مقایسه روش‌های نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد و پلیگون تغییرات در بررسی تغییرات خطوط ساحلی (مطالعه موردی: قاعده دلتای چالوس)

قاسم لرستانی *

استادیار دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۸
تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۶/۱۶

چکیده

اثرات مستقیم و غیرمستقیم فرایندهای ناشی از هیدرودینامیک دریا و خشکی، سبب تغییرات زیادی در هندسه خط ساحلی می‌شود. بررسی میزان این تغییرات می‌تواند برای برنامه‌ریزی پایدار در محیط‌های ساحلی بسیار سودمند باشد. هدف از این تحقیق محاسبه میزان تغییرات خط ساحلی به همراه مقایسه دو روش نیمرخ‌های عرضی متساوی البعد و پلیگون تغییرات در بررسی میزان جابجایی خطوط ساحلی گذشته در قاعده دلتای رودخانه‌ای چالوس می‌باشد. مواد مورد نیاز برای دستیابی به اهداف این پژوهش، تصاویر TM و ETM سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ ماهواره لندست و تصویر ۲۰۱۵ ماهواره اسپات مستخرج از نرم‌افزار گوگل‌ارث می‌باشد. مبنای کار بر سنجش میزان تغییرات خطوط ساحلی بین مقاطع زمانی با استفاده از دو روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد و تغییرات پلیگونی می‌باشد. این مطالعه تغییرات زیادی را در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۸ در محدوده قاعده دلتای چالوس با کاهش ۵۰ ٪ بین سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۸ و افزایش ۱۷ ٪ بین سال های ۲۰۰۰-۲۰۱۵ نشان می‌دهد. میزان درصد تغییرات محاسبه شده مقاطع زمانی مختلف به روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد ۰/۵ درصد تفاوت را نسبت به روش پلیگون تغییرات نشان می‌دهد که در مقیاس کلان رقم قابل توجهی نمی‌باشد اما ارزیابی میزان دقت روش‌های مورد استفاده با میانگین مربع خطاها از انطباق بهتر روش پلیگون تغییرات با واقعیت زمینی حکایت دارد. شایان ذکر است که در روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد، نحوه انتخاب خط مبنا، چرخش خط ساحلی در پاره‌ای از مناطق ساحلی و تورفتگی یا بیرون‌زدگی زیاد قسمت‌هایی از خطوط ساحلی تاثیر زیادی در نتایج حاصله خواهد داشت. اما در روش تغییرات پلیگونی به دلیل اندازه‌گیری تغییرات حادث شده بین دو خط ساحلی، نتایج بدست آمده صرفا متکی به پارامترهای اندازه‌گیری در موقعیت خط ساحلی بوده و اعتبار علمی بالاتری را نسبت به روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: دریای خزر، خط ساحلی، دلتای چالوس، نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد، پلیگون تغییرات.

*- نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۲۵۸۶۵۱ Email: gh.lorestani@umz.ac.ir

مقدمه

منطقه ساحلی، از بزرگ‌ترین دارایی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی هر کشوری است (بخش مطالعات اقیانوس شناسی ایالات متحده، ۱۹۹۹) و به دلیل پیچیدگی فرایندهای ساحلی، شکنندگی اکوسیستم ها، تراکم بالای جمعیتی و اهمیت صنعت توریسم از محیط‌های بسیار آسیب‌پذیر محسوب می-شود (آلبوکوئرکیو و همکاران، ۲۰۱۳). در این منطقه، خط ساحلی عنصری ژئومورفولوژیکی است که به واسطه تداوم فرایندهای ساحلی با فراوانی و شدت متفاوت از تحرک فضایی بالایی برخوردار می‌باشد (مازر و دیلنبورگ، ۲۰۰۹). همین فرایندهای ساحلی در درازمدت می‌توانند هندسه خط ساحلی را تغییر داده و موجب افزایش یا کاهش دربرداشت سطح و خط ساحلی شده و تبعات متفاوتی را بر مناطق ساحلی تحمیل نمایند. فرسایش پدیده‌ای دائمی در مناطق ساحلی به صورت حذف یا تراکم ماسه در خطوط ساحلی می‌باشد که از تغییر در رژیم امواج، نوسان سطح آب دریا، مورفودینامیک رودخانه با تدارک رسوب و فعالیت انسانی ناشی می‌شود (وان ریجن، ۲۰۱۱). سواحل دریای‌خزر با مورفولوژی ویژه و منحصر به فرد، تغییرات زیادی را در بستر زمان متحمل می‌گردد. نوسانات سطح آب، رسوب‌گذاری، دینامیک دریا و فعالیت‌های انسانی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر تغییرات خط ساحلی دریای‌خزر می‌باشد و به واسطه همین عوامل، شاهد کاهش یا افزایش سطح سواحل و به تبع آن تغییرات زیادی در هندسه خطوط ساحلی می‌باشیم. قاعده دلتای چالوس نیز از این امر مستثنی نبوده و به واسطه قرارگیری در مناطق مرکزی سواحل خزر جنوبی، تحت سیطره امواج برآمده از باد قرار گرفته و طی دهه‌های اخیر همراه با تحولات جمعیتی و فعالیت‌های انسانی، افزایش رسوب وارده به دریا و نوسان زیاد سطح آب دریا، جابجایی زیادی را در محدوده مصب رودخانه چالوس شاهد بوده است. پویایی زیاد خطوط ساحلی، شناسایی و تجزیه و تحلیل موقعیت خطوط ساحلی را در طول زمان با مشکل مواجه می‌سازد (فنستر و همکاران، ۲۰۰۱). در طول خط ساحلی، محاسبه میزان تغییرات از اندازه‌گیری مقدار متوسط پیشروی و پسروی خطوط ساحلی صورت می‌پذیرد (کروول و همکاران، ۱۹۹۳؛ دولان و همکاران، ۱۹۹۱؛ دانووان و همکاران، ۲۰۰۲). عوامل متعددی بر دقت و صحت ارزیابی میزان تغییرات تاثیر دارند. مهمترین عامل در بررسی دقت تغییرات به کیفیت نقشه‌های پایه و تصاویر با قدرت تفکیک بالا بر می‌گردد. هر چه دقت داده‌های مذکور بیشتر باشد زمینه برای استخراج داده با خطای کمتری فراهم می‌شود. نقشه‌های تهیه شده از عکس هوایی به عنوان منبع مهمی برای استخراج خطوط ساحلی در تمام دنیا استفاده می‌شوند. همچنین استخراج خطوط ساحلی به طور مستقیم از روی تصاویر ماهواره‌ای صورت می‌پذیرد (دی و همکاران، ۲۰۰۳). عامل دیگر تاثیرگذار بر کمیت و کیفیت داده‌های بدست آمده به روش بررسی تغییرات و نحوه استفاده از آن در اندازه گیری تغییرات خط ساحلی مرتبط می‌باشد. قدیمی‌ترین روش مورد استفاده به منظور تعیین میزان تغییرات خط ساحلی توسط برد و همکاران (۱۹۸۹) با اندازه‌گیری فاصله نقاط ساحلی نسبت به نقاط کنترلی ثابت مورد بررسی قرار گرفته است. آژانس مدیریت اضطراری فدرال آمریکا از روش نیمرخ های عرضی متساوی‌البعد برای تعیین مقدار تغییرات درازمدت مناطق در معرض خطر و خطوط ساحلی استفاده نمود (کراول و همکاران، ۱۹۹۱). این روش مانند روش نرخ نقطه

