

شبیه‌سازی دینامیک امواج و انتقال ماسه در سواحل دریای خزر (محدوده خلیج گرگان)

همت ا... رورده - استادیار دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران
قاسم لرهستانی* - استادیار دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران
فاطمه اعتمادی - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران
ساره ولی خانی - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۸/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۵/۲۵

چکیده

ماسه‌های ساحلی، عموماً منشأ رودخانه‌ای داشته و تحت تأثیر دینامیک امواج و حرکات آب دریا، در طول خط ساحلی توزیع می‌شوند. رودخانه‌های سفیدرود، هراز، بابلرود، تجن و گرگانرود، سهم عمده‌ای در تدارک رسوب به دریای خزر در سواحل خزر جنوبی دارند. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، بخش جنوب شرق دریای خزر، در محدوده خلیج گرگان با بیش از ۶۰ کیلومتر طول است. هدف از این پژوهش بررسی راستای امواج غالب و نحوه تولید جریان در امتداد ساحل است که در نهایت بر توزیع ذرات ماسه در طول خط ساحلی مؤثر است. برای دستیابی به این هدف، از داده‌های باد امواج و نیز نقشه‌های توپوگرافی و عمق‌سنجی که ابزار و داده‌های اصلی پژوهش به‌شمار می‌روند، استفاده شده است. با بهره‌مندی از داده‌های باد و امواج، به ترتیب گلبادها و گل‌موج‌های محدوده پژوهش ترسیم و با توجه به راستا و فراوانی امواج، مدل‌سازی امواج در نرم‌افزار مایک ۲۱ انجام شد. در ادامه، داده‌های امواج برای تولید مدل جریان‌های موازی ساحل در منطقه شکست مورد استفاده قرار گرفتند و در نهایت، مدل‌سازی انتقال ماسه در خط ساحلی تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد که راستای غالب امواج از جهات شمال غرب، موجب توزیع و جابه‌جایی ماسه‌ها به سمت شرق شده است. توسعه و عریض شدن زبانه ماسه‌ای میانکاله به سمت شرق و ایجاد خلیج گرگان در پشت زبانه ماسه‌ای مذکور با برآیند تولید و توزیع رسوب در راستای غرب به شرق، در مدل نرم‌افزاری مایک ۲۱ برازش نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: انتقال ماسه، جریان ساحلی، دریای خزر، دینامیک دریا، موج.

مقدمه

مرداب‌ها و خلیج‌های حاشیة خزر که تحت سه فرایند اصلی انتقال طولی رسوب ساحلی، افزایش تراز آب دریا و ساختارهای تاقدیس و ناودیس شکل گرفته‌اند (لئونتیف، ۱۹۷۷)، محیط‌های گذر از خشکی به دریا شمرده می‌شوند. این محیط‌ها که به‌وسیله زبانه‌های ماسه‌ای یا عوارض ساختاری به‌صورت نیمه‌بسته در آمده‌اند، محیطی نسبتاً کم‌انرژی برای رسوب‌گذاری فراهم می‌کنند (لیدف، ۱۹۸۸). از این رو، ضمن تأثیر از محیط دریایی، از حوضه آبریز و سواحل پیرامونی نیز تأثیر می‌پذیرد. اگرچه خلیج گرگان در گوشه جنوب شرقی دریای خزر با سوابق طولانی تاریخی قرار گرفته است (رواسانی، ۱۳۷۲)؛ ولی با وجود این سوابق، نخستین مطالعات زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی آن در اواسط سده بیستم منتشر شد (زنکوویچ، ۱۹۵۷؛ معتمد، ۱۳۴۸).

