر اثر کاهش و افزایش تراز دریا و نیز میزان آورد رسوب در منطقه رخ می‌دهد. برای مثال در سال ۲۰۱۵ خط ساحلی بدلیل کاهش تراز دریا دچار پیشروی و در سال

۲۰۰۱ بدلیل افزایش آن با پسروری خط ساحلی روبرو بوده است (شکل ۳). مدل‌های باریک‌شدن درجا و فروپاشی به‌طور ویژه در بخش خاوری مجموعه جزیره سدی میانکاله و جزیره آشوراده قابل پیگیری است. باتوجه به کاهش شیب توپوگرافی و اندازه رسوبات در این بخش از میانکاله نسبت به سایر نواحی، طی دوره‌های افزایش تراز دریا (برای مثال خط ساحلی ۲۰۰۱) بر اثر هجوم آب‌های ساحلی به‌سوی خشکی، کانال‌های ارتباطی بین خلیج و دریا (خوزینی، آشوراده و چاپقلی) گسترش یافته و تعریض می‌گردند (مدل باریک‌شدن درجا (شکل ۳ الف)). علاوه بر آن، طی این دوره گستره قابل توجهی از بخش شمالی جزیره آشوراده به زیر آب رفته و خط ساحلی آن دچار فرسایش و پسروری می‌شود (مدل فروپاشی). افزون بر موارد بالا، طی دوره‌های کاهش تراز دریا و بر اثر افزایش میزان آورد رسوب در منطقه که مواد لازم را برای جریان‌های کرانه‌راستا فراهم می‌نماید، مدل ناپایداری چرخشی (در خلاف حرکت عقربه‌های ساعت) در گوشه خاوری زبانه‌ماسه‌ای میانکاله و منطقه آشوراده، کاملاً مشهود است. این مدل به‌طور خاص در خط ساحلی منطقه در سال ۱۹۷۷ که تراز دریا به پایین‌ترین حد خود (۲۹- متر) در یک‌سده اخیر رسید به‌خوبی دیده می‌شود. همچنین، همانطور که در شکل ۳ نیز مشخص است در خط ساحلی ۲۰۱۵ نیز این وضعیت در حال تکرار و وقوع است. البته شایان گفتن است که جزایر بخش باختری خلیج گرگان (از جمله جزیره اسماعیل‌سای و غیره) طی دوره‌های افزایش تراز دریا و نیز بخش‌هایی از خشکی که با زوایه اریب به‌درون خلیج کشیده شده‌اند نیز حاصل ناپایداری چرخشی در جهت عقربه‌های ساعت زبانه‌های ماسه‌ای منطقه در دوره‌های شکل‌گیری خود در گذشته می‌باشند.



شکل ۳: مصادیقی از مدل‌های واکنشی مورفولوژیکی - مورفودینامیکی مک‌برید و همکاران ۱۹۹۵ در جزیره سدی میانکاله.

برپایه شواهد موجود مشخص می‌گردد گسترش مجموعه زبانه‌های ماسه‌ای که جزیره سدی میانکاله را در گوشه جنوب‌خاوری دریای کاسپین ایجاد نموده در ارتباط با رودخانه‌های اصلی (هراز، نکا، تجن و غیره) بوده و به نظر می‌رسد که رشد زبانه‌های ماسه‌ای آن از دهانه رودخانه نکارود شروع شده باشد. با بررسی‌های صورت گرفته دست‌کم می‌توان چهار مرحله در رشد زبانه ماسه‌ای میانکاله را بازشناخت. در واقع، فراوانی شار و آورد رسوب‌های ماسه توسط رودخانه‌های اصلی منطقه همچون رودخانه‌های تجن، نکا، هراز، سیاه‌رود، و احتمالاً رودخانه‌های بدون نامی که از جنوب خلیج گرگان به دریا منتهی می‌شوند و وجود احتمالی سدهای ماسه‌ای موازی دهانه دلتای منسوخ‌شده رودخانه نکا در محیط ریزکشدنی، با سلطه امواج و شیب ملایم کرانه منطقه در تلفیق با طوفان‌های شدید و جریان‌های کرانه راستا، عوامل نقش‌آفرین در ایجاد آن بوده‌اند.

#### ۴- مراجع

ثروتی، م. ر.، قهرودی‌تالی، م.، نعیمی، ع.، منصور، ر. (۱۳۹۵)؛ **پایش تاثیر نوسانات یک دهه اخیر تراز دریای کاسپین بر مورفولوژی زبانه ماسه‌ای و تالاب میانکاله**، تهران، همایش ملی ژئومورفولوژی و آمایش سرزمین، چهارمین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.  
 عرفان، شهره، حامدی، میر علیرضا (۱۳۹۴)؛ **مجموعه جزیره سدی در جنوب‌خاوری دریای خزر (شمال بهشهر)**، فصلنامه علوم‌زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، صص: ۲۳۰-۲۱۷.

Haslett, S., K., 2009: **Coastal Systems**, Routledge (Routledge Introductions to Environment Series), Second Edition.  
 Khoshnavan, H., 2007: **Beach sediments, morphodynamics, and risk assessment, Caspian Sea coast, Iran**, Quaternary International, Vol. 167-168, 35-39.  
 McBride, R. A., Byrnes, M. R., and Hiland, M. W., 1995: **Geomorphologic response-type model for barrier coastlines: a regional perspective**, Marine Geology, 126, 143-159.  
 Stone, G. W., Liu, B., Pepper, D. A. and Wang, P., 2004: **The importance of extratropical and tropical cyclones on the short-term evolution of barrier islands along the northern Gulf of Mexico, USA**, Marine Geology, 210, 63-78.