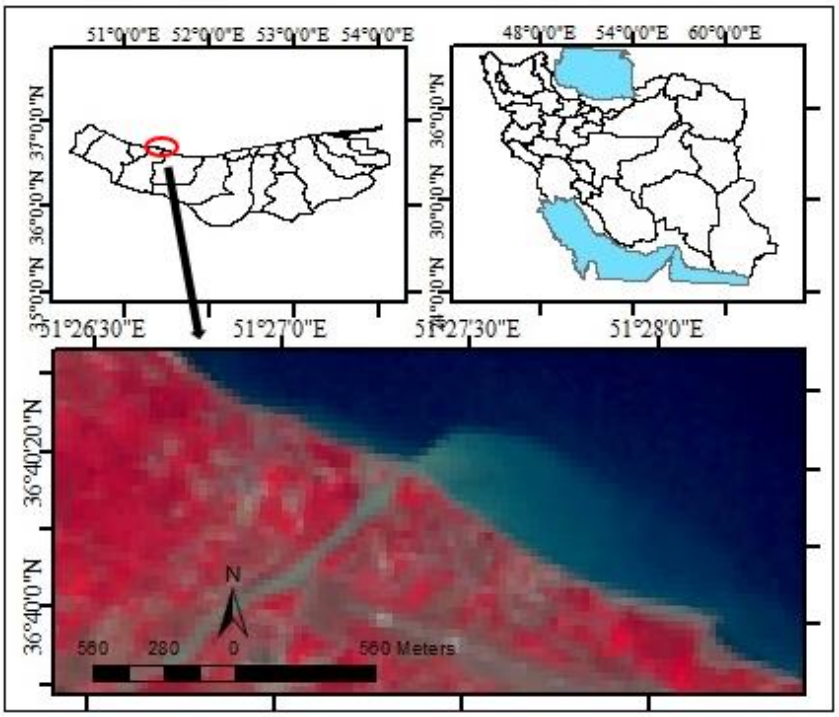
پایانی به اندازه‌گیری خطوط ساحلی بین دو سال مختلف می‌پردازد (کراول و همکاران، ۱۹۹۷). از روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد در مطالعه تغییرات ساحلی مناطق مختلف جهان استفاده شده است (داگلاس و همکاران، ۱۹۹۸؛ فنستر و همکاران، ۲۰۰۱) و کاربرد آن در اندازه‌گیری میزان رسوب-گذاری و فرسایش خطوط ساحلی برای سال‌های متمادی ادامه یافت (رایت و همکاران، ۲۰۰۷). در کنار استفاده از این روش، دولان و همکاران (۱۹۹۱) نرخ فرسایش بلندمدت و کوتاه مدت در تغییرات خط ساحلی را با استفاده از مدل های EPR و رگرسیون خطی و چند مدل آماری دیگر مورد بررسی قرار دادند. تایلر و همکاران (۱۹۹۵) تغییرات خط ساحلی با سیستم آنالیز رقومی در پورتوریکو را مطالعه نمودند. این محققین با تقسیم نمودن خط ساحلی به چهار بخش مجزا، مقدار تغییر متوسط هر بخش را مورد ارزیابی قرار دادند. ماکوتا و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۲ و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه کونداچی تانزانیا به بررسی تغییرات خط ساحلی پرداخته و معتقدند که خط ساحلی مورد مطالعه تغییرات قابل توجهی داشته که با استفاده از RS و GIS نظارت بر تغییرات خطوط ساحلی می‌تواند نتایج خوبی به همراه داشته باشد. ون و بینه (۲۰۰۸) در پژوهشی به شناسایی تغییرات خط ساحلی و مدیریت کارامد منطقه ساحلی در خور زونین ویتنام با استفاده از RS و GIS پرداختند و با استفاده از روش نسبت باندی که بر روی تصاویر استر و لندست اعمال شد، تغییرات خطوط ساحلی بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۴ را به صورت نقشه‌های رقومی تهیه نمودند. اسمیت و کروملی (۲۰۱۲) و آلبوکوئرکیو و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقاتی به ارزیابی دو روش سیستم آنالیز رقومی خط ساحلی و پلیگون تغییرات پرداختند. نتایج این دو پژوهش از مزایای روش پلیگون تغییرات نسبت به سیستم آنالیز رقومی خط ساحلی در برآورد میزان تغییرات خط ساحلی حکایت دارد. در داخل کشور، استفاده از روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد توسط یمانی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی تغییرات خط ساحلی قاعده دلتای سفیدرود در ۶۰ سال اخیر بر اهمیت بالای میزان رسوب از رودخانه، عملیات رسوب‌زدایی از سد سفیدرود و دینامیک دریا، در تغییر سریع خط ساحلی طی دوره‌های زمانی مختلف حکایت دارد. استفاده از روش مذکور با اضافه نمودن برش‌های طولی در کنار برش‌های عرضی توسط لرستانی (۱۳۹۲) جهت بررسی تغییرات خط ساحلی قاعده دلتای گرگانرود بکار گرفته شده است. نتایج این پژوهش نیز بر نقش نوسان آب دریا به عنوان عامل اصلی ایجاد تغییرات تاکید دارد. همچنین یمانی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی تغییرات زمانی خط ساحلی شرق تنگه هرمز با محاسبه ریشه میانگین مربع خطا، دقت روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد را مورد ارزیابی و آزمون قرار دادند.

از سال ۱۳۹۲ تاکنون در داخل کشور عمده‌ترین روش بررسی تغییرات خطوط ساحلی، استفاده از روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد بوده است و استفاده از روش پلیگون تغییرات در خطوط ساحلی ایران کمتر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است (لرستانی، ۱۳۹۴). هدف اصلی این پژوهش، بررسی زمانی خطوط ساحلی گذشته محدوده قاعده دلتای چالوس و مشخص نمودن میزان تغییرات با استفاده از دو روش نیمرخ عرضی متساوی‌البعد و پلیگون تغییرات می‌باشد تا ضمن بررسی میزان تغییرات، مقایسه‌ای بین دو روش مذکور و انتخاب روش برتر برای ارزیابی خطوط ساحلی به عمل آید. همچنین

برای ارزیابی میزان دقت روش‌های مذکور از میانگین مربع خطاها بهره گرفته شده است تا در نهایت با بررسی میزان تغییرات و دقت سنجی دو روش، معایب و مزایای روش‌های مورد استفاده تحلیل گردد.

محدوده مورد مطالعه

عمدتا تغییرات خط ساحلی در محل مصب رودخانه نسبت به مناطق مجاور ساحلی از نرخ بالاتری برخوردار بوده و آشکارسازی تغییرات خطوط ساحلی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نیز موید این مطلب می‌باشد. محل انجام این تحقیق قاعده دلتای چالوس در شمال رشته کوه‌های البرز، غرب شهرستان نوشهر و شمال شرق شهر چالوس با مختصات جغرافیایی ″۵۱°۲۷′۱۸ تا ″۵۱°۲۷′۲۳ طول شرقی و ″۳۶°۴۰′۱۱ تا ″۳۶°۴۰′۲۴ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). در جلگه‌های غربی استان مازندران، به علت نزدیکی به دریای خزر، دیوار کوهستانی البرز و کم بودن فاصله بین کوه و دریا، دمای معتدل و رطوبتی زیاد بر منطقه حاکم می‌باشد. منطقه مورد مطالعه به دلیل موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و جنس خاک از پوشش گیاهی متنوعی از قبیل جنگل انبوه، چمنزار و استپ برخوردار است که در دهه‌های اخیر به دلیل تغییرات زیاد کاربری، نسبت به گذشته از حجم پوشش گیاهی، کاسته شده است.

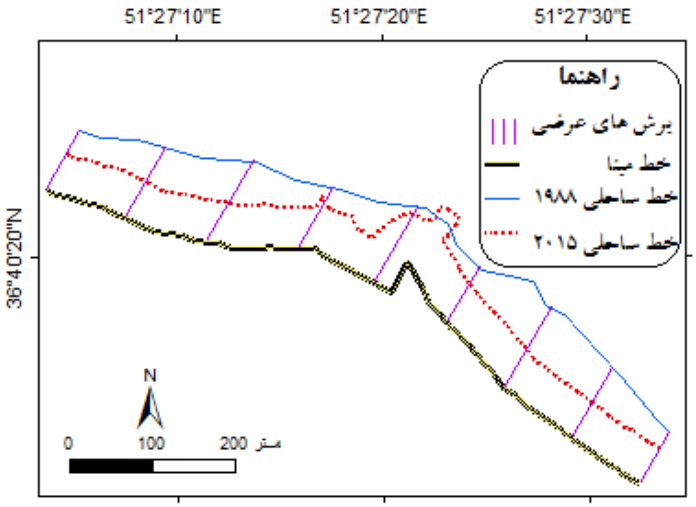


شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه (منبع : تصویر +ETM سال ۲۰۱۰)

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده برای این تحقیق، تصاویر TM و ETM سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ ماهواره لندست و تصویر ۲۰۱۵ ماهواره اسپات در نرم‌افزار گوگل ارث می‌باشد. پس از استخراج خطوط ساحلی، تصاویر به صورت زوجی با استفاده از دو روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد و پلیگون تغییرات ارزیابی شدند. اندازه‌گیری مقدار تغییرات خطوط ساحلی در هر یک از روش‌های مذکور مزایا و معایبی دارد که عمدتا به نوع روش انتخابی و هندسه خطوط ساحلی بستگی دارد.

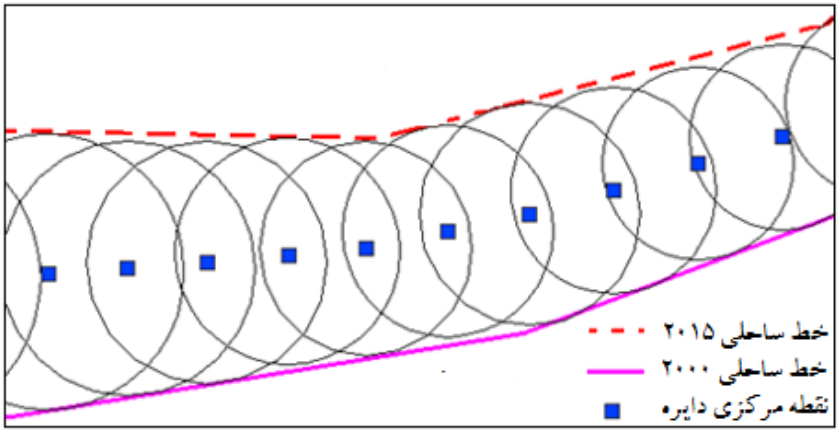
روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد: برای تعیین تغییرات خط ساحلی و مشخص نمودن ماهیت، مکان و زمان وقوع تغییرات در خط ساحلی با روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد ابتدا تصاویر سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ لندست و تصویر ۲۰۱۵ اسپات در نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS رقومی شدند. سپس خطی ثابت به عنوان خط مبنا در قسمت پسکرانه ساحلی ترسیم شد تا تغییرات زمانی و مکانی خط ساحلی نسبت به این خط ثابت سنجیده شود. سپس در تمام طول خط ساحلی برش‌های عرضی متعددی به فواصل ثابت ۱۰۰ متری تعیین شده است. در ادامه با رویهم اندازی خطوط ساحلی سال‌های مختلف و بررسی کمی مابین دو برش عرضی، میزان تغییرات مثبت و منفی خط ساحلی سنجیده شده است و بر مبنای آن کل ساحل مورد مطالعه در قاعده دلتای چالوس از لحاظ تراکمی و یا کاوشی بودن مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد (شکل ۲).



شکل ۲: نحوه انجام برش عرضی در بررسی تغییرات خطوط ساحلی

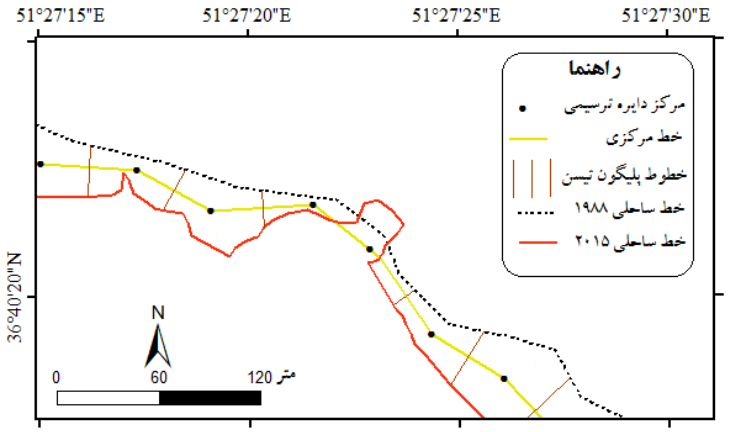
روش پلیگون تغییرات: از تصاویر رقومی شده در روش قبلی به عنوان مواد مورد نیاز برای انجام این تحقیق استفاده شده است. خطوط ساحلی مذکور با انجام تصحیحات هندسی و بارزسازی در نرم افزار ENVI، جهت برپایی مدل در محیط نرم‌افزاری ArcMap وارد شد. سپس تصاویر رقومی شده به صورت دو به دو با هم مقایسه شده‌اند. این روش متکی بر تعداد پلیگون‌هایی است که به دلیل پیشروی و پسروی

دریا و خشکی می‌تواند در هندسه خط ساحلی ایجاد شـود. لذا در محدوده مورد مطالعه به دلیل تغییر در موقعیـت خطوط سـاحلی، چنـد سـطح پلیگونی اسـتخراج گردید. در ادامه در فواصـل مسـاوی ۵۰ متری، بزرگترین دایره قابل رسم داخل پلیگون‌ها در محیط نرم‌افزاری AutoCAD ترسـیم و نقاط مرکزی دوایر به دسـت آمدند (شـکل۳) و از به هم پیوسـتن نقاط مرکزی دوایر، خطی ترسـیم شـد و طول خط مرکزی در هر پلیگون محاسبه شده است.



شکل ۳: ترسیم دوایر و نقاط مرکزی بین خطوط ساحلی در محیط نرم‌افزاری اتوکد

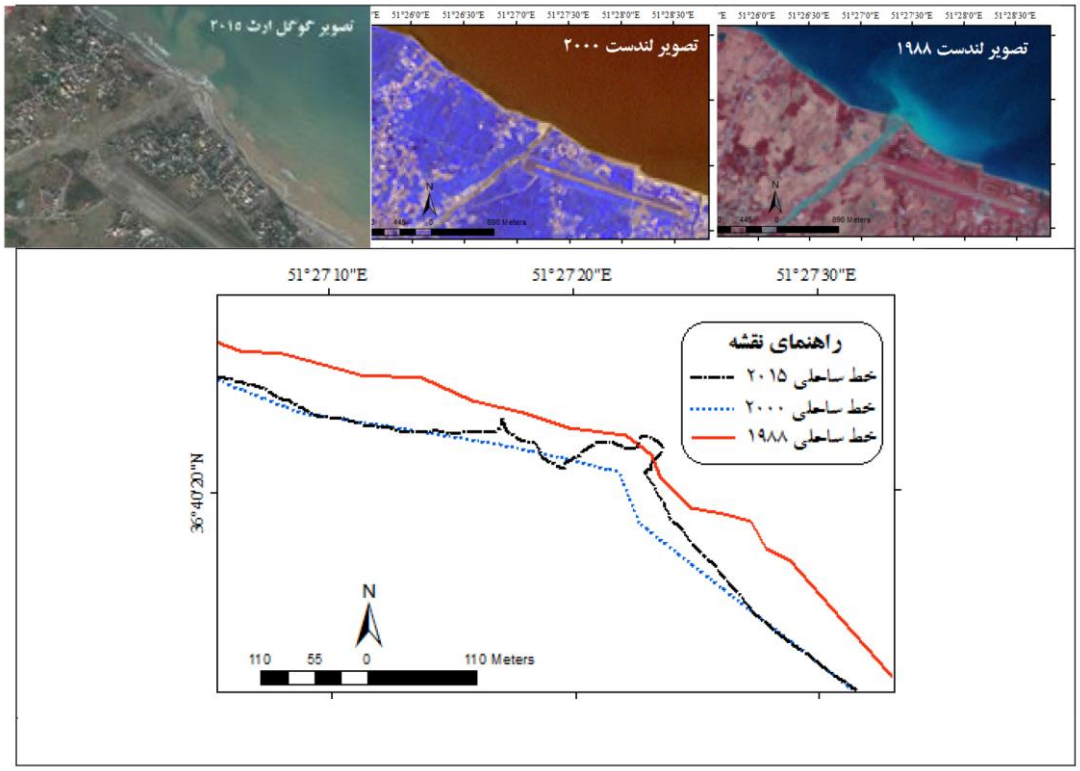
سـپس بـا ذخیره نمودن نقـاط مرکزی هر دایره به عنوان یک عارضـه در لایه نقطه‌ای محیط نرم‌افزاری ArcMap، زمینه برای استفاده از روش تیسن جهت محـاسـبـه طول خطوط فرعی در هر پلیگون فراهم شـد. در نهایت با در نظر گرفتن نرخ مثبت و منفی مسـاحت قاعده دلتا و طول خطوط ساحلی در روش پلیگون تغییرات بـه تجزیه و تحلیل داده‌های مذکور پرداخته شده است (شکل۴).



شکل ۴: نحوه ایجاد پلیگون‌های تیسن و بررسی تغییرات بین دو خط ساحلی ۲۰۱۵-۱۹۸۸

نتایج

محاسبه تغییرات خطوط ساحلی با روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد بر روی تصاویر سال‌های مختلف به صورت تک سالی و زوجی قابل بررسی می‌باشد. نتایج پژوهش مستخرج از تصاویر تک سالی در خط ساحلی قاعده دلتای چالوس، دال بر بروز تغییرات زیاد طول خط ساحلی بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ می‌باشد (شکل۵). در این روش می‌توان پارامترهای متعددی همچون مساحت قاعده دلتا و مقدار پیشروی و پسروی مابین خطوط ساحلی و خط مبنا را به همراه حداکثر پیشروی و پسروی خط ساحلی به صورت تک سالی محاسبه نمود (جدول ۱). بر اساس داده‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات زیادی در خطوط ساحلی قاعده دلتای چالوس به چشم می‌خورد. از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ با افزایش ۱ متری سطح آب ناظر بر کاهش سطح قاعده دلتا به میزان ۵۰ درصد بوده‌ایم. در ادامه با کاهش سطح آب به میزان حدود ۶۰ سانتیمتر در سال ۲۰۱۵ شاهد افزایش سطح دلتا به میزان ۱۷ درصد نسبت به دوره قبلی بوده است.



شکل ۵: تصاویر ماهواره‌ای و خطوط ساحلی مستخرج از آن طی سال‌های ۱۹۸۸، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵

جدول ۱: برآورد تغییرات سالانه با استفاده از روش نیمرخ های عرضی متساوی البعد (متر)

سال	طول خط ساحلی (متر)	حداکثر پیشروی خط ساحلی (متر)	حداکثر پسروی خط ساحلی (متر)	مساحت پیشروی نسبت به دوره قبل (متر)	مساحت پسروی نسبت به دوره قبل (متر)	مساحت قاعده دلتا (متر)	درصد تغییرات (درصد)
۱۹۸۸	۸۴۷	–	–	–	–	۷۶۱۲۱	–
۲۰۰۰	۸۳۵	–	۶۹	–	۳۷۸۲۱	۳۸۳۰۰	۵۰
۲۰۱۵	۹۴۸	۵۳	۱۱	۷۰۱۰	۳۷۸	۴۴۹۲۶	۱۷

در روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد علاوه بر استخراج اطلاعات از تصاویر سال‌های مختلف به صورت جداگانه، می‌توان بر روی تصاویر زوجی همه سال‌های در دسترس فاکتورهایی نظیر میزان تغییرات مثبت، منفی، خالص و کل به همراه متوسط طول خط ساحلی را نیز برآورد نمود (جدول ۲).

جدول ۲: برآورد میزان تغییرات تصاویر زوجی با استفاده از روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد (متر)

بازه زمانی	مثبت	منفی	خالص (مثبت یا منفی)	کل	متوسط طول خط ساحلی
۱۹۸۸-۲۰۰۰	۰	۱۲۵۲۵	-۱۲۵۲۵	۱۲۵۲۵	۸۴۱
۲۰۰۰-۲۰۱۵	۷۰۰۷	۳۸۱	۶۶۲۶	۷۳۸۸	۸۹۱
۱۹۸۸-۲۰۱۵	۳۴۱	۳۵۶۵	-۳۲۲۴	۳۹۰۶	۸۹۷

اما روش پلیگون تغییرات منحصرا قادر به انجام برآورد مقدار تغییرات در تصاویر زوجی بوده و توان بررسی تغییرات در خطوط تک سالی را ندارد. با توجه به ماهیت و روش کار پلیگون تغییرات، می‌توان در هر بازه زمانی به شکل مجزا، مساحت پهنه‌های پیشروی و پسروی دریا و خشکی، نرخ خالص تغییرات، میانگین طول خط ساحلی و طول خطوط مرکزی و فرعی را محاسبه نمود (جدول۳). افزایش و کاهش مساحت همراه با پارامترهای دیگر محاسبه شده به نوعی با نوسانات سطح آب دریا همخوانی بیشتری را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه اینکه بررسی درصد تغییرات در روش پلیگون تغییرات نسبت به روش نیمرخ‌های متساوی‌البعد تفاوت اندکی را مشخص می‌سازد. درصد تغییرات محاسبه شده به روش پلیگون تغییرات رقمی معادل ۴۹/۵ ٪ در سال ۲۰۰۰ و ۱۷/۵ ٪ طی سال ۲۰۱۵ بوده که از اختلاف ۰/۵ درصدی روش‌های مورد مطالعه طی سال‌های مذکور حکایت دارد.

جدول ۳: اندازه‌گیری پارامترها در روش پلیگون تغییرات

بازه زمانی	۲۰۰۰- ۱۹۸۸	۲۰۱۵- ۲۰۰۰	۲۰۱۵- ۱۹۸۸
مساحت با نرخ مثبت به متر مربع (حرکت خشکی به سمت دریا)	۰	۷۰۱۰	۳۴۱
مساحت با نرخ منفی به متر مربع (حرکت دریا به سمت خشکی)	۳۷۷۰۹	۳۸۵	۶۶۲۵
نرخ خالص مساحت به متر مربع (مثبت یا منفی)	-۳۷۷۰۹	+۶۶۲۵	-۳۱۰۷۹
میانگین طول خطوط ساحلی به متر	۸۴۱	۸۹۱,۵	۸۹۷,۵
طول خط مرکزی به متر	۸۲۵	۸۴۷	۸۴۱
طول خطوط فرعی به متر	۳۰	۲۵	۴۲
مجموع طول خطوط مرکزی و فرعی به متر	۸۵۵	۸۷۲	۸۸۳

جهت ارزیابی میزان دقت روش‌های نیمرخ متساوی‌البعد و پلیگون تغییرات از میانگین مربع خطاها استفاده شده است. در حقیقت میانگین مربع خطاها به اندازه‌گیری میزان خطای دو مجموعه داده می‌پردازد که با استفاده از رابطه ۱ بدست می‌آید:

رابطه ۱)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^{n} (\hat{y}_t - y_t)^2 / n}$$

در این رابطه $\hat{y}$: خط ساحلی محاسبه شده، y: خط ساحلی واقعی اندازه‌گیری شده با GPS و n تعداد ترانسکت‌ها در روش‌های مورد استفاده می‌باشد. در نهایت میل مقادیر بدست آمده به سمت صفر گویای انطباق بیشتر روش با واقعیت زمینی و بالعکس تمایل مقادیر به سمت اعداد بزرگتر حاکی از کم بودن دقت روش یا مواد مورد استفاده در تحقیق می‌باشد. نتایج محاسبه میانگین مربع خطاها در جدول ۴ آمده است که بر پائین بودن میزان دقت روش نیمرخ‌های متساوی‌البعد نسبت به روش پلیگون دلالت دارد. مقایسه مقادیر میانگین مربع خطاها در سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ به روش پلیگون تغییرات اعداد کوچکتری را نسبت به سال‌های نظیر خود در روش نیمرخ‌های متساوی‌البعد نشان می‌دهد که گویای انطباق بیشتر و خطای کمتر روش پلیگون تغییرات نسبت به روش نیمرخ‌های متساوی‌البعد می‌باشد. به عنوان مثال حداقل میانگین مربع خطاها در سال ۱۹۸۸ به روش پلیگون تغییرات معادل ۰/۰۴ و در روش نیمرخ عرضی متساوی‌البعد به میزان ۰/۳۱ می‌باشد.

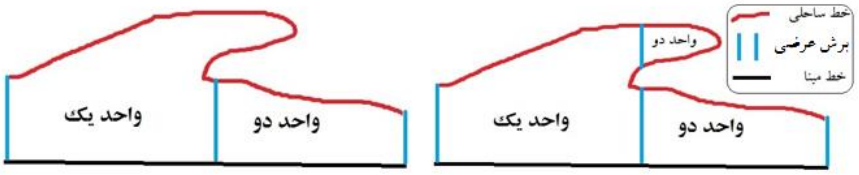
جدول ۴: محاسبه میانگین مربع خطاها بر حسب هکتار نسبت به سال ۲۰۱۶

روش پلیگون تغییرات				روش نیمرخ‌های متساوی‌البعد			
شماره واحد	۱۹۸۸	۲۰۰۰	۲۰۱۵	شماره واحد	۱۹۸۸	۲۰۰۰	۲۰۱۵
۱	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۰۱	۱	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۰۵
۲	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۰۱	۲	۰/۳۹	۰/۱۸	۰/۰۵
۳	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۰۱	۳	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۰۵
۴	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۰۱	۴	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۰۶
۵	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۱	۵	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۰۵
۶	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۱	۶	۰/۳۹	۰/۱۳	۰/۰۵
۷	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۱	۷	۰/۳۹	۰/۰۹	۰/۰۶
۸	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۱	۸	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۰۲
۹	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۱	۹	۰/۳۷	۰/۱۴	۰/۰۵
۱۰	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۰۱				
۱۱	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۰۱				
۱۲	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۰۲				
۱۳	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۰۲				
۱۴	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۰۲				
۱۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۰۲				

نتیجه‌گیری

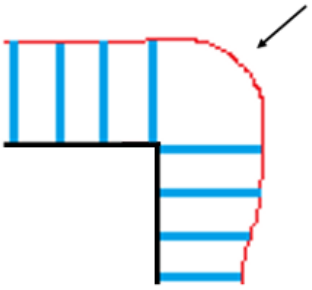
استفاده از فن‌آوری سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های مختلفی را برای بررسی تغییرات خط ساحلی فراهم می‌سازد و انتخاب روش اندازه‌گیری تغییرات خط ساحلی نیز می‌تواند بر کیفیت و تفسیر نتایج تحقیق تاثیرات زیادی داشته باشد. کیفیت داده‌های مورد استفاده نیز می‌تواند یک فاکتور بسیار تعیین کننده در نتایج پژوهش محسوب شود. در دهه ۱۹۹۰ آژانس مدیریت اضطراری فدرال آمریکا از روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد برای تعیین مقدار تغییرات درازمدت خطوط ساحلی استفاده نمود این در حالی است که بهره‌گیری از روش پلیگون تغییرات قدمت چندانی نداشته و اولین بار در سال ۲۰۱۲ در خطوط ساحلی ایالات متحده به کار گرفته شده است. دو روش مذکور به تنهایی رهیافتی ایده آل و کامل در ارزیابی میزان تغییر خطوط ساحلی محسوب نمی‌شوند و هر کدام به نوبه خود دارای معایب و مزایایی هستند. نتایج پژوهش حاضر از وقوع تغییرات بسیار زیاد در قاعده دلتای چالوس طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ حکایت دارد. طی دوره زمانی مذکور پیشروی و پسروی‌های دریا

منجر به جابجایی بسیار زیاد خط ساحلی و به تبع آن ایجاد تغییرات زیادی در نوع کاربری و هندسه خط ساحلی محدوده مورد مطالعه شده است. مقایسه دو روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد و پلیگون تغییرات با تفاوت ۰/۵ درصدی میزان تغییرات رخ داده در سطح قاعده دلتا می‌تواند به نوع و ماهیت دو روش مذکور برگردد و از این جهت نمی‌توان قضاوت دقیقی در تفوق یکی از روش‌ها نسبت به دیگری داشت اما ارزیابی دقت با استفاده از محاسبه میانگین مربعات خطاها بر انطباق بیشتر روش پلیگون تغییرات با واقعیت زمینی دلالت داشته و کاهش مقادیر بدست آمده از میانگین مربع خطاها در این روش نسبت به روش نیمرخ عرضی متساوی‌البعد حاکی از بالاتر بودن میزان دقت روش پلیگون تغییرات می‌باشد. روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد در بسیاری از مطالعات ساحلی به عنوان روشی قابل اعتماد در بررسی تغییرات خطوط ساحلی مطرح بوده است. دلیل این اعتماد نخست به سادگی مراحل انجام این روش و در مرحله بعد به نوع و ماهیت آن در بررسی خطوط ساحلی به صورت تک سالی یا زوجی مربوط می‌شود. البته این خود مزیتی برای روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد می‌باشد زیرا روش پلیگون تغییرات تنها قادر به بررسی تغییرات خطوط ساحلی به صورت زوجی می‌باشد (جداول ۱ تا ۳). صرف نظر از این مزیت روش نیمرخ‌های عرضی متساوی‌البعد، نمی‌توان از برخی معایب این روش غافل ماند. در محاسبات سالانه (بررسی تغییرات خطوط ساحلی سال‌های مختلف به صورت تک سالی)، برخی از پارامترهای ردیف اول به دلیل نداشتن اطلاعات تصویر قبل از آن، بدون داده خواهد بود (جدول ۱). همچنین وقتی انحنای خط ساحلی زیاد شده و میزان تورفتگی و بیرون زدگی خطوط افزایش می‌یابد نظر شخصی می‌تواند تعیین کننده باشد. در این موارد فرد به صورت سلیقه‌ای، انحنای ایجاد شده را به یکی از واحدهای مابین دو برش عرضی مجاور نسبت می‌دهد که خود می‌تواند از جمله معایب این روش باشد (شکل ۶).



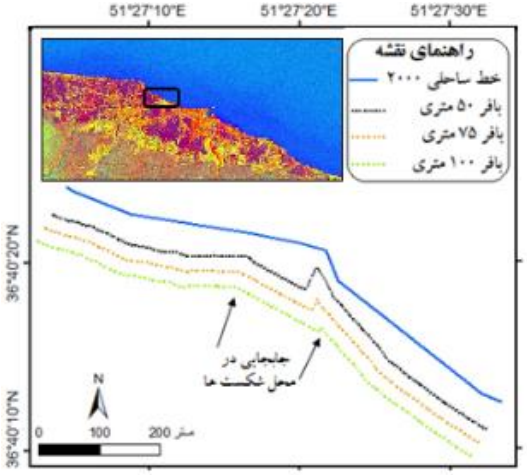
شکل ۶: نسبت دادن قسمتی از خط ساحلی به یکی از دو واحد مجاور بنا به نظر شخصی

زمانی که در طول مسیر خط ساحلی شاهد چرخش تقریبی ۹۰ درجه‌ای خط ساحلی باشیم این مساله می‌تواند برای ایجاد برش‌های عرضی‌ها مشکل‌ساز شود. همچنین به دلیل جابجایی و تغییر زاویه خط ساحلی، ترسیم برش‌های عرضی در فواصل مساوی، در برخی مناطق با مشکل مواجه خواهد شد (شکل ۷).



شکل ۷: برش‌های عرضی در محل چرخش ۹۰ درجه‌ای خط ساحلی

علاوه بر موارد فوق الـذکر در روش نیمرخ عرضـــی متساوی‌البعد، انتخاب خط مبنا و موقعیت قرارگیری آن در خشـــکی می‌توانـد در نتـایج تـاثیرات زیادی داشته باشد. برای انتخاب خط مبنا دو روش (استفاده از عوارض خطی و یا ایجاد یک کپی از خط ســـاحلی با فاصـــله معینی از ســـاحل فعلی) به کار می‌رود. در مواردی کـه عوارض خطی مثل راه ارتباطی در داخل خشـکی وجود داشـته باشد مشکلی از جهت انتخاب خط مبنا نخواهد بود در غیر این صـورت اسـتفاده از روش دوم با مشـــکلاتی همراه خواهد بود. به عبارتی اگر در انتخـاب خط مبنا، بافرهایی یک جهته از خط سـاحلی به داخل خشکی در فواصل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ متری در محیط نرم افزاری ARCMap ترسیم کنیم به دلیل تغییر و جابجایی محل شـکست‌ها نسبت به هم در سـه خط مبنایی مذکور، نتایج نهایی بدسـت آمـده (نرخ تغییرات ســـالانه مثبت، منفی و خالص) دلالـت بر وجود تفـاوت فـاحشـــی دارد که به دلیل تفاوت در انتخاب خط مبنا حاصـل می شـود (شـکل ۸).



شکل ۸: انتخاب بافر به عنوان خط مبنا و تاثیرگذاری بر نتایج به دلیل جابجایی محل شکست‌ها

برخلاف روش نیمرخ عرضـی متسـاوی‌البعد که برای بازه‌های زمانی بین ســـالی و تک ســـالی اســـتفاده می‌شـود، روش پلیگون تغییرات صـرفا برای تصـاویر زوجی (بین سـالی) قابل بررسی است. این روش قادر به بررسـی خطوط تک سالی به صورت مجزا نخواهد بود کـه این مورد می‌توانـد از معـایب اصـــلی آن در

مقایسه با روش قبلی باشد (جدول۳). همچنین ایجاد دوایر مماس در نرم‌افزار اتوکد نیازمند دقت بالایی است و وجود خطای انسانی در ترسیم دوایر مذکور می‌تواند در نتایج تحقیق به روش پلیگون تغییرات تاثیرگذار باشد. استفاده از روش پلیگون تغییرات به دلیل عدم اتکا به خط مبنا به عنوان نقطه آغاز اندازه‌گیری تغییرات، روشی با نقصان کمتر تلقی می‌شود زیرا احتمال خطای انسانی در این روش به واسطه انتخاب خط مبنا وجود ندارد. در این روش، کمیت فضای بین دو خط ساحلی به صورت پلیگون‌هایی مشتمل بر بخش‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری اندازه‌گیری می‌شود و هیچ منطقه‌ای از خطوط ساحلی بدون بررسی باقی نخواهد ماند. در صورت وجود داده‌های تصویری با قدرت تفکیک بسیار بالا می‌توان از روش پلیگون تغییرات در ارزیابی خطوط ساحلی گذشته، به عنوان روشی با کارایی بیشتر اعتماد نمود. پیشنهاد می‌شود به طور همزمان هر دو روش مذکور را در مناطقی با چولگی و کشیدگی زیاد خطوط ساحلی همانند سواحل دریای عمان استفاده نمود و نتایج آن جهت تائید یا رد پژوهش حاضر ارائه گردد.

منابع

-لرستانی، ق.، ۱۳۹۲. تاثیر فرایندهای هیدرودینامیک دریا و رودخانه بر تغییرات مورفولوژی خط ساحلی (قاعده دلتای گرگان رود) پژوهش‌های دانش زمین، سال چهارم، شماره ۱۵، پاییز ۱۳۹۲، ص ۶۶-۸۴ .

-یمانی، م.، قدیمی، م. و نوحه‌گر، احمد.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات زمانی خط ساحلی شرق تنگه هرمز از طریق تحلیل آماری نیمرخ‌های متساوی‌البعد (ترانسکت)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۲، ص ۱۵۴-۱۷۵.

-یمانی، م.، مقیمی، ا.، معتمد، ا.، جعفربیگلو، م. و لرستانی، ق.، ۱۳۹۲. بررسی تغییرات سریع خط ساحلی به روش تحلیل نیمرخ‌های متساوی‌البعد، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۵، شماره ۲، ص ۱-۲۰ .

-لرستانی، ق.، ۱۳۹۴. بررسی تغییرات خط ساحلی با استفاده از روش پلی گون تغییرات محدوده؛ موردمطالعه: قاعده دلتای سفیدرود، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۴، شماره ۳، ص ۱۶۸-۱۸۰.

-Albuquerque, M., Espinoza, J., Teixeira, P., Oliveira, A., Corrêa, I. and Calliari, L., 2013. Erosion or Coastal Variability: An Evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the Determination of Erosive Processes on Sandy Beaches, Journal of Coastal Research, Special Issue, v. 65, p. 1710-14.

-Crowell, M., Douglas, B. and Leatherman, S., 1997. On forecasting future U.S. shoreline positions: A test of algorithms, Journal of Coastal Research, v. 13, p. 1245-55.

-Crowell, M., Leatherman, S. and Buckley, M., 1991. Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy, Journal of Coastal Research, v. 7, p. 839-52.

-Crowell, M., Leatherman, S. and Buckley, M., 1993. Shoreline change rate analysis: Long term versus short term data, Shore and Beach, v. 61, p. 13-20.

-Douglas, B., Crowell, M. and Leatherman, S., 1998. Considerations for shoreline position prediction, Journal of Coastal Research, v. 14, p. 1025-33

-Di K, W. J., Ma, R. and Li, R., 2003. Automatic shoreline extraction from IKONOS Satellite
Imagery, Earth Observation Magazine, v. 12, p. 14-18.

-Dolan, R., Fenster, M.S. and Holme, S.J., 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion, Journal of Coastal Research, v. 7(3), p. 723-744.

-Donovan, A., Haney, R. and Mague, S., 2002. Massachusetts Shifting Shorelines: New Data on Shoreline Change, Boston, MA, Massachusetts Office of Coastal Zone Management, v. 12, p. 723-44.

-Fenster, M. S., Dolan, R. and Morton, R. A., 2001. Coastal storms and shoreline change: Signal or noise? Journal of Coastal Research, v. 17, p. 714-20.

-Makota, V., Sallema, R. and Mahika, Ch., 2004. Monitoring Shoreline Change using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Kunduchi Area, Tanzania, Western Indian Ocean, Journal of Marine Science, v. 3(1), p. 1-10.

-Mazzer, A.M. and Dillenburg, S.R., 2009. Shoreline temporal variation of wave dominated sandy beaches of the southeast of Santa Catarina Island (Florianópolis, SC, Brazil), Pesquisas em Geociências, v. 36(1), p. 117-135.

-Bride, M. R. A., Penland, S., Hiland, M. W., Williams, S. J., Westphal, K. A., Jaffe, B. E. and Sallenger, A. H., 1989. Analysis of barrier shoreline change in Louisiana from 1853 to 1989, Atlas of shoreline changes in Louisiana from, Series I-2150-A, p. 36-97.

-Ocean Studies Board, 1999. Science for Decision-Making, Washington D.C.: Commission on Geosciences, Environment and Resources, 113 p.

-Smith, M. J. and Cromley, R. G., 2012. Measuring Historical Coastal Change using GIS and the Change Polygon Approach, Transactions in GIS, 2012, v. 16(1), p. 3-15.

-Thieler, E.R., Rodriguez, R.W. and Carlo, M., 1995. Beach erosion and coastal development at Rinco´n, Puerto Rico, Shore and Beach, v. 63(4), p. 18-28.

-Vanrijn, L.C., 2011. Coastal erosion and control, Ocean and Coastal Management, v. 54, p. 867-887.

-Van, T.T. and Binh, T. T., 2008. Shorline change detection to serve sustainable management of coastal zonein CUU long estuary, International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, p. 1-6.

-Wright, D. J., Blongewicz, M. J., Halpin, P. N. and Breman, J., 2007. Arc Marine: GIS for a Blue Planet, Redlands, CA, Esri Press, 202 p.