از موضوعات مهم در مهندسی و طراحی سازه‌های ساحلی و موج‌شکن‌ها، آگاهی از راستا و حجم نقل و انتقال ذرات ماسه، به‌وسیله موج و جریان‌های ساحلی در امتداد خط ساحلی است. بنابراین به‌واسطه اهمیت موضوع و تأثیر این پدیده بر فعالیت‌های انسانی و اقتصادی، مطالعات بی‌شماری در سطح جهانی انجام گرفته است. در سیر روبه‌پیشرفت مطالعه فرایند دینامیک امواج و نحوه انتقال رسوب، می‌توان به مطالعات انجام‌شده سورداپ و مانک (۱۹۴۷)، هاسلمن (۱۹۸۵: ۶۹)، اشنايدر، دابسون، لیوت و لانگ (۱۹۸۱: ۲)، کومن، کاولری، دونلان، هسلمن و جانسن (۱۹۹۴: ۲۳۳) اشاره کرد که به روند تکامل مدل‌سازی موج و پیش‌بینی نحوه برخورد امواج با ساحل کمک شایانی کردند. دیویز، ریرینک، تمپرویل و زیسرمن (۱۹۹۷) با استفاده از چهار مدل در محیط آزمایشگاهی، به مقایسه نحوه انتقال رسوب معلق و بار بستر در شرایط اقیانوسی پرداختند و درنهایت، چگونگی حرکت رسوبات را به‌صورت مدل‌های ریاضی بیان کردند. ساودرا، لویز و مارونز (۲۰۰۳) در رودخانه متأثر از جزرومد سان‌خوان^۱ ونزوئلا، از مدل جاروی دوطرفه برای حل معادلات هیدرولیک جریان استفاده کردند و عملکرد این مدل را در تشریح رفتار رودخانه به‌هنگام جزرومد، بسیار خوب ارزیابی کردند.

دیوید، هانتلی و دیویدسون (۲۰۰۳) مدل هیدرودینامیک مایک ۲۱^۲ را در محدوده‌ای به‌وسعت ۲ کیلومتر از کانال رودخانه و ۱۴ کیلومتر از خلیج تیگنموت انگلستان اجرا کردند. نتیجه تحلیل حساسیت پس از واسنجی برنامه، خطای بسیار کم مدل را در شبیه‌سازی و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد.

فرنچ و کرپر (۲۰۰۴) با استفاده از نرم‌افزار مایک به بررسی کنترل شوری آب دریا در خلیج تد پرداخته و با استفاده از داده‌های در دسترس، کنترل شوری را عاملی در بهبود محیط زیست گیاهی محدوده خلیج تد ارزیابی کردند.

پیترسون و راسچ (۲۰۰۵) با مدل‌سازی امواج حاصل از زلزله که منجر به سونامی در سواحل شمالی سوماترای اندونزی شده بود، به بررسی چگونگی ایجاد امواج حاصل از ارتعاش زمین و شبیه‌سازی سه‌بعدی آن در نرم‌افزار مایک ۲۱ پرداختند و نحوه عمل امواج و شیوه برخورد آن با سواحل مذکور را مورد ارزیابی قرار دادند.

مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران از سوی سازمان بنادر و دریانوردی در سال ۱۳۸۷، از نخستین کارهایی است که در ایران انجام شده است. در این مطالعه با مکان‌یابی بویه امیرآباد نکا، نوشهر و انزلی، داده‌های مورد نیاز مدل‌سازی امواج

1. San Juan

2. Mike21

در دریای خزر جمع‌آوری شد و سپس با استفاده از مدل‌های نرم‌افزاری، به محاسبه موج ناشی از میدان باد گسترده روی دریای خزر پرداخته شده است. نتایج این پژوهش در سال ۱۳۸۷ در دو جلد انتشار یافت. گفتنی است، مطالعاتی که از سوی شرکت جهاد تحقیقات آب و انرژی با همکاری شرکت برد^۱ کانادا و همچنین شرکت پرگاسیران در سال ۱۳۷۳ انجام شده، در این راستا بوده است.

در بخش دانشگاهی و بررسی پایان‌نامه‌های دانشجویی کارشناسی ارشد گروه‌های فیزیک دریا، مشخص شد اسماعیلی (۱۳۷۲) و نیک‌پسند (۱۳۷۲) در مورد پیش‌بینی موج در دریای عمان و خلیج فارس اقدام کردند. همچنین لاری (۱۳۷۶)، یحیایی میلانی (۱۳۷۷)، ثابت‌عهد جهرمی (۱۳۷۸)، ریاضی (۱۳۷۸)، افشار (۱۳۸۱)، لایقی (۱۳۸۲)، حاج بابایی (۱۳۸۳) و... به بررسی پیش‌بینی الگوهای امواج دریای خزر با استفاده از مدل‌های مختلف و یافتن بهترین مدل، به‌همراه پیش‌بینی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری مبادرت کردند. از بین پژوهش‌های مذکور، یحیایی میلانی (۱۳۷۷) به بررسی امواج و فرایند انتقال آب و رسوب در سواحل ایرانی دریای خزر پرداخت. وی در این پژوهش نشان داد نرخ انتقال اصلی رسوب در ساحل انزلی تا آستارا به سمت غرب است و به تدریج از نوشهر تا بندر ترکمن، به سمت شرق پیش می‌رود.

عاشور، سجودی و حسینی (۱۳۸۳) با بررسی انتقال رسوب در سواحل نکا، نتیجه گرفتند که در این منطقه، وجود پتانسیل رسوب در جهت غرب به شرق جریان دارد. لشته نشایی، اسلامی و پیروی چشناسر (۱۳۸۵) با بررسی پتانسیل انتقال رسوب در آستارا تا نواحی شرق گیلان، دریافتند که نرخ انتقال رسوب ساحلی در این مناطق از غرب به شرق کاهش می‌یابد. فلاح، کرمی خانیکی و لایقی (۱۳۸۵) به بررسی کارایی مدل وم^۲ و مایک ۲۱ در شبیه‌سازی امواج دریای خزر پرداختند. برای این کار، ارتفاع موج عمده برای دو مدل در منطقه بندر انزلی به دست آمد و نتایج حاصل با داده‌های اندازه‌گیری شده به وسیله کشتی‌ها مقایسه شد. این مقایسه طی هفده روز، همبستگی خوبی از نتایج دو مدل نشان داد و در اغلب اوقات، نتایج هر دو مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده یکسان بودند.

کرمی خانیکی، گودرزی، دهقانی و موسوی (۱۳۸۵) در روندیابی جریان رودخانه زهره در محدوده هندیدجان (استان خوزستان) با استفاده از مدل مایک ۲۱ نتیجه گرفتند، این مدل کارایی بالایی برای شبیه‌سازی پارامترهای مختلف جریان از جمله سرعت، دبی و پروفیل سطح آب دارد.

سیادت موسوی، بدیعی، کبریایی و مراغه‌ای (۱۳۸۵)، نتایج حاصل از تعیین مشخصات موج از طریق دو مدل ریاضی^۳ را با اندازه‌گیری‌های انجام‌شده به وسیله بویه‌های نکا و انزلی در دریای خزر مقایسه کرده و کارایی این دو مدل را در تحلیل داده‌های امواج مورد ارزیابی قرار دادند.

یگانه بختیاری و محمدیان (۱۳۸۶) با استفاده از روش‌های سنجش از دور، به بررسی اثر نوسان‌های سطح آب دریا روی میزان انتقال رسوب‌های بندر انزلی پرداختند. ارومیه‌ای (۱۳۸۷) به ارزیابی توان فرسایش‌پذیری و رسوب‌گذاری در محدوده بندر انزلی پرداخت و عوامل سنگ‌شناسی و پوشش گیاهی را در انتقال رسوب به منطقه، مهم‌تر از عوامل دیگر اعلام کرد.

1. Baird

2. WAM

3. Wave Watch-III & MIKE21-SW

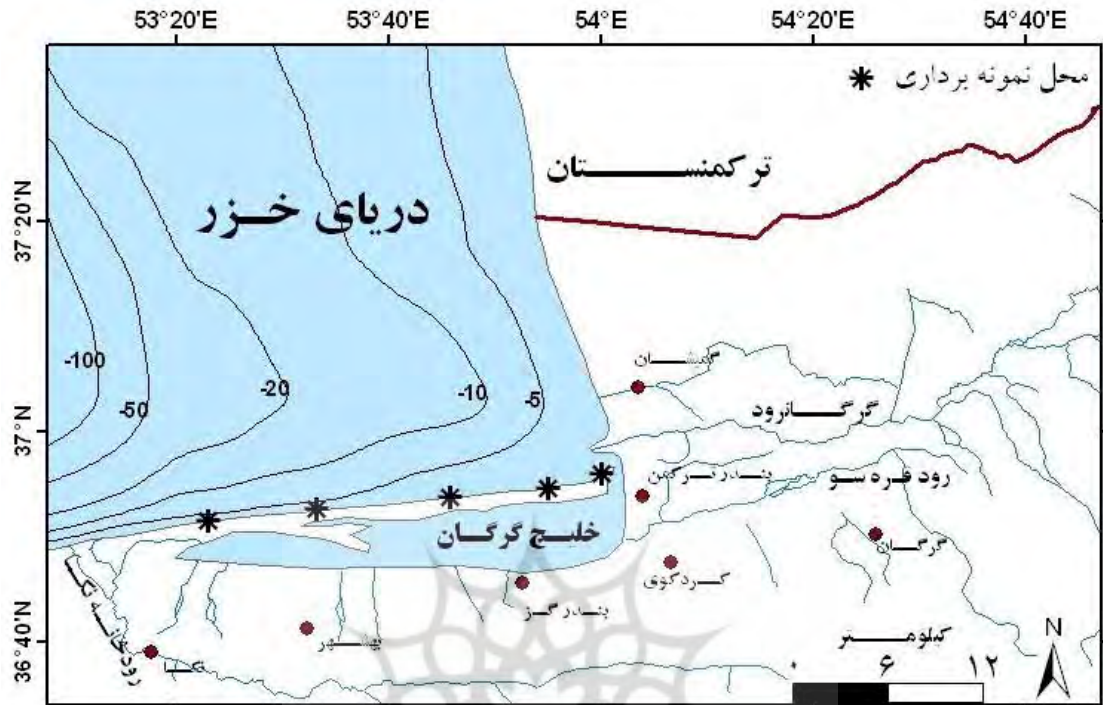
شربتتی (۱۳۹۰) شبیه‌سازی دوبعدی جریان دریایی خلیج گرگان در فصل تابستان را با استفاده از نرم‌افزار مایک ۲۱ برای محاسبه جریان، نوسان‌های سطح آب و مؤلفه‌های سرعت انجام داد. نتایج مدل بیان می‌کند که الگوی جریان، به‌واسطه تنش باد غالب، توپوگرافی بستر، ورودی و خروجی آب از تنها مرز باز مدل (دهانه آشوراده در بندر ترکمن) و احاطه شدن خلیج به‌وسیله شبه‌جزیره میانکاله متأثر شده است.

لرستانی (۱۳۹۱) با شبیه‌سازی امواج و جریان‌های دریایی در نرم‌افزار مایک ۲۱، تأثیر هیدرودینامیک دریای خزر بر تغییرات خط ساحلی قاعده دلتای سفیدرود را مورد بررسی قرار داد. وی در این پژوهش، نحوه حرکت و تأثیر امواج ناشی از باد و جریان‌های دریایی محدوده قاعده دلتا را در بندر کیشهر بیان کرد.

در این پژوهش نیز مسئله اصلی، بررسی رفتار امواج حاصل از باد و جریان‌های دریایی، بر میزان و جهت نقل و انتقال ذرات ماسه در امتداد خط ساحلی است.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در مختصات طول جغرافیایی $33^{\circ} 53'$ تا $54^{\circ} 5'$ شرقی و $36^{\circ} 47'$ تا $36^{\circ} 55'$ شمالی قرار دارد. زبانه ماسه‌ای موسوم به شبه‌جزیره میانکاله، در استان گلستان بین دریای خزر و خلیج گرگان، به‌صورت نوار باریکی به‌طول تقریبی ۶۵ کیلومتر و عرض متغیر بین $1/2$ تا $3/6$ کیلومتر، به‌همراه حوضه نیمه‌بسته خلیج گرگان، به‌طول متوسط ۶۰ و عرض متوسط ۱۲ کیلومتر، محدوده پژوهش را دربرمی‌گیرد (شکل ۱). اتصال آبی خلیج گرگان با دریای خزر، از طریق دهانه‌ای در حد فاصل آشوراده با بندر ترکمن و همچنین کانال خوزینی - که شبه‌جزیره میانکاله را قطع می‌کند - برقرار است. به‌دلیل نوع ارتباط خلیج گرگان با دریای خزر، انرژی امواج دریای خزر به‌شکلی ضعیف دریافت می‌شود. خلیج گرگان بیشتر تحت تأثیر فرایندهای داخل حوضه توسط رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو قرار دارد که در این میان، نقش رودخانه گرگانرود از نزدیک دهانه خلیج گرگان با توجه به دبی و آورد رسوب، بسیار برجسته و بارز است (لاهیجانی، حایری اردکانی، شریفی و نادری بنی، ۱۳۸۹). حوضه آبریز خلیج گرگان، از زیر حوضه‌های دریای خزر به‌شمار می‌رود که بخش بزرگی از آن، در استان گلستان و بخش کوچکی در استان‌های مازندران و خراسان واقع شده است. مجموع دبی رودخانه‌های حوضه آبریز خلیج گرگان حدود ۵۰۰ متر مکعب و مجموع دبی رسوب آنها $3/5$ میلیون تن در سال است (افشین، ۱۳۷۳). در محدوده خلیج گرگان با کاهش شدید بارش از غرب به شرق، آب‌وهوای ناحیه نیز از حالت مرطوب به بیابانی تغییر می‌یابد. در غرب خلیج گرگان، پوشش گیاهی نواحی مرطوب و در بخش شرقی خلیج مذکور، گیاهان مناطق بیابانی و گیاهان نمک‌دوست گسترش دارند. رسوب‌های بستر خلیج گرگان، به‌طور عمده در محدوده رسوب‌های ماسه‌ای ریزدانه و گلی قرار دارند و دانه‌بندی رسوب‌ها در داخل محدوده خلیج گرگان از غرب به شرق از گلی به ماسه‌ای تغییر می‌یابد (لاهیجانی، ۱۳۸۹). دانه‌بندی رسوب خلیج گرگان از نوع سیلت و سیلت ماسه‌دار است و از نظر کانی‌شناسی، این رسوبات حاوی ایلیت، کوارتز، کلسیت، فلدسپات، هماتیت، دولومیت و آراگونیت هستند (مرکز ملی اقیانوس‌شناسی ایران^۱، ۱۹۸۸).



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

پژوهش به‌طور عمده بر پایه یک روش تحلیلی استوار است که طی آن با بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری از ماسه‌های ساحلی، به‌همراه داده‌های حاصل از ایستگاه هواشناسی گرگان و بویه موج‌نگار بندر امیرآباد، نحوه انتقال رسوب تجزیه و تحلیل شده است. ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ و ۱/۵۰۰۰۰ حدود کلی تعیین و محل استقرار حوضه‌های آبریز منطقه مشخص شدند.

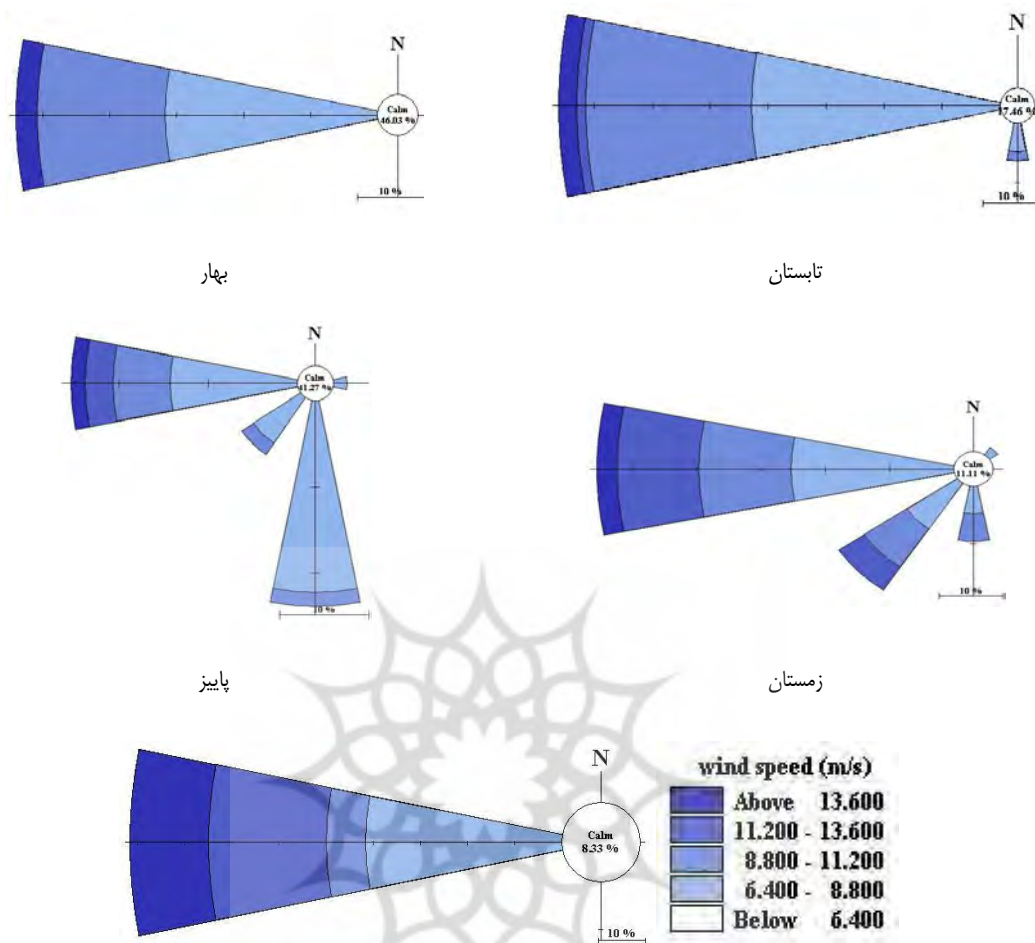
برای بررسی نحوه تأثیر امواج حاصل از باد و جریان‌های دریایی بر راستای نقل و انتقال ماسه در محدوده خط ساحلی، داده‌های امواج (بویه امیرآباد) طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱، از درگاه سازمان بندر و دریانوردی دریافت شدند و با انجام پردازش آماری روی داده‌های مذکور، فاکتورهای مورد نیاز مدل استخراج شده است. برای بررسی نحوه تأثیر دینامیک امواج بر پراکنش ذرات ماسه در محدوده خط ساحلی مورد مطالعه، داده‌های سرعت و جهت باد روزانه ایستگاه سینوپتیک گرگان (۱۳۳۴-۱۳۸۸)، به‌منزله عامل اصلی در تعیین انرژی ورودی برای تولید و رشد موج، از سازمان هواشناسی کشور به‌دست آمد. سپس با تصحیح و پردازش اطلاعات باد طی سال‌های مذکور، گل‌بادها و گل‌موج‌ها ترسیم شدند. در ادامه نرم‌افزار مایک ۲۱ مورد استفاده قرار گرفت که ابزار اصلی پژوهش بوده و توانایی بالایی در مدل‌سازی دینامیک امواج دارد. برای انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار مذکور، داده‌های عمق‌سنجی آبهای کم‌عمق دریای خزر در محدوده خلیج گرگان رقمی‌سازی شده و با ایجاد شبکه مثلثاتی نامنظم، درون‌یابی و شبکه‌گذاری داده‌های مذکور انجام گرفت.

در گام بعدی، محدوده مورد مطالعه به وسیله مدل‌های طیفی موج^۱، هیدرودینامیک دریا^۲ و انتقال ماسه^۳ در نرم‌افزار مایک ۲۱ مدل‌سازی شدند. همچنین برای مشخص کردن اندازه قطر ذرات که یکی از داده‌های ورودی مدل انتقال ماسه است، پنج نمونه ماسه از امتداد خط ساحلی برداشت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، بافت ذرات ماسه با استفاده از دستگاه شیکر^۴ به روش گرانولومتری طبقه‌بندی شدند و نتایج به دست آمده در نرم‌افزار گرادیستات^۵ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در نهایت با استفاده از داده‌ها و مدل‌سازی آنها در نرم‌افزار مایک ۲۱ که توسط مؤسسه هیدرودینامیکی دانمارک^۶ توسعه یافته است، شبیه‌سازی رفتار امواج و جریان‌های دریایی انجام شد تا راستای نقل و انتقال ماسه در طول خط ساحلی مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

یافته‌های پژوهش

وجود زبانه ماسه‌ای به طول بیش از ۶۵ و پهنای متغیر ۱/۲ تا ۳/۶ کیلومتر در امتداد خط ساحلی محدوده خلیج گرگان، مورفولوژی خاصی به منطقه مورد مطالعه بخشیده است. رفتار پیچیده دینامیک دریا با تولید امواج در منطقه شکست موج بر راستای نقل و انتقال ماسه در خط ساحلی، تأثیر مستقیمی دارد. در این پژوهش تلاش شده است که با شبیه‌سازی الگوهای مختلف برخورد امواج با خط ساحلی و تأثیر آن بر چگونگی حمل و نقل ماسه در امتداد خط ساحلی، نحوه تأثیر فرایندهای دریایی بر شکل خط ساحلی تحلیل شود. برای مطالعه امواج و نحوه تأثیر آن بر توزیع ماسه‌های ساحلی، داده‌های باد ایستگاه سینوپتیک گرگان (۱۳۳۴-۱۳۸۸) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از میانگین کل بادهای مشاهده شده سالانه (۲۴۲۵ بار)، حدود ۶۱/۵ درصد در رده بادهای آرام با سرعت‌های کمتر از ۵ نات هستند که تأثیری در تولید و رشد امواج ندارند. طی دوره پنجاه و چهار ساله آماری، حداکثر سرعت بادهای غالب ماهانه ایستگاه گرگان در خرداد ماه (۲/۹ نات) و حداقل آن در ماه‌های آبان، آذر و دی (۱/۵ نات) با میانگین سالانه ۲/۵ نات گزارش شده است. در ایستگاه گرگان میانگین فصلی و سالانه جهت باد غالب از راستای غربی است و تنها در فصل پاییز، راستای غالب از دو جهت جنوب و غرب تداوم دارد (شکل ۲). همچنین میانگین سالانه حداکثر بادهای سریع به ثبت رسیده در ایستگاه مذکور با سرعت ۶۰ نات و فراوانی حداکثر ۱۳ روز در سال بوده است.

1. Spectral Wind-Wave
2. Sea Hydrodynamic
3. Sand Transportation
4. Shaker
5. Gradistat
6. Denmark Hydrodynamic Institute

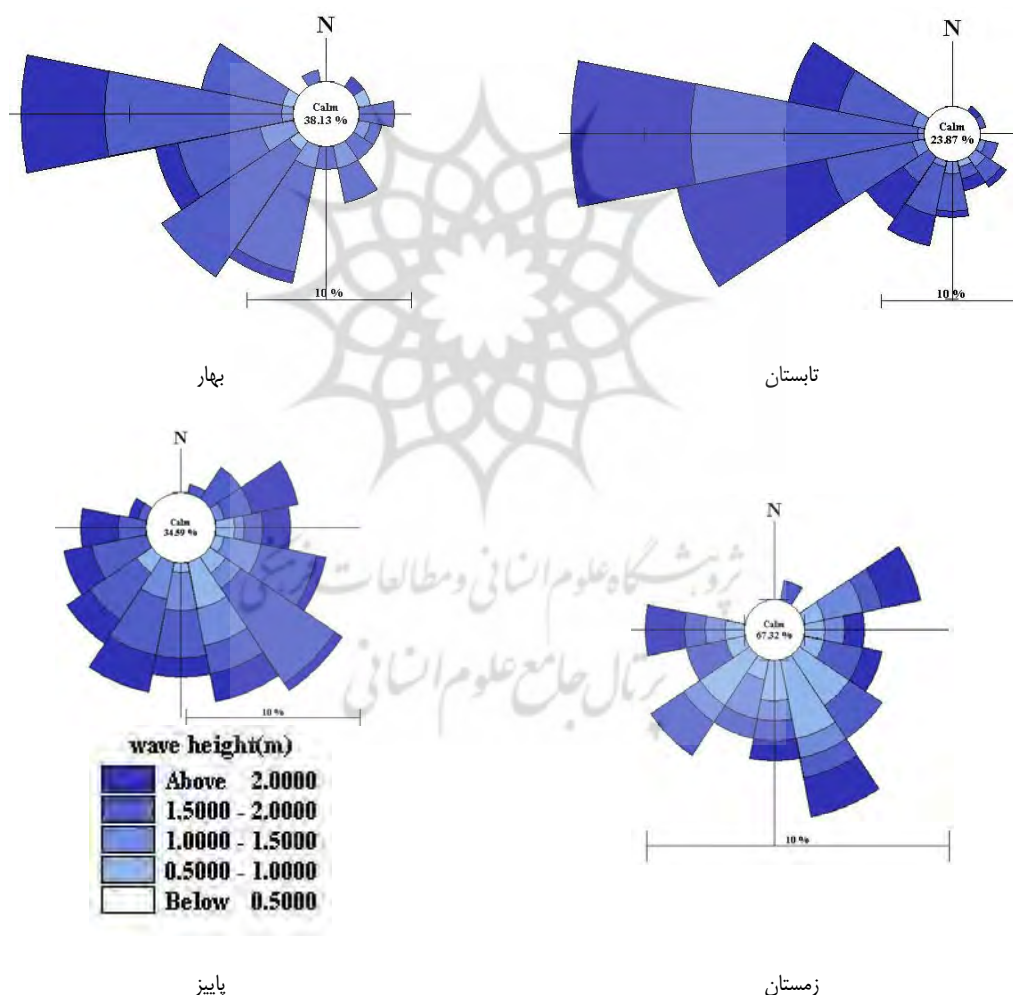


شکل ۲. گل‌بادهای فصلی و سالانه ایستگاه هواشناسