

## بررسی تغییرات سریع خط ساحلی قاعده دلتای سفیدرود به روش تحلیل نیمرخ‌های متساوی‌البعده

مجتبی یمانی\* - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
ابراهیم مقیمی - استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
احمد معتمد - استاد دانشکده علوم، دانشگاه تهران  
منصور جعفر بیگلو - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران  
قاسم لرستانی - استادیار دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۲/۲۶      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۷/۲۵

### چکیده

مدیریت پایدار سواحل نیازمند آگاهی از روند تغییرات خط ساحلی است و آشکارسازی تغییرات خط ساحلی، می‌تواند سلامت ساحل را تضمین کند. پهنه مورد مطالعه این پژوهش، بخش غربی خط ساحلی دریای خزر، در محدوده قاعده دلتای سفیدرود، به طول تقریبی ۱۵ کیلومتر است. هدف این مطالعه، بررسی متغیرهای مؤثر بر تغییرات سریع خط ساحلی طی شصت سال گذشته است. برای دست‌یابی به این هدف از اطلاعات دبی و رسوب سفیدرود، باد و نوسان‌های تراز آب به همراه عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه به‌عنوان ابزارها و داده‌های اصلی پژوهش استفاده شده است. روش کار برپایه استفاده از نیمرخ‌های متساوی‌البعده (ترانسکت) در سه بازه مجزا، برای ثبت میزان تغییرات خط ساحلی است که با روی هم‌اندازی تصاویر موجود در نرم‌افزارهای جغرافیایی و استخراج خطوط ساحلی تاریخی، دلایل فرسایش و رسوب‌گذاری در قاعده دلتای سفیدرود، طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۳۴، بررسی و مشارکت عوامل مؤثر بر تغییر خط ساحلی در هر یک از بازه‌های سه‌گانه مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تغییر در میزان بده رسوب خروجی از سد سفیدرود با انجام عملیات شاس، بیشترین تأثیر را در تغییر سریع خط ساحلی قاعده دلتا داشته است. طی عملیات شاس، میانگین دلتاسازی با سرعت ۲۶ متر در سال (۱۹۹۸-۱۹۸۱) به ثبت رسیده است که نسبت به سرعت تغییر خط ساحلی در دوره قبل از عملیات با ۱۹ متر در سال (۱۹۸۰-۱۹۵۵) و ۹ متر در سال پس از عملیات شاس (۲۰۱۱-۱۹۹۹)، تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهد. همچنین طوفان‌های دریایی نیز، به‌صورت مقطعی می‌توانند نقش مهمی در تغییر خط ساحلی ایفا کنند.

کلیدواژه‌ها: دریای خزر، تغییر خط ساحلی، دلتای سفیدرود، سیلاب.

## مقدمه

طول خط ساحلی دریای خزر در قلمرو ایران ۷۵۰ کیلومتر است. با نگاهی کوتاه به هندسه خط ساحلی دریای خزر، اولین نکته‌ای که جلب توجه می‌کند، عدم یکنواختی مورفولوژی خط ساحلی است که در برخی قسمت‌ها، همچون مناطق شرق دریا به صورت تورفتگی مورفولوژی خط ساحلی را شکل داده و در پاره‌ای قسمت‌ها، همچون قاعده دلتای سفیدرود، کیلومترها در داخل دریا پیشروی کرده و با تحدب خاصی به سمت دریا کشیده شده است. دلتای سفیدرود در دوره‌های مختلف به شکل‌های متقارن، نیمه‌متقارن و نامتقارن در مورفولوژی خط ساحلی ظاهر شده است. با پذیرش این مطلب که در ساحل جنوبی، جهت جریان غربی - شرقی است و دینامیک دریا بر جهت و امتداد حرکت رسوب بیشترین تأثیر را دارد، پس باید همیشه قاعده دلتا در مصب رودخانه به سمت شرق متمایل شود. در حالی که عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه خلاف آن را نشان می‌دهد. بنابراین باید افزون بر دینامیک جریان‌های ساحلی و امواج دریا که حداقل در طول دوره هولوسن تغییری در جهت و امتداد آنها رخ نداده است، عوامل دیگری نیز در ایجاد هندسه متفاوت دوره‌ای دلتا نقش داشته باشند. در این میان می‌توان اهمیت نوسان زیاد سطح آب دریای خزر را در پسروری و پیشروی دلتا برشمرد. هرچه میزان کاهش سطح آب بیشتر بوده و افت سطح آب مدت زمان بیشتری به طول انجامد، شرایط برای گسترش و توسعه بیشتر دلتا فراهم آمده و بر حجم و ابعاد باند ماسه‌ای ایجاد شده افزوده می‌شود و با بالا آمدن سطح آب شرایط برای فرسایش خط ساحلی مهیا می‌شود.

رسوب‌گذاری رودخانه سفیدرود، نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد تغییرات خط ساحلی دارد. میزان رسوب ورودی از سفیدرود به دریا در سال‌های آبی مختلف، نوسان زیادی را نشان می‌دهد. از سویی، حجم متناهی از رسوب‌هایی که پشت سد سفیدرود انباشته شده و همه‌ساله در زمان‌های معینی به یکباره با آشفته‌کردن مخزن سد و باز کردن دریچه‌های سد به سمت دریا روانه می‌شود نیز، می‌تواند در ایجاد تغییرات خط ساحلی سهم چشمگیری داشته باشد. داده‌های تاریخی شامل عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه، بر ناپایداری خط ساحلی قاعده دلتای سفیدرود دلالت دارد و این فرضیه را تداعی می‌کند که در بین متغیرهای مؤثر بر روند تغییر خط ساحلی، تغییر در میزان دبی و رسوب ورودی از رودخانه، مسئول اصلی تغییرات سریع خط ساحلی است.

از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریت و برنامه‌ریزی ساحلی، مطالعه در مورد دینامیک و علل ایجاد تغییرات در راستای خط ساحلی است. به دلیل اهمیت موضوع و تأثیر این پدیده بر فعالیت‌های انسانی و اقتصادی، مطالعات زیادی در سطح جهان و منطقه صورت گرفته است. اولین مطالعات در زمینه تغییرات خط ساحلی در سواحل قاره‌ای شرق ایالات متحده انجام گرفت. این مطالعه و دیگر مطالعات، روش‌های متعددی برای درک تغییرات خط ساحلی را به ما نشان می‌دهند. دولان و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۱) نرخ فرسایش بلندمدت و کوتاه‌مدت تغییرات خط ساحلی را با استفاده از مدل‌های EPR<sup>۲</sup> و رگرسیون خطی و چند مدل آماری دیگر مورد بررسی قرار دادند. تایلر و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۵) تغییرات خط ساحلی را با

1. Dolan & et al  
2. End point rate  
3. Thieler & et al

سیستم آنالیز رقومی در پورتوریکو مطالعه کردند. این پژوهشگران با تقسیم کردن خط ساحلی به چهار بخش مجزا، مقدار تغییر متوسط هر بخش را مورد ارزیابی قرار دادند. آدام<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) در بررسی تأثیر ساخت سدها بر هیدرولوژی دلتای نیجر بیان کرده است که کاهش شدید میزان آب در دلتای رود نیجر، همزمان با ساخت سدهای بزرگ در حوضه آبریز آن، منجر به از بین رفتن تعادل هیدرولوژیکی در منطقه، به ویژه در جزایر سد ساحلی شده است و کاهش آب و رسوب ورودی که همزمان با افزایش سطح آب دریا بوده، سبب تخریب ساحل توسط امواج مخرب شده است. همچنین براخاصی و همکاران (۱۳۸۵)، تغییرات خطوط ساحلی دلتای رودخانه جگین را با استفاده از GIS مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه، دوره‌های فرسایش و رسوب‌گذاری خط ساحلی با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. پالوسکا و دگنز<sup>۲</sup> (۱۹۷۷) با بررسی‌های زمین‌شناسی کرانه جنوبی دریای خزر، مسائل زمین‌شناسی کوتاه‌تر محدوده دلتای سفیدرود را در بخش کرانه ساحلی مورد بررسی قرار داده‌اند. واروپایف و همکاران (۱۹۹۸) در مقاله "دلتاهای رودخانه‌ای دریای خزر"، ویژگی نه دلتای بزرگ تشکیل شده در دریای خزر، از جمله سفیدرود را مورد بررسی قرار داده‌اند. کراسنوزون و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روسی، روند تکامل دلتای سفیدرود را بررسی کردند. به نظر آنها شکل‌گیری دلتای قدیم و جدید سفیدرود، متأثر از تغییرات سطح آب خزر بین ۲۵- تا ۵۰ متر بوده و سطح دلتا دارای نهشته‌های آبرفتی و دریایی است. همچنین آنها با بررسی تغییرات خط ساحلی اشاره داشتند که طی سال‌های ۱۳۵۹-۱۳۲۹، قسمت شرقی دلتا، ۱۶۰۰ متر و قسمت غربی دلتا، ۸۰۰ متر در داخل دریا پیشرفت داشته است که به طور میانگین ۵۳-۲۷ متر در سال است. خوشروان (۲۰۰۷) با بررسی رسوب‌ها، مورفودینامیک و ارزیابی سواحل ایرانی دریای خزر، ساحل انزلی را ساحلی با انرژی متوسط می‌داند. کاکرودی و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی با عنوان "تغییرات سریع سطح دریا در امتداد سواحل ایرانی دریای خزر" به بررسی تغییرات سطح دریای خزر پرداختند. در این مقاله تلاش شده است تا بازسازی منحنی تراز دریا در هولوسن، به وسیله مغزه‌برداری و سن‌نگاری با رادیوکربن انجام پذیرد. در این مطالعه چهار مرحله بالا آمدن سطح آب در دوره بلندمدت هولوسن شناسایی شده است. برزگر و مکبری (۱۳۶۷) در مقاله "تکامل دلتای جدید سفیدرود، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست" به بررسی نقش عملیات رسوب‌زدایی سد سفیدرود در روند تکامل دلتا پرداختند. کوثری (۱۳۶۵، ۱۳۷۲) با استفاده از نقشه‌ها و مقایسه عکس‌های هوایی سال‌های مختلف، به بررسی تکامل دلتای سفیدرود پرداخته است و معتقد است که دلتای سفیدرود، طی دوره سی‌وسه ساله، ۱۳۶۱-۱۳۲۹، سالانه حدود ۱۰ تا ۱۵ متر در دریای خزر پیشروی داشته است. امین سبحانی (۱۳۷۰) با استفاده از منابع تاریخی متعدد، به ویژه نقشه‌های چاپ‌شده در ایران و سایر کشورها، به بررسی تحولات سفیدرود در یکصد سال اخیر پرداخته و با ارائه شواهد تاریخی و کارتوگرافیک، بر جابه‌جایی سفیدرود توجه داشته است. به نظر وی، مسیر کهنه سفیدرود نمی‌تواند منطبق بر گسل باشد. رحیمی پور (۱۳۷۷) در تحلیلی بر روند تغییرات خط ساحلی دریای خزر در مجاورت سفیدرود، به بررسی ساختمان انواع دلتاها پرداخته و با توجه به بررسی‌های میدانی (به ویژه ردگیری

1. Abam

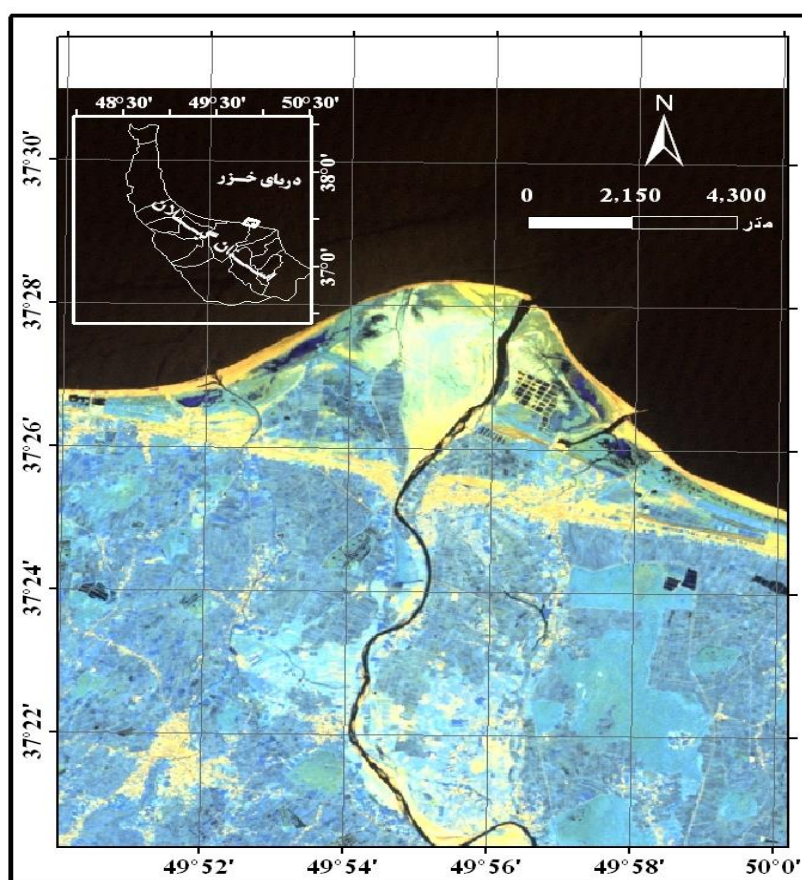
2. Paluska &amp; Degens

3. Krasnozhan &amp; et al

رسوب‌های دریای خزر)، در نهایت نتیجه می‌گیرد که دلتای سفیدرود از نوع دلتاهای تحت تأثیر امواج است. خوش رفتار (۱۳۸۴) با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، تحولات دلتای جدید سفیدرود را طی سده اخیر مورد بررسی قرار داده و به تبیین نقش فعالیت‌های انسانی و دینامیک دریا در ایجاد تغییرات خط ساحلی پرداخته است. با یافته‌های پیشین و همچنین مشاهدات مستقیم و غیر مستقیم مقدماتی روی محدوده دلتای سفید، به نظر می‌رسد که دامنه تغییرات خط ساحلی در این محدوده نسبت به سایر نقاط بسیار زیاد است. از این رو هدف اصلی این پژوهش نیز، بررسی زمانی این تغییرات و شناخت علل و عوامل مؤثر در ایجاد آن است. همچنین این مطالعه تلاش دارد، دامنه تغییرات مکانی سریع را با دینامیک جریان سفید رود و حرکات آب دریا ارتباط دهد.

### پهنه مورد مطالعه

پهنه مورد مطالعه در مختصات طول جغرافیایی  $50^{\circ} 50'$  تا  $49^{\circ} 50'$  شرقی و عرض  $37^{\circ} 26'$  تا  $37^{\circ} 28'$  شمالی قرار دارد. این منطقه در دلتای سفیدرود به شکل دماغه‌ای با پیشرفتگی کوژ به سوی دریا، شمال بندر کیشهر را به طول ۱۵ کیلومتر دربرمی‌گیرد و بزرگترین دلتای رودخانه‌ای تشکیل شده در کرانه جنوبی دریای خزر است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت گستره مطالعاتی

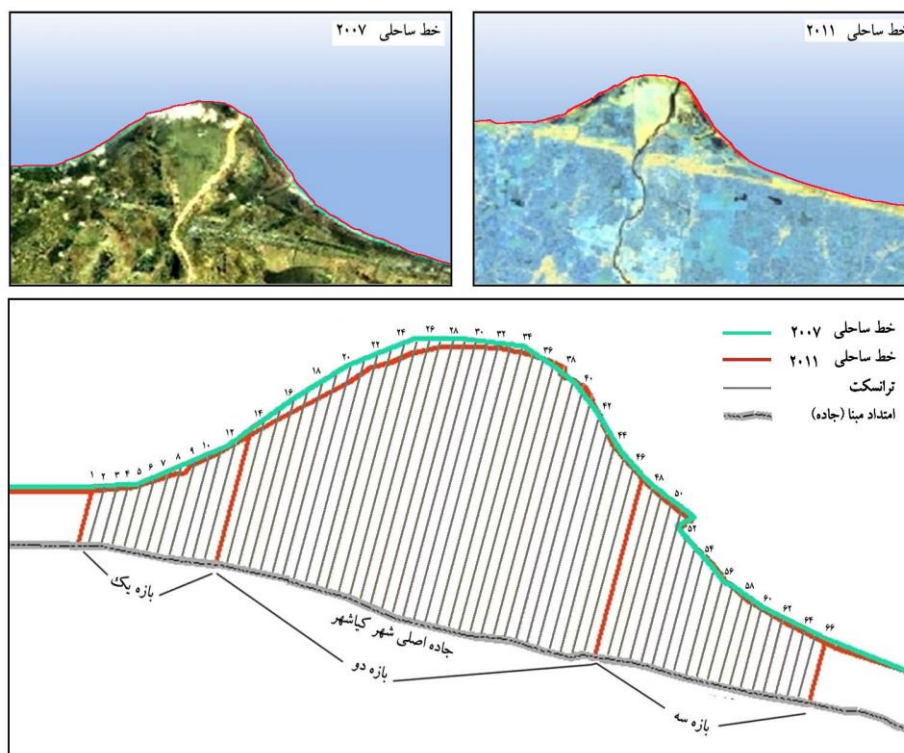
منبع: تصویر ETM+ سال ۲۰۱۱

## مواد و روش‌ها

اساس این پژوهش بر روش مقایسه‌ی تحلیلی متغیرهای مؤثر بر تغییر دوره‌ای خط ساحلی استوار است که طی آن، داده‌های آماری و تصویری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای، به همراه نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS ابزارهای اصلی پژوهش را تشکیل داده‌اند. برای بررسی میزان حمل و انتقال دبی و رسوب رود بر تغییرات خط ساحلی، داده‌های دبی و رسوب حوضه‌های رودخانه‌ای از سازمان تحقیقات طرح جامع آب کشور دریافت و با انجام پردازش آماری روی داده‌های مذکور، دبی و رسوب‌زایی حوضه‌های رودخانه‌ای مورد سنجش قرار گرفت. اطلاعات مربوط به میزان تغییرات روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه پیشروی و پسروی آب دریا و همچنین داده‌های نوسان‌های تراز آب دریای خزر (۱۳۸۷-۱۳۰۵)، از مرکز ملی اقیانوس‌شناسی دریافت شد. این داده‌ها برای بررسی وضعیت تغییرات تراز آب دریا طی دوره آماری رصد شده در ایستگاه بندر انزلی، در فاصله ۴۰ کیلومتری بازه مطالعاتی به کار رفته است. داده‌های سرعت و جهت باد روزانه ایستگاه سینوپتیک انزلی (۲۰۰۹-۱۹۵۱)، به عنوان عامل اصلی ایجاد امواج تهیه شده است. سپس با تصحیح و پردازش اطلاعات باد طی سال‌های مذکور، گل‌بادهای منطقه ترسیم شدند و طوفان‌های موردی با سرعت بیش از ۸ متر بر ثانیه، برای تطبیق زمانی میزان تغییر خط ساحلی از داده‌های مذکور با تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده، استخراج شده است. همچنین اطلاعات مربوط به بویه انزلی در عمق ۲۵ متری، محتوی داده‌های امواج (۱۳۹۰-۱۳۸۵)، برای مشخص کردن ویژگی‌های موج، شامل ارتفاع، دوره، طول و فراوانی موج نزدیک ساحل، از درگاه سازمان بنادر و کشتیرانی تهیه شد.

برای تعیین تغییرات خط ساحلی و مشخص کردن ماهیت، مکان و زمان وقوع تغییرات در خط ساحلی، از مدل نیمرخ‌های متساوی‌البعده (ترانسکت)<sup>۱</sup> و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه استفاده شده است. در این مدل ابتدا در قسمت پسکرانه ساحلی، جاده اصلی عبوری از شهر کیشهر را که نسبت به تغییرات زمانی و مکانی خط ساحلی ثابت زمانی و مکانی بیشتری دارد، خط مبنا قرار داده تا تغییرات خط ساحلی نسبت به آن سنجیده شود. سپس کل خط ساحلی را با توجه به انحناهای خط ساحلی، جهت وزش بادهای منطقه به خط ساحلی، تنوع ژئومورفولوژیکی و تفاوت در متغیرهای مؤثر در ایجاد و تحول خط ساحلی، به سه بازه جدا از هم تقسیم و در هر بازه، برش‌های عرضی متعددی به فواصل معین ۲۰۰ متری تعیین شده است. در ادامه با روی هم‌اندازی تصاویر و عکس‌ها و نقشه‌های چند زمانه، رقومی کردن خطوط ساحلی در هر زون و بررسی‌های کمی میان دو برش عرضی، میزان تغییرات مثبت و منفی خط ساحلی سنجیده شده است. بر این مبنا، کل ساحل مورد مطالعه در قاعده دلتای سفیدرود از لحاظ تراکمی یا کاوشی بودن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل ۲).

در نهایت با در نظر گرفتن داده‌ها و روش‌های فوق و نیز با بررسی تاریخی میزان تغییرات در سواحل و تجزیه و تحلیل داده‌های مذکور، سهم متغیرهای دخیل در تغییرات دوره‌ای خط ساحلی مشخص شده است.

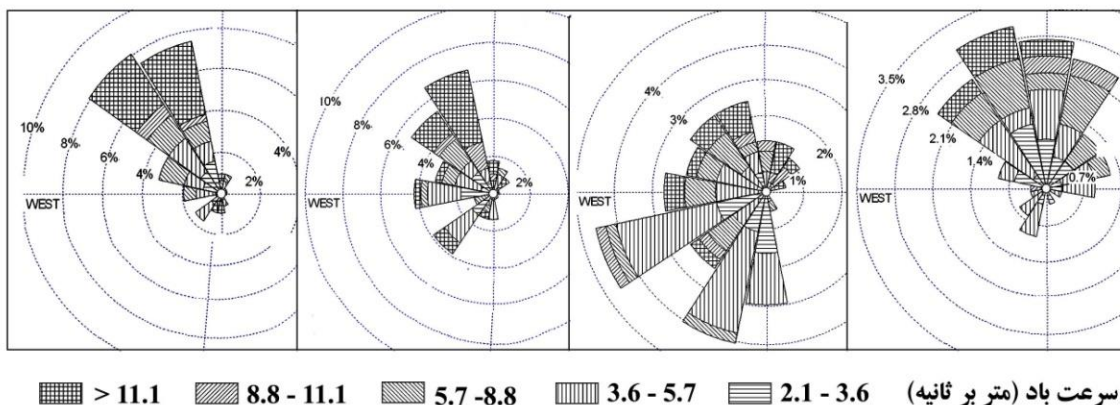


شکل ۲. چگونگی ایجاد ترانسکت و بررسی تغییرات خط ساحلی

## یافته‌های پژوهش

هر نقطه‌ای از ساحل ممکن است در مرحله تعادل، انباشت یا فرسایش رسوب باشد که به نوبه خود، بسته به متغیرهای متعدد، می‌تواند به‌طور مستقل از هم، یا در ارتباط مشترک با هم، در کنترل تعادل یا ناپایداری تغییرات خط ساحلی نقشی داشته باشند.

در این مطالعه از آمار پنجاه‌هشت‌ساله باد ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی ۲۰۰۹-۱۹۵۱ استفاده شده است. دلیل انتخاب ایستگاه انزلی، شباهت اقلیمی و ساحلی بودن ایستگاه مذکور نسبت به مکان مورد مطالعه بوده است. با استناد به آمار مذکور و از میانگین کل ۲۸۴۶ بار باد مشاهده شده سالانه، ۲۹ درصد میانگین سالانه بادهای ایستگاه انزلی در رده بادهای آرام با سرعت‌های کمتر از ۲ متر بر ثانیه است که تأثیری در ایجاد امواج و حرکت ذرات ماسه، برای مشارکت در تغییرات خط ساحلی ندارد. طی دوره آماری مذکور، حداکثر سرعت بادهای غالب ماهانه برای ایستگاه انزلی، در آبان ماه با ۴/۷ متر بر ثانیه و حداقل آن در آذرماه، ۲ متر بر ثانیه با میانگین سالانه ۳/۲ متر بر ثانیه گزارش شده است. میانگین سالانه جهت باد غالب در خط ساحلی گستره مطالعاتی شمالی است. از آنجاکه میانگین بادهای ماهانه و سالانه ثبت شده در بازه زمانی مورد مطالعه، نمی‌تواند برای ایجاد تغییرات سریع و ملموس قابل قبول باشد، بنابراین برای یافتن دلایل این تغییرات، بادهای با سرعت بیش از ۷/۵ متر بر ثانیه که قدرت ایجاد طوفان‌های دریایی را دارند، مورد بررسی قرار گرفته است. میانگین سالانه حداکثر بادهای سریع به ثبت رسیده در ایستگاه انزلی با سرعت ۴۰ متر بر ثانیه در جهت شمال می‌وزد.



شکل ۳. گل‌بادهای فصلی ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی

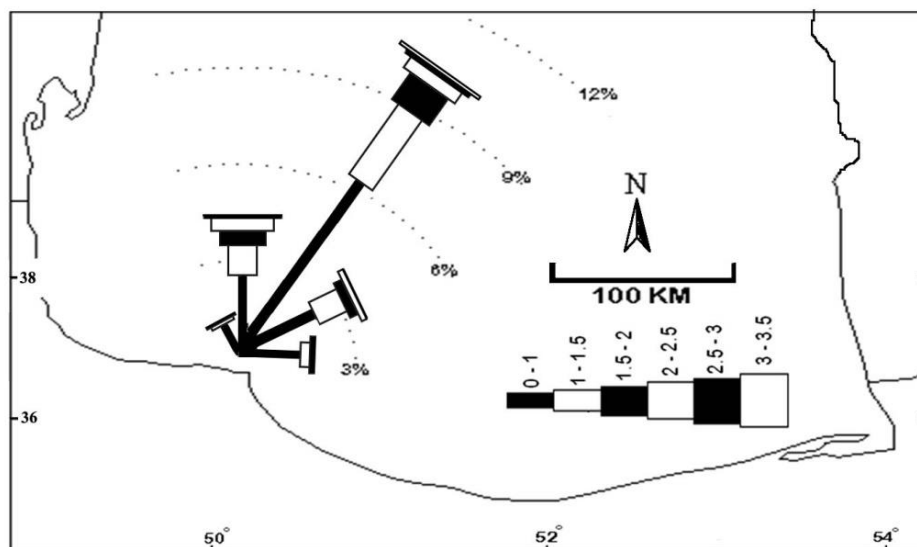
با توجه به جدول شماره ۱ که در آن درصد فراوانی ارتفاع - جهت امواج دوراً در عمق ۱۰۰ متری دریا با استفاده از مطالعات مرکز ملی اقیانوس‌شناسی به نمایش در آمده است، گل موج آبهای عمیق پهنه مورد مطالعه ترسیم شده است (شکل ۴).

جدول ۱. درصد فراوانی ارتفاع - جهت امواج دوراً در عمق ۱۰۰ متری دریا

ارتفاع امواج جهت امواج (درجه)	ارتفاع امواج					
	تا ۱ متر	۱/۵ - ۱ متر	۲ - ۱/۵ متر	۲/۵ - ۲ متر	۳ - ۲ متر	۳/۵ - ۳ متر
۱۰	۲/۵	۱	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۰
۳۰	۶/۳	۲/۳	۰/۹	۰/۳	۰/۱	۰/۱
۵۰	۲/۸	۰/۷	۰/۲	۰/۱	۰	۰
۷۰	۱/۸	۰/۲	۰/۱	۰	۰	۰
۹۰	۰/۶	۰/۱	۰	۰	۰	۰
۳۳۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰
۳۵۰	۰/۶	۰/۱	۰/۱	۰	۰	۰

منبع: مطالعات مرکز ملی اقیانوس‌شناسی طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۵

بر اساس گل موج ترسیمی، جهت غالب امواج دوراً از شمال شرقی است. ضمن اینکه گل موج آبهای عمیق درصد بالایی از امواج با ارتفاع بالا را نشان می‌دهد که به‌طور عمده از جهت شمال شرق می‌آید. درصد امواج از جهت غرب و شمال غربی، به دلیل طول بادگیر بسیار کوتاه در مقایسه با طول بادگیر مربوط به جهات شمال و شمال شرقی، ناچیز است و با توجه به نقشه باتی متری دریای خزر در بندر کیشهر، عمق کم ناحیه بادگیر غرب و شمال غربی نیز در کاهش درصد امواج مؤثر است.



شکل ۴. گل موج مربوط به امواج دورای دلتای سفیدرود

منبع: داده‌های مرکز ملی اقیانوس شناسی ۲۰۰۰-۱۹۷۵

در ادامه برای شناخت چگونگی آب‌دهی و کمیّت رسوب خروجی از مصب رودخانه سفیدرود، از آمار دبی و رسوب نزدیکترین ایستگاه رسوب و دبی‌سنجی (پل آستانه طی سال‌های آبی ۸۷-۱۳۴۳) استفاده شده است. میانگین بیشترین دبی ماهانه در ایستگاه پل، ۱۶۷ متر مکعب بر ثانیه به ثبت رسیده و میانگین رسوب‌دهی ماهانه، ۲۳۷۰۰ تن برآورد شده است. همچنین میانگین وزن مواد رسوبی در ایستگاه مذکور ۳۴۸۰۳۷ تن در سال و میانگین رسوب در سه مقطع عرضی اندازه‌گیری شده (CM) ۱۲۷۳ میلی گرم در لیتر محاسبه شده است. بالا بودن میزان دبی، به دلیل خروج رود از کوهستان و وضعیت سیلابی آن است. همچنین بالا بودن میانگین رسوب‌دهی ایستگاه پل آستانه را می‌توان با سیلاب‌های فصلی و رسوب خروجی از مخزن سد سفیدرود تفسیر کرد.

### نوسان‌های آب دریا

سطح اساس دریاها در هر قرن ۲/۵ سانتی‌متر افزایش می‌یابد (پتیک<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱) و دریای خزر به‌واسطه نوسان‌های سریع و بزرگ معروفیت جهانی دارد (وسولینگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰). به دلیل نوسان‌های مداوم آب دریای خزر با روندهای فزاینده و کاهنده، در این پژوهش تلاش شده است با استفاده از داده‌های ترازسنجی آب دریای خزر از ایستگاه انزلی در سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۰۵، پسروری و پیشروی آب دریا را با توجه به محدودیت دسترسی و پراکندگی زمانی تصاویر دریافتی (عکس‌های هوایی سال ۱۹۵۵ تا تصاویر ETM+ سال ۲۰۱۱)، در سه بازه زمانی تفکیک کرده تا تجزیه و تحلیل داده‌های تصویری بر اساس پیشروی و پسروری آب دریا انجام شود.

۱. غلظت متوسط در مقطع اندازه‌گیری برحسب میلی‌گرم در لیتر

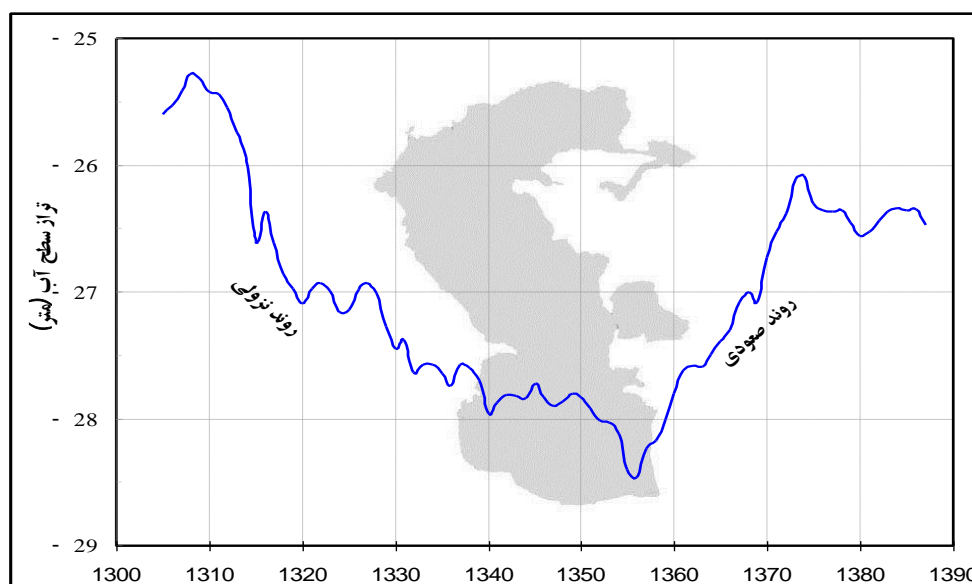
2. Pethick

3. Wesswling & et al



### دوره اول با روند کاهش تراز آب دریا

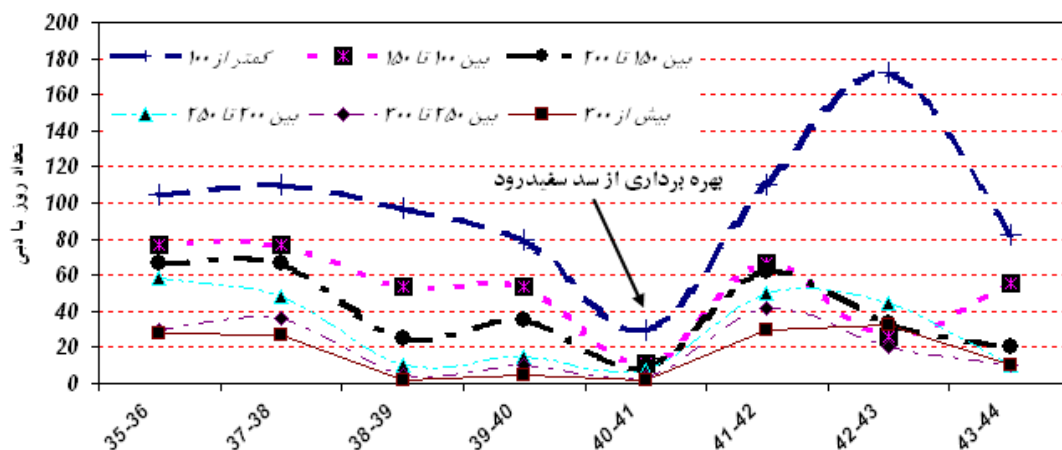
این دوره با روند کاهنده بین سال‌های ۱۹۲۹ تا ۱۹۷۷ (۱۳۵۶ - ۱۳۰۸) مشخص می‌شود (شکل ۵). در این دوره سطح آب دریا به‌طور متوسط سالانه ۶۰ سانتی‌متر و در نهایت ۳ متر کاهش یافته است؛ به طوری که از ۲۵/۳۰- به ۲۸/۶۴- در سال ۱۳۵۶ رسیده است. البته این کاهش به شکل منحنی تصاعدی پیوسته نبوده و پیشروی‌های کوچکی نیز در درون خود نشان می‌دهد. از سویی، شدت نوسان‌های تراز آب دریا در کل دوره یکسان نبوده است. در دوره کوتاه مدت ۱۳۰۸ تا ۱۳۲۰، ارتفاع آب حدود ۲ متر و از سال ۱۳۲۱ تا ۱۳۵۶ با روندی آهسته‌تر، ۱ متر کاهش را نشان می‌دهد (خوش رفتار، ۱۳۸۴).



شکل ۵. نوسان‌های سطح آب دریای خزر (ایستگاه ترازسنجی انزلی) در طی سال‌های ۱۳۰۵-۱۳۸۷

تصاویر ماهواره‌ای از این دوره در دسترس نیست و تنها به عکس‌های هوایی سال‌های ۱۹۵۵ و ۱۹۶۶ استناد شده است. در این دوره با جابه‌جایی مسیر و مصب رودخانه سفیدرود از قسمت شرق به سوی غرب قاعده دلتا، تغییرات شدیدی در منحنی خط ساحلی رخ داده است که مهم‌ترین تغییر در میزان طول خط ساحلی بوده است؛ به گونه‌ای که طول خط ساحلی با محاسبه مجموع خطوط برش‌های عرضی در منطقه یک، ۳۵۴ متر افزایش و در مناطق دو و سه به ترتیب ۱۴۷ و ۲۵۵۷ کاهش داشته است. مجموع مساحت سطح زیر منحنی مناطق سه‌گانه بین خط ساحلی و خیابان اصلی شهر کیشهر، در سال ۱۹۶۶ نسبت به تصویر قبلی ۳/۶۱ کیلومتر مربع افزایش را نشان می‌دهد (جدول ۲ و شکل ۷). البته این افزایش به دوره پیش از احداث سد بازمی‌گردد. در این دوره با احداث سد سفیدرود در سال ۱۳۴۰، میزان دبی و رسوب ثبت‌شده در ایستگاه‌های پایین دست تا حد زیادی کاهش یافته که در برهم زدن تعادل ژئومورفولوژیکی منطقه نقش بارزی داشته است. پس از بهره‌برداری سد و استفاده از شبکه آبیاری آن در سطح جلگه، دلتاسازی و پیشروی قاعده به سمت دریا کاهش می‌یابد. داده‌های رسوب ایستگاه آستانه به پس از ساخت سد (۱۳۴۱-۱۳۴۰) برمی‌گردد و

نمی‌توان برای مقایسه میزان رسوب قبل و بعد از احداث سد استفاده کرد؛ اما داده‌های دبی از سال ۱۳۳۵-۱۳۳۶ موجود است که با وجود تعداد کم سال‌های دیده‌بانی، یکی از بالاترین دبی‌های ثبت‌شده در ایستگاه مذکور قبل از احداث سد در سال آبی ۱۳۳۸-۳۳۷ با ۱۳۵۸ متر مکعب بر ثانیه بالغ شده است که پس از آن تا کنون، تنها یک مورد سیلاب بیش از این میزان در منطقه رخ داده است که نشان از نقش کنترلی سد و انباشت رسوب در دریاچه پشت سد دارد (شکل ۶).

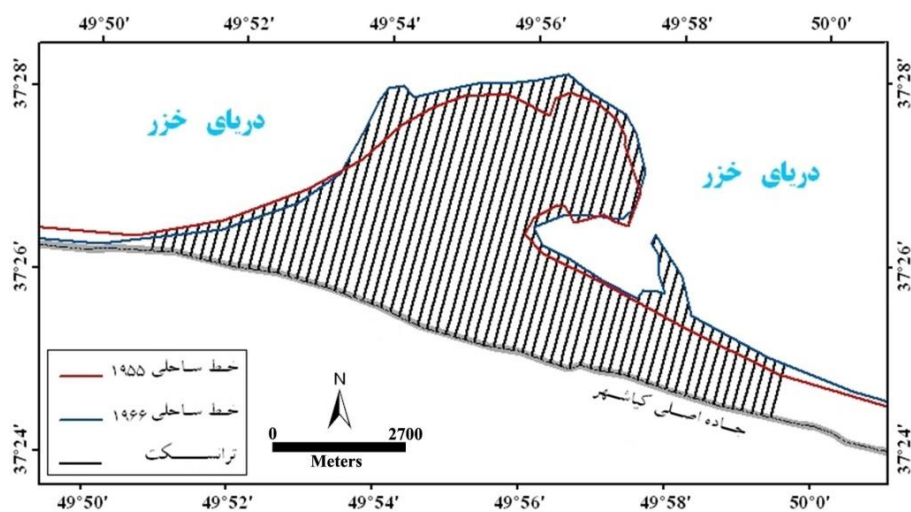


شکل ۶. نوسان میزان دبی بین سال‌های ۱۳۳۵-۱۳۴۴ در ایستگاه پل آستانه به متر مکعب بر ثانیه

جدول ۲. برش‌های عرضی مناطق سه‌گانه بین سال‌های ۱۹۵۵ تا ۱۹۶۶

زمان محاسبه تغییرات خط ساحلی	منطقه یک (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۱ تا ۱۳)							
	طول خط ساحلی (متر)	حداکثر پیشروی خط ساحلی (متر)	حداکثر پسروی خط ساحلی (متر)	مساحت پسروی نسبت به دوره قبل (کیلومتر مربع)	مساحت پیشروی نسبت به دوره قبل (کیلومتر مربع)	درصد تغییرات	مساحت قاعده دلتا (کیلومتر مربع)*	فاز کاوشی، تراکمی
۱۹۵۵/۰۹/۲۴	۲۸۲۹	---	---	---	---	---	۲/۱۲	---
۱۹۶۶	۲۴۷۵	۰	۱۸۵	۰/۴۱	۰	۲۴/۷	۱/۷	کاوشی
	منطقه دو (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۱۴ تا ۴۷)							
۱۹۵۵/۰۹/۲۴	۱۴۷۵۹	---	---	---	---	---	۲۶/۱۶	---
۱۹۶۶	۱۴۶۱۲	۷۵۷	۲۳۷	۰/۲۳	۲/۸۸	۹/۴	۲۸/۸	تراکمی
	منطقه سه (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۴۸ تا ۶۶)							
۱۹۵۵/۰۹/۲۴	۳۹۰۶	---	---	---	---	---	۴/۸	---
۱۹۶۶	۶۴۶۳	۱۳۵۹	۰	۰	۱/۳۷	۲۹/۶	۶/۲۲	تراکمی

\* مبنای محاسبه، سطح زیر منحنی بین خط ساحلی و خیابان اصلی شهر کیشهر در هر یک از دوره‌های زمانی است. انتخاب خیابان اصلی کیشهر، به دلیل ثابت بودن این خیابان نسبت به تغییرات خط ساحلی در دوره‌های مورد ارزیابی است.



شکل ۷. تغییر خط ساحلی دوره اول بین سال‌های ۱۹۵۵ تا ۱۹۶۶

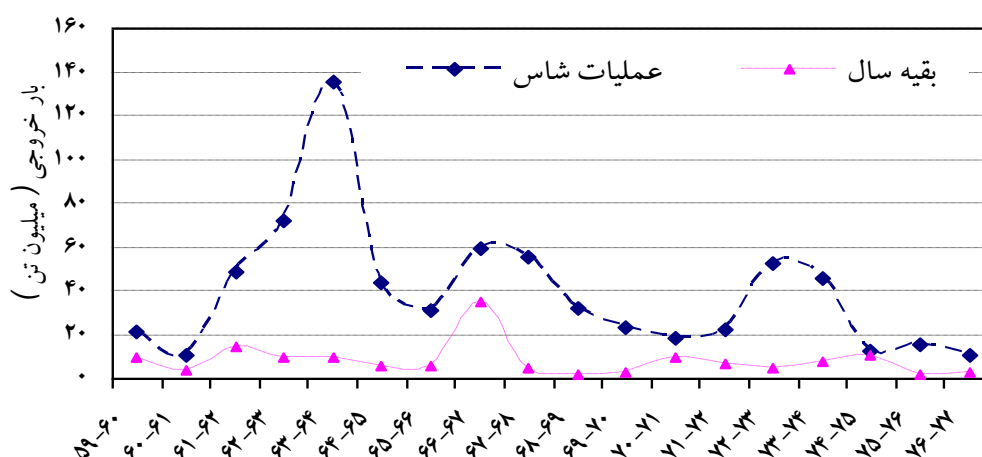
### دوره دوم با روند افزایشی تراز آب دریا

از سال ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۵ (۱۳۵۷ تا ۱۳۷۴) دوره دوم با روند صعودی و افزایش سطح آب نمایان می‌شود؛ به گونه‌ای که تراز آب دریا از  $۲۸/۶۴$  - در سال ۱۳۵۶ به  $۲۶/۰۸$  - در سال ۱۳۷۴ افزایش می‌یابد. طی این ۱۸ سال ارتفاع سطح آب دریا  $۲/۳۰$  متر افزایش نشان می‌دهد. بر همین اساس پیشروی آب دریا در سواحل ایران ۹۵۰ متر برآورد می‌شود (مرکز تحقیقات منابع آب دریای خزر، ۱۳۷۹).

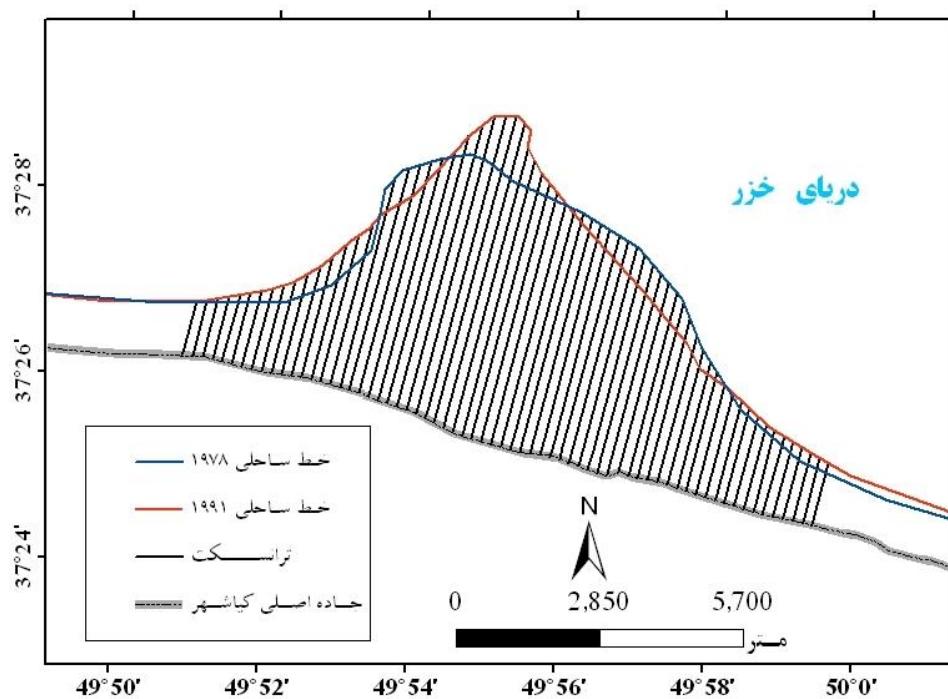
تصاویر ماهواره‌ای MSS و TM بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۱، برای سنجش تغییرات خط ساحلی در این دوره مورد بررسی قرار گرفته است. تغییر خط ساحلی در این دوره، تحت تأثیر عملیات فلاشینگ یا شاس<sup>۱</sup> است. طی این عملیات، رقومی‌سازی تصاویر این دوره و ایجاد برش‌های عرضی، نشان می‌دهد که طول خط ساحلی نسبت به دوره قبل در منطقه یک و دو افزایش و در منطقه سه کاهش یافته است و مجموع سطوح زیر منحنی مناطق سه‌گانه بین خط ساحلی و خیابان اصلی کیاشهر نسبت به سال ۱۹۶۶، به‌طور میانگین ۶ کیلومتر مربع افزایش داشته است (جدول ۳). خط ساحلی دریافتی از تصویر ۱۹۷۸، قاعده دلتا را قبل از عملیات شاس در محل و اطراف مصب رودخانه، به‌شکل نیم‌دایره‌ای نیمه‌متقارن نشان می‌دهد. این وضعیت با تغییر وضعیت مصب رودخانه به قسمت میانی قاعده دلتا و ایجاد عملیات شاس در منطقه دگرگون شده است (شکل ۹). در این دوره نقش سیلاب‌ها را نیز نمی‌توان از نظر دور داشت، به‌طوری که بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۸۷، سه سیلاب با دبی بالای ۱۰۰۰ متر مکعبی در ایستگاه پل آستانه به ثبت رسیده است که تغییر مسیر مصب رودخانه را بین دو تصویر مذکور توجیه می‌کند. پس از تغییر مسیر مصب رودخانه به سمت شمال، تصاویر سال ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱، خط ساحلی حالت پیکان نوک تیزی به خود می‌گیرد و در داخل دریا پیشرفت کرده است که

۱. به عملیات رسوب‌زدایی مخزن سد در زمان غیر آبیاری توسط جریان آزاد یا تحت فشار عملیات، شاس گویند که در اینجا منظور ما، عملیات شاس توسط جریان آزاد برای تخلیه رسوب‌های ورودی به مخزن سد است که از آبان ماه سال ۱۳۵۹ تا دی ماه ۱۳۷۶، همه‌ساله طی نیمه دوم سال در سد سفیدرود انجام شده است.

می‌تواند با حجم زیاد غلظت بار رسوبی در زمان عملیات شاس نسبت به بقیه سال، توجیه شود (شکل ۸ و جدول ۳). پس از جابه‌جایی دهانه سفیدرود از سمت غرب به جهت شمال در تصویر سال ۱۹۸۷ با تثبیت موقعیت دهانه و تغذیه مداوم رسوب‌های وارده به مصب با عملیات شاس، تأثیر امواج را تا حد زیادی کاهش داده و از نقش فرسایشی امواج کاسته است و بر پهنای باند ماسه‌ای در قاعده دلتا افزوده شده است.



شکل ۸. میزان بار خروجی طی عملیات شاس و بقیه سال (۱۳۵۹-۱۳۷۷)



شکل ۹. تغییر خط ساحلی دوره دوم بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۱

جدول ۳. برش‌های عرضی مناطق سه گانه بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۱

تغییرات خط ساحلی زمان محاسب	منطقه یک (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۱ تا ۱۳)							فاژ کاوشی، تراکمی
	طول خط ساحلی (متر)	حداکثر پیشروی خط ساحلی (متر)	حداکثر پسروی خط ساحلی (متر)	مساحت پیشروی نسبت به دوره قبل (کیلومتر مربع)	مساحت پیشروی نسبت به دوره قبل (کیلومتر مربع)	درصد تغییرات	مساحت قاعده دلتا (کیلومتر مربع) *	
۱۹۷۸/۰۷/۱۰	۲۶۱۸	۷۸۰	۰	۰	۱/۵۵	۸۸/۲	۳/۲	تراکمی
۱۹۸۷/۰۶/۱۰	۲۹۴۱	۳۳۹	۰	۰/۵۵	۰	۱۸/۷	۳/۸	تراکمی
۱۹۸۹/۰۵/۸	۲۹۰۶	۰	۲۱۸	۰/۳۳	۰	۸/۶	۳/۵	کاوشی
۱۹۸۹/۰۷/۲	۳۰۰۵	۱۳۰	۰	۰	۰/۳۳	۸/۶	۳/۸	تراکمی
۱۹۹۱/۰۶/۱۴	۲۹۴۰	۸۷	۸۲	۰/۰۴	۰/۱	۰	۳/۸	تراکمی
منطقه دو (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۱۴ تا ۴۷)								
۱۹۷۸/۰۷/۱۰	۹۳۵۴	۸۰۰	۸۸۲	۲/۱۸	۲/۶۶	۷/۳	۳۰/۹	تراکمی
۱۹۸۷/۰۶/۱۰	۹۹۶۷	۱۲۷۴	۴۴۲	۰/۸۳	۱/۷۲	۲/۹	۳۱/۸	تراکمی
۱۹۸۹/۰۵/۸	۱۰۴۰۳	۷۱۳	۳۶۳	۱/۱۷	۰/۷۷	۱/۳	۳۱/۴	کاوشی
۱۹۸۹/۰۷/۲	۱۰۴۲۵	۳۸۹	۰	۰	۱/۶۱	۵/۱	۳۳	تراکمی
۱۹۹۱/۰۶/۱۴	۹۹۶۹	۵۶۲	۵۶	۱/۷۸	۰/۰۱	۵/۸	۳۱/۲	کاوشی
منطقه سه (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۴۸ تا ۶۶)								
۱۹۷۸/۰۷/۱۰	۴۷۷۵	۵۲۳	۰	۰/۷۲	۰	۲۵/۴	۷/۸	تراکمی
۱۹۸۷/۰۶/۱۰	۴۶۳۳	۲۵۴	۰	۰	۰/۸۱	۱۰/۲	۸/۶	تراکمی
۱۹۸۹/۰۵/۸	۴۴۶۱	۰	۴۸۲	۰/۸	۰	۱۰/۲	۷/۸	کاوشی
۱۹۸۹/۰۷/۲	۴۴۳۷	۳۲۶	۰	۰	۰/۷۴	۹	۸/۵	تراکمی
۱۹۹۱/۰۶/۱۴	۴۲۸۳	۳۴۳	۰	۰/۷۶	۰	۹	۷/۸	کاوشی

\* مبنای محاسبه، سطح زیر منحنی بین خط ساحلی و خیابان اصلی کیشهر در هر یک از دوره‌های زمانی است.

### دوره سوم با روند کاهش تراز آب دریا

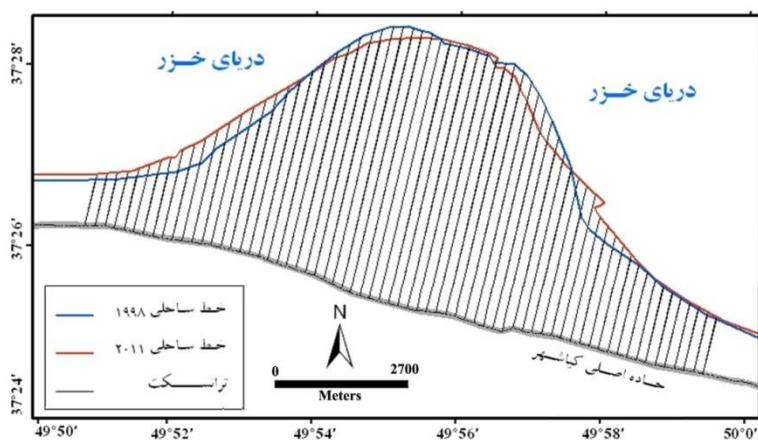
از سال ۱۹۹۵ (۱۳۷۴) با کاهش تراز آب دریا، روند کاهنده و پسروی دریا آغاز می‌شود که این روند تا کنون نیز ادامه دارد و با کاهش ارتفاع متوسط ۵ سانتی‌متری، در سال ۱۳۸۷ به ۲۶/۴۷- متر رسیده است.

از سال ۱۹۹۸ تاکنون، به دلیل مشکل کم‌آبی و خشکسالی عملیات شاس به صورت جریان آزاد متوقف شده است. با ایستادن این عملیات و تغییر مسیر مصب رودخانه به سمت شمال شرقی تحت تأثیر سیلاب‌های فصلی، خط ساحلی نیز از حالت نوک تیز به کمائی تغییر شکل داده است (شکل ۱۰). تصاویر ماهواره‌ای ETM و ETM+ بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱، برای محاسبه میزان تغییرات استفاده شده است. در تصویر سال ۱۹۹۸ با کاهش تراز آب دریا و ایست عملیات شاس نسبت به تصویر ۱۹۹۱، نوک دلتا تحت تأثیر امواج فرسایش یافته است؛ به گونه‌ای که بررسی برش‌های عرضی مناطق سه‌گانه، بر کاهش طول خط ساحلی در مناطق یک و دو و افزایش آن در منطقه سه حکایت دارد (جدول ۴). با جابه‌جایی دهانه رودخانه از قسمت شمالی به شرق قاعده دلتا، محل تجمع و هدایت رسوب تغییر یافته و قسمت‌های شمالی و غربی، به دلیل تدارک کم رسوب دچار فرسایش شده است و بر تراکم رسوب‌های شرق قاعده افزوده است.

جدول ۴. برش‌های عرضی مناطق سه گانه بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱

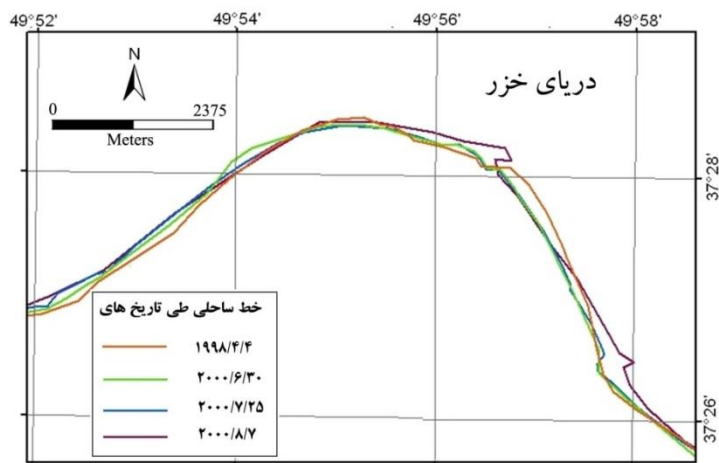
زمان محاسبه تغییرات خط ساحلی	منطقه یک (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۱ تا ۱۳)							
	طول خط ساحلی (متر)	حداکثر پیشروی خط ساحلی (متر)	حداکثر پسروی خط ساحلی (متر)	مساحت نسبت به دوره قبل (کیلومتر مربع)	مساحت نسبت به دوره قبل (کیلومتر مربع)	درصد تغییرات	مساحت قاعده دلتا (کیلومتر مربع) *	فاز کاوشی، تراکمی
۱۹۹۸/۰۴/۰۴	۲۸۷۵	۳۲۵	۰	۰/۶۹	۰	۲۲/۵	۳/۱	کاوشی
۲۰۰۰/۰۶/۳۰	۲۸۷۹	۰	۱۵۴	۰	۰/۱۵	۶/۴	۳/۳	تراکمی
۲۰۰۰/۰۷/۲۵	۲۶۸۹	۱۱۰	۰	۰	۰/۱۶	۶/۱	۳/۵	تراکمی
۲۰۰۰/۰۸/۰۷	۲۸۵۷	۱۸۵	۰	۰	۰/۲۱	۲/۸	۳/۶	تراکمی
۲۰۰۲/۰۸/۰۷	۲۹۰۹	۹۹	۰	۰	۰/۰۸	۲/۸	۳/۷	تراکمی
۲۰۰۵/۰۸/۱۵	۲۹۴۱	۳۸	۶۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰	۳/۷	تراکمی
۲۰۰۶/۰۷/۱۰	۲۹۵۴	۷۲	۲۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰	۳/۷	تراکمی
۲۰۰۷/۱۲/۱۳	۲۹۹۶	۱۹۸	۰	۰	۰/۳۷	۱۰/۸	۴/۱	تراکمی
۲۰۱۱/۰۷/۱۸	۲۹۵۹	۰	۱۵۹	۰/۲	۰	۵/۱	۳/۹	کاوشی
منطقه دو (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۱۴ تا ۴۷)								
۱۹۹۸/۰۴/۰۴	۹۰۴۲	۹۶۴	۹۴۷	۲/۱۸	۲/۴۱	۰/۹	۳۱/۵	تراکمی
۲۰۰۰/۰۶/۳۰	۸۸۷۵	۲۴۱	۲۱۲	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۴	۳۱/۴	کاوشی
۲۰۰۰/۰۷/۲۵	۸۸۳۵	۱۲۱	۱۰۹	۰/۱۳	۰/۱۴	۰	۳۱/۴	تراکمی
۲۰۰۰/۰۸/۰۷	۹۲۵۷	۱۰۸	۱۵۹	۰/۲۴	۰/۳۴	۰/۹	۳۱/۷	تراکمی
۲۰۰۲/۰۸/۰۷	۸۶۸۰	۱۳۰	۳۷۶	۰/۵۲	۰/۳۱	۰/۷	۳۱/۵	کاوشی
۲۰۰۵/۰۸/۱۵	۸۷۱۳	۱۸۱	۱۹۵	۰/۳۹	۰/۱۷	۰/۷	۳۱/۳	کاوشی
۲۰۰۶/۰۷/۱۰	۸۷۷۴	۳۰	۱۲۲	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۷	۳۱/۱	کاوشی
۲۰۰۷/۱۲/۱۳	۸۴۷۹	۲۳۰	۱۴۶	۰/۰۹	۰/۸۸	۲/۲	۳۱/۸	تراکمی
۲۰۱۱/۰۷/۱۸	۸۷۴۷	۱۰۷	۲۵۶	۱/۰۳	۰/۰۸	۲/۹	۳۰/۹	کاوشی
منطقه سه (محاسبه مجموع برش‌های عرضی شماره ۴۸ تا ۶۶)								
۱۹۹۸/۰۴/۰۴	۴۸۴۹	۱۹۵	۴۰۱	۰/۳۷	۰/۱۶	۲/۶	۷/۶	کاوشی
۲۰۰۰/۰۶/۳۰	۴۷۰۰	۱۲۲	۶۱	۰/۱۶	۰/۰۳	۲/۷	۷/۴	کاوشی
۲۰۰۰/۰۷/۲۵	۴۷۹۴	۸۵	۲۱	۰/۰۱	۰/۲۳	۴	۷/۷	تراکمی
۲۰۰۰/۰۸/۰۷	۴۹۰۲	۲۲۵	۰	۰	۰/۲	۶/۵	۸/۲	تراکمی
۲۰۰۲/۰۸/۰۷	۴۶۰۳	۰	۳۱۴	۰/۲۸	۰	۳/۸	۷/۹	کاوشی
۲۰۰۵/۰۸/۱۵	۴۵۸۷	۲۹۴	۰	۰/۰۱	۰/۲۵	۲/۵	۸/۱	تراکمی
۲۰۰۶/۰۷/۱۰	۴۷۰۶	۱۷۷	۸۸	۰/۱۲	۰/۰۴	۰	۸/۱	کاوشی
۲۰۰۷/۱۲/۱۳	۴۹۴۰	۱۳۲	۱۷۹	۰/۰۴	۰/۳۱	۲/۵	۸/۳	تراکمی
۲۰۱۱/۰۷/۱۸	۴۸۱۰	۶۸	۱۱۰	۰/۱۷	۰/۰۵	۱/۲	۸/۲	کاوشی

\* مبنای محاسبه، سطح زیر منحنی بین خط ساحلی و خیابان اصلی کیشهر در هر یک از دوره‌های زمانی است.



شکل ۱۰. تغییر خط ساحلی دوره سوم بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱

همچنین نمی‌توان نقشی برای طوفان‌های دریایی در تغییر شکل خط ساحلی قاعده دلتای سفیدرود قائل نبود. طوفان‌های دریایی با سرعت بالای ۱۰ متر بر ثانیه، قادر به جابه‌جایی حجم کلانی از ماسه در خط ساحلی بوده که در هندسه دلتا در دوره‌های مختلف زمانی، تغییرات زیادی را ایجاد کرده است. برای مثال سه تصویر از ماه‌های ژوئن، جولای و اوت سال ۲۰۰۰، به همراه تصویر سال ۱۹۹۸، برای بررسی نقش طوفان‌های دریایی انتخاب شده است (شکل ۱۱). برش‌های عرضی مناطق سه‌گانه بر کاهش طول خط ساحلی در بازه یک و افزایش آن در بازه دو و سه دلالت دارد (جدول ۴) و بیشترین تغییرات خط ساحلی در قسمت‌های میانی و شرقی قاعده دلتا رخ داده است که با جهت حرکت غالب طوفان‌های ثبت شده در ایستگاه انزلی همخوانی دارد (جدول ۵). از سویی طی سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۰۰، حداکثر سیلاب با دبی ۴۲۱ متر مکعب بر ثانیه در ایستگاه آستانه ثبت شده است و چنین سیلاب‌هایی، نمی‌تواند در تغییر سریع خط ساحلی سال‌های مذکور مؤثر باشد. این تغییرات به دلیل عدم تأثیر متغیرهای دیگر در این فاصله زمانی، تنها با امواج زنده و دوراً برآمده از طوفان با جهت شمال و شمال غرب در سال ۲۰۰۰ توجیه‌پذیر است.



شکل ۱۱. تغییرات خط ساحلی طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰

جدول ۵. میانگین حداکثر بادهای سریع بر حسب متر بر ثانیه در نُه ماهه اول سال ۲۰۰۰ ایستگاه انزلی

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت
جهت (درجه)	۱۰	۳۴۰	۳۳۰	۳۴۰	۳۶۰	۳۳۰	۳۶۰	۳۶۰
سرعت (متر بر ثانیه)	۲۵	۳۱	۱۹	۱۹	۲۳	۱۹	۱۷	۲۱
روز	۲۳	۲۶	۸	۲۱	۹	۳۰	۲	۲۹

## بحث و نتیجه‌گیری

تغییر هندسه خط ساحلی در ارتباط با فرایندهای متأثر از خشکی و در تعامل با فرایندهای دریایی شکل می‌گیرد. بررسی خطوط مستخرج از رقوم‌سازی تصاویر نشان می‌دهد، بیشترین تغییر در خط ساحلی در دوره ۱۹۵۵ تا ۱۹۶۶ رخ می‌دهد، این در حالی است که بخش بسیاری از این تغییرات باید پیش از احداث سد سفیدرود (سال ۱۹۶۲-۱۹۶۱) در خط ساحلی ایجاد شده باشد. علت این امر را می‌توان در میزان دبی و رسوب رودخانه قبل و بعد از احداث سد جست‌وجو کرد. بعد از این دوره بیشترین تغییر در خط ساحلی، به زمان انجام عملیات شاس بین سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۸۱ برمی‌گردد. تصاویر سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۸ گویای این تغییر است. رسوب ورودی به مخزن سد سالانه ۴۸ میلیون تن بوده که در حالت عادی، سالانه ۱۴ میلیون تن از دریچه‌های سد به سمت پایین رود روانه می‌شود (طلوعی<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹). طی این عملیات، در مجموع افزون‌بر ۷۱۵ میلیون تن رسوب (میانگین سالانه ۳۹/۶ میلیون تن)، از سد خارج شده است که در مقابل جریان عادی رسوب، رقم بسیار بالایی بوده که در شکل‌زایی خط ساحلی تأثیر بسزایی داشته است. طی این دوره قاعده دلتای سفیدرود به شکل نوک پرنده تغییر شکل داده است. میانگین اندازه‌گیری عرضی از جاده اصلی کیشهر تا رأس دلتا، حاکی از گسترش بیش از ۴۳۵ متری دلتا در دریا نسبت به دوره‌های قبل و بعد از عملیات شاس است و دلتاسازی با سرعت ۲۶ متر در سال را طی دوره ۱۹۹۸-۱۹۸۱ نشان می‌دهد. اهمیت این موضوع زمانی روشن می‌شود که با روند فزاینده آب دریا، فرسایش قاعده دلتا در حال افزایش بوده است، به گونه‌ای که در دلتای رود کورای جمهوری آذربایجان، سالانه ۱۵-۱۰ متر پسروی دلتا به ثبت رسیده است (کاپلین<sup>۲</sup>، ۱۹۹۵). میزان دلتاسازی در دوره پیش از عملیات شاس در سال‌های ۱۹۷۸-۱۹۵۵، به ۱۹ متر در سال<sup>۳</sup> رسیده است. این روند دلتاسازی، کمابیش با یافته‌های (کوثری، ۱۳۷۲) برای دوره‌ی ۱۹۸۲-۱۹۵۰ با پیشروی سالانه بیش از ۱۵-۱۰ متر در دریای خزر مطابقت دارد. نرخ پیشروی دلتا برای دوره بعد از عملیات شاس بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ به نُه متر در سال کاهش یافته است که با توقف عملیات شاس و انباشت رسوب در مخزن سد سفیدرود مرتبط است.

در دوره‌های زمانی، هر اندازه که میزان تغییر دهانه رودخانه در راستای عرضی قاعده دلتا بیشتر باشد تغییرات و بی‌نظمی در شکل خط ساحلی بیشتر خواهد شد و با تثبیت محل دهانه برای مدت طولانی، شاهد افزایش پهنای باند

1. Tolouei

2. Kapline

۳. دلیل افزایش دلتاسازی در این دوره را باید در میزان بسیار بالای رسوب خروجی از رودخانه به دریا قبل از احداث سد سفیدرود (تا سال ۱۹۶۲) جست‌وجو کرد.



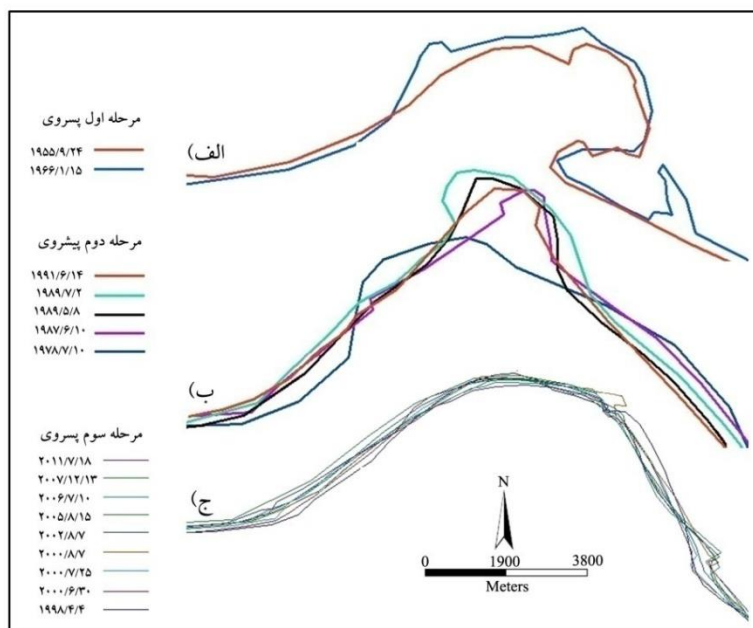
ماسه‌ای در قاعده دلتا خواهیم بود. در عکس‌های هوایی سال‌های ۱۹۵۵ و ۱۹۶۶، به همراه تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۷۸، ۱۹۸۷ و ۱۹۹۸ که در آنها تغییر مسیر و جابه‌جایی مصب رودخانه از شرق به غرب قاعده دلتا رخ داده است، تغییرات در خط ساحلی بسیار زیاد است. گفتنی است، برخی از نقاط در خط ساحلی به صورت نقاط بحرانی جلوه می‌کند، این نقاط علاوه بر مصب جدید و قدیم رودخانه سفیدرود، در مصب شاخه‌های فرعی رودخانه نیز به وضوح دیده می‌شود که می‌توان این مناطق را به صورت نقاط بحرانی با نگاهی ویژه نگریست.

جدول ۶. نتایج عملیات رسوب‌زدایی سد سفیدرود در دوره ۱۳۷۷-۱۳۵۹<sup>۱</sup>

سال آبی	زمان رسوب‌زدایی		طول دوره عملیات (روز)	آب خروجی (میلیون متر مکعب)		بار خروجی (میلیون تن)		غلظت بار خروجی (گرم در لیتر)	
	شروع	خاتمه		بقیه سال	شاس	بقیه سال	شاس	بقیه سال	شاس
۱۳۵۹-۱۳۶۰	۵۹/۸/۱۱	۵۹/۱۰/۱۱	۶۰	۵۳۶	۴۹۲۶	۲۱/۳۰	۹/۹۰	۳۹/۷۰	۲
۱۳۶۰-۱۳۶۱	۶۰/۸/۹	۶۰/۹/۱۳	۶۴	۳۹۰	۳۱۵۴	۱۰/۳۰	۳/۸۰	۲۶/۳۰	۱/۲۰
۱۳۶۱-۱۳۶۲	۶۱/۷/۱۱	۶۱/۱۱/۱۷	۱۲۰	۱۵۱۳	۴۳۶۵	۴۸/۸۰	۱۴/۸۰	۳۲/۳۰	۳/۴۰
۱۳۶۲-۱۳۶۳	۶۲/۸/۱۱	۶۲/۱۱/۱۶	۹۵	۱۰۱۷	۳۷۴۷	۷۲/۵۰	۱۰/۲۰	۷۱/۳۰	۳/۷۰
۱۳۶۳-۱۳۶۴	۶۳/۶/۱	۶۳/۱۱/۲۱	۱۷۰	۱۶۰۶	۴۵۶۴	۱۳۵/۳۰	۹/۸۰	۸۴/۲۰	۲/۱۰
۱۳۶۴-۱۳۶۵	۶۴/۷/۱	۶۴/۱۱/۲۳	۱۴۲	۱۰۸۴	۳۰۱۹	۴۳/۸۰	۵/۹۰	۴۰/۴۰	۱/۹۰
۱۳۶۵-۱۳۶۶	۶۵/۸/۱۳	۶۵/۱۱/۲۴	۱۰۱	۹۷۸	۲۹۰۲	۳۱/۶۰	۵/۶۰	۳۲/۲۰	۱/۹۰
۱۳۶۶-۱۳۶۷	۶۶/۸/۴	۶۶/۱۱/۲۳	۱۰۹	۱۸۱۲	۶۵۷۷	۵۹/۱۰	۳۵/۳۰	۳۲/۶۰	۳/۹۰
۱۳۶۷-۱۳۶۸	۶۷/۷/۲۳	۶۷/۱۱/۲۵	۱۲۲	۱۰۵۷	۲۶۳۶	۵۵/۲۰	۴/۷۰	۵۲/۳۰	۱/۸۰
۱۳۶۸-۱۳۶۹	۶۸/۷/۱۰	۶۸/۱۰/۲۷	۱۰۷	۶۸۱	۲۸۲۷	۳۱/۹۰	۱/۵۰	۴۶/۹۰	۰/۵
۱۳۶۹-۱۳۷۰	۶۹/۶/۲۹	۶۹/۱۱/۱۶	۱۳۷	۶۶۴	۲۴۷۳	۲۳/۳۰	۳/۲۰	۳۱/۲۰	۱/۳۰
۱۳۷۰-۱۳۷۱	۷۰/۷/۱۳	۷۰/۱۱/۲	۱۰۹	۶۶۴	۴۷۹۶	۱۸/۶۰	۹/۳۰	۲۸	۱/۹۰
۱۳۷۱-۱۳۷۲	۷۱/۹/۲۵	۷۱/۱۱/۱۴	۴۹	۶۰۵	۳۹۹۶	۲۲/۲۰	۶/۹۰	۳۶/۷۰	۱/۷۰
۱۳۷۲-۱۳۷۳	۷۲/۷/۱۲	۷۲/۱۱/۱۰	۱۱۸	۲۳۲۱	۵۴۴۷	۵۲/۹۰	۵	۲۲	۱/۱۰
۱۳۷۳-۱۳۷۴	۷۳/۸/۱۴	۷۳/۱۱/۱۵	۹۱	۲۱۳۶	۴۴۸۹	۴۶/۱۰	۷/۷۰	۲۱/۸۰	۱
۱۳۷۴-۱۳۷۵	۷۴/۸/۲۱	۷۴/۱۱/۳۰	۹۹	۸۱۲	۴۷۰۳	۱۲/۵۰	۱۰/۳۰	۱۴/۳۰	۱/۵۰
۱۳۷۵-۱۳۷۶	۷۵/۷/۲۵	۷۵/۱۱/۱۶	۱۱۱	۸۶۷	۱۸۱۵	۱۵/۹۰	۲/۱۰	۱۸/۱۰	۱/۴۰
۱۳۷۶-۱۳۷۷	۷۶/۸/۱۱	۷۶/۱۰/۱۲	۶۱	۳۷۴	۳۸۲۳	۱۱	۳/۴۰	۲۱/۸۰	--
میانگین				۱۰۶۲	۳۹۰۳	۳۹/۵۷	۸/۵۹	۳۶/۲۳	۱/۹۰

منبع: مرکز تحقیقات آب ۱۳۷۸، به نقل از خوش رفتار ۱۳۸۴: ۲۲۳.

۱. از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۹ به دلیل خشکسالی و پُر نشدن ظرفیت آب مخزن سد، این عملیات متوقف شده بود. در حال حاضر با آب‌گیری دوباره مخزن سد، برنامه‌ریزی برای انجام مجدد عملیات شاس در نیمه دوم سال ۱۳۹۱ انجام شده است.



شکل ۱۲. تغییرات سریع خط ساحلی قاعده دلتای سفیدرود بین سال‌های ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۱

## منابع

- امین سبحانی، ا. (۱۳۷۰). تحولات سفیدرود در یکصدسال اخیر، مجموعه مقالات هفتمین کنگره جغرافیایی ایران، جلد اول، به کوشش رحیم مشیری و رحمت ... فرهودی، انتشارات دانشگاه تهران.
- براحی، ف.؛ وفایی، ف. و غریب، م.ر. (۱۳۸۵). بررسی تغییرات خطوط ساحلی دلتای رودخان > جگین با استفاده از GIS، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸ تا ۲۰ اردیبهشت ماه.
- پالوسکا، آ.د.؛ ائون، ت. (۱۳۷۱). زمین‌شناسی کواترنر کرانه‌های دریای خزر، ترجمه مصطفی شهبابی، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
- خوش رفتار. ر. (۱۳۸۴). تکامل ژئومورفولوژیکی دلتای سفیدرود، پایان‌نامه دکترای جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- رحیمی پور انارکی، ح. (۱۳۷۷). تحلیلی بر روند تغییرات خط ساحلی دریای خزر در مجاورت سفیدرود. مجموعه مقالات سومین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. جلد دوم، آذر ماه ۱۳۷۷، تهران.
- سازمان تحقیقات و بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور (تماب - جاماب)، آمار دبی و رسوب ایستگاه رودخانه‌ای پل آستانه، سال‌های ۱۳۴۳ تا ۱۳۸۷.
- سازمان جغرافیایی کشور، تصاویر ماهواره‌ای TM، ETM+ و ETM سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۱.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ و ۱۳۴۶ قاعده دلتای سفیدرود.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ برگ‌های گیان‌شهر، زیباکنار و بندر انزلی.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱/۵۰۰۰۰۰ برگ‌های گیان‌شهر و لسکوکلایه.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ برگ رشت.

سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ برگ قزوین - رشت و ۱/۱۰۰۰۰۰۰ برگ لنگرود و رشت.

سازمان نقشه برداری کشور (۱۳۸۷-۱۳۰۵). آمار ایستگاه آبنگاری انزلی، نوسانات سطح آب دریای خزر.

سازمان نقشه برداری کشور، عکس های هوایی سال ۱۳۴۵ قاعده دلتای سفیدرود.

سازمان هواشناسی کشور، آمار باد ایستگاه هواشناسی سینوپتیک انزلی، سال های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۹.

کوثری، س. (۱۳۶۵). تکامل دلتای سفیدرود و راهنمای بازدید از منطقه، رشد آموزش زمین شناسی، سال ۲، شماره ۷، صص. ۳۲-۲۵.

کوثری، س. (۱۳۷۲). گسترش دلتای سفیدرود، خلاصه مقالات اولین سمینار بیلان و رژیم تغییرات سطح آب دریای خزر، رامسر ۱۷-۱۹ مهرماه.

مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر. (۱۳۷۹). منطقه خزر در قرن بیستم، مقالات مجله وستنیک کاسپیا، چاپ مسکو، <http://www.csnrc.ir>

واروپایف، س. و همکاران. (۱۹۹۸). دلتاهای رودخانه ای دریای خزر، مرکز مطالعات و تحقیقات منابع آب دریای خزر.

وزارت نیرو، مرکز تحقیقات آب. (۱۳۸۷). نتایج عملیات رسوب زدایی سد سفیدرود در دوره ۱۳۷۷-۱۳۵۹.

Abam, T.K.S., 1999, **Impact of Dam on the Hydrology of the Niger Delta**, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 57, No. 3, PP. 23-251.

Aminsobhani, A., 1991, **Sefidrud Changes in the Last Hundred Years**, Proceedings of the Seventh Congress of the Iranian Geographers, Vol. 1, To Try R. Moshiri & R. Farhoodi, University of Tehran.

Barakhasy, F., Vafae, F. & Gharib, M. R., 2006, **Changes in River Delta Coastline of Jagin River Delta by Using GIS**, 7<sup>th</sup> International Congress on Civil Engineering, Tarbiat Modarres University, 18 to 20 May.

Barzegar, F., Mokaberi, A., 1988, **Recent Development of the Sefidrood Delta**, Iranian Remote Sensing Center, Tehran, Iran.

Dolan, R., Fenster, M.S., and Holme, S.J., 1991, **Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion**, Journal of Coastal Research, Vol. 7, No. 3, PP. 723-744.

Geological Organization of Iran, **Geological Map 1: 250000 of Rasht - Qazvin Sheet & 1:100000 Langerood and Rasht Sheets**.

IR. Iran Ministry of Defence, **Satellite Images TM, ETM and ETM + Years 1978 to 2011**.

IR., Iran Ministry of Defence, **The Aerial Photos of Sefidrud Delta for 1955 & 1967**.

IR., Iran Ministry of Defence, **Topographic Maps 1: 250000 Scale of Zibakenar, Kiyashahr & Bandar- Anzali Sheets**.

IR., Iran Ministry of Defence, **Topographic Maps 1: 50000 Scale of Zibakenar & Leskokelayeh Sheets**.

IR., Iran Ministry of Defence, **Topographic Maps 1: 250000 Scale of Rasht Sheet**.

Kakroodi, A.A., Kroonenberg, S.B., Mohamad Khani, H., Yamani, M., Ghasemi, M.R., 2010, **Rapid Holocene Sea-level Changes along the Iranian Caspian Coast**, Proceedings of the International Conference, 14-16 Oct, 2010, Moscow.

- Kaplin, P.A., Selivanov, A.O., 1995, **Recent Coastal Evolution of the Caspian Sea as a Natural Model for Coastal Responses to the Possible Acceleration of Global Sea Rise**, Marine Geology, Vol. 124, No. 1-4, PP. 161-175.
- Khoshraftar, R., 2005, **The Geomorphological Evolution of Sefidrud Delta**, Geography Ph.D Thesis, Faculty of Geography, University of Tehran.
- Khoshravan, H., 2007, **Beach Sediments, Morphodynamics, and Risk Assessment, Caspian Sea Coast, Iran**, Quaternary International, Vol. 167-168, PP. 35-39.
- Kousari, S., 1986, **The Evolution of Sefidrud Delta and Guide to Visit of Region**, Roshd Education Magazine, Geological Volume, Vol. 2, No. 7, PP. 25-32.
- Kousari, S., 1993, **Delta Sefidrud Expansion, The Abstract of the First Conference of Caspian Sea Water Balance and Regime of Sea Level Changes**, Ramsar, October 19-17.
- Krasnozhon, G.F., Lahijani, H., Voropayev, G.V., 1999, **Sefidrud Delta Evolution from Space Images of the Caspian Coast of Iran**, Earth Research from Space 1, PP. 105-111. (*in Russian*)
- Ministry of Energy. Water Research Centre, 2008, **Results of Operations in the Period of Sefidrud Sediment Dam 1998-1908**.
- National Cartographic Centre 1926-2008, **The Data of Hydrographic Station of Anzali, About Sea Level Changes of Caspian Sea**.
- National Cartographic Centre, **The Aerial Photos of Sefidrud Delta for 1966**.
- Organization of Research and Update the Water Master Plan (TAMAB - JAMAB), **The Data of River Discharge and Sediment of Pole Astaneh**, The Years 1964 to 2008.
- Palovska, A. D., Ion, D., 1992, **Quaternary geology of the Caspian Sea coast, M. Shahrabi Translation**, Vol. 1, Geological Organization of Iran, Tehran.
- Pethick, J., 1991, **An Introduction to Coastal Geomorphology**, Fifth Impression, Rutledge, Chapman and Hall, Inc.
- Rahimpour Anaraki, H., 1998, **Analysis of Changes in the Vicinity of the Caspian Sea Coastline in Sefidrud Area**, Proceedings of the Third International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures. Vol. 2, Tehran.
- The Center of Water Resources Researches of Caspian Sea, 2000, **Caspian Region in the 20th Century**, Westnik Caspia Journal, Published in Moscow, <http://www.csnrc.ir>.
- The Meteorological Organization of Iran, **The Wind Data of Anzali Synoptic Station, 1951 – 2009**.
- Thieler, E.R., Rodriguez, R.W. and Carlo, M., 1995, **Beach Erosion and Coastal Development at Rincón**, Puerto Rico, Shore and Beach, Vol. 63, No. 4, PP.18-28.
- Tolouei, E., 1989, **Reservoir Sedimentation and Desiltation**, M.Sc. Thesis, University of Birmingham, U.K.
- Voropayv, S. and et al. 1998, **River deltas of the Caspian Sea**, Caspian Sea, Water Resources Research Center.
- Wesswling, F., and et al., 2002, **Establishing Holocene Sea Level in the Caspian Sea Using Combined Molluscan Bathymetry and Isotope Geochemistry**, Now Workshop Holocene Caspian Sea Level Change. 21-22 October.

*Fast Shoreline Changes in Sefidrud Delta Using Transects  
Analyses Method*

**Yamani M. \***

Associate Prof., Faculty of Geography, University of Tehran

**Moghimi E.**

Professor, Faculty of Geography, University of Tehran

**Motamed A.**

Professor of Geology, Faculty of Science, University of Tehran

**Jafarbeglo M.**

Assistant Prof., Faculty of Geography, University of Tehran

**Lorestani Gh.**

Assistant Prof., Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran

Received: 15/05/2012

Accepted: 16/10/2012

**Extended Abstract**

**Introduction**

Sustainable management requires knowledge and a good understanding about processes of shoreline changes. Shoreline change detection can ensure health of beach areas. The study area is located in the coastline of the Caspian Sea in an approximate length about 15 km in Sefidrud Delta. Delta Sefidrud have been formed in different periods that experienced symmetrical or semi-symmetric and asymmetric morphologies on the shoreline. General currents of the Caspian Sea have a west to east direction. Sea dynamics in the direction and sediment movement have the greatest impact on the shoreline. Hence, the shoreline should always be oriented towards the estuary of East River Delta, while aerial photography and satellite imagery shows something contrary. Thus, in addition of waves and the coastal currents dynamics no changes have occurred along this direction during the Holocene, so, some other factors may contribute to forming of the delta with periodical differences in geometry. Therefore, contribution of these

factors should be characterized in the present curvature of the shoreline. The purpose of this study is to evaluate variables influencing rapid changes and dynamics of coastline over the last sixty years.

### **Methodology**

To achieve the purpose of this research, some data including sediment discharge from rivers, wind and sea level change statistics, aerial photos, topographic maps and satellite images in several times have been used as the material of the research. Methodology of the work is based on transects in three separate portions. To do this, after atmospheric and geometric corrections of Landsat images and aerial photos in ENVI software, the images were processed for better visualization and interpretations. The images, then, have been imported into ArcGIS 9.3 software. The shoreline positions have been separately extracted from each of the images as distinct layer files. Given longitudinal and transverse movement of the shoreline, Kiashahr main road position, without any changes during this period, has been taken as constant milestone in a separate layer to measure rate of progress and retreat in the shoreline. The changes have been calculated relative to the main road. The entire shoreline is divided into three regions in the delta basal. With overlay of the images on the coastline, erosion analysis and sedimentation in the Sefidrud Delta base during the period 2011-1955, the contributing factors have been measured for each of the three regions of shoreline.

### **Results and Discussion**

The results show that in the first period there has been a decrease in sea level changes. With the displacement of river along the course from the east to the west of Sefidrud Delta basal, drastic changes have occurred in the curve of the coastline. The changes have occurred in the two periods before and after the construction of SefidRood Dam. Shoreline changes in the second period with an increasing trend of sea level are dominated by the Shas operations. With creation of transects in this term, it is specified that coastline compared to the previous period has increased in the first and second zones and is reduced in the third. With reduction in sea level during the third period, Shas operations have been stopped and the top part of the delta has been eroded under the influence of waves.

### **Conclusion**

The results indicate that changes in the rate of sediment output from Sefidrud Dam with Shas operations have the greatest impact on the delta basal to account for the rapid changes in shoreline. Aggradation during Shas operations has been recorded with average speed of 26 m per year (1998-1981). This shows a significant difference in acceleration of shoreline change in 19 m per year before the Shas operations and 9 m per year after the operations. Hurricanes can also play an important role in the changing shoreline occasionally. In the time periods, river mouth has more changes within the delta base. More changes have been related to the changes

and irregularities in the shape of the coastline. With a fixed location in the mouth for a long time, sand bandwidth will be increased in the delta base. In aerial photos of 1955 and 1966 in addition of satellite images of the 1978, 1987 and 1998, when the changes have occurred in direction and movement from East to West of river estuary delta base, the changes is measured to be very high in the shoreline. It should be noted that in some parts of the shoreline there appears to be some critical points. The addition of new and old river estuary of Sefidrud, tributaries in the river estuary are also clearly visible. These areas as critical points can be viewed with a special look.

***Keywords: Caspian Sea, Shoreline Changes, Sefidrud Delta, Floods, Shas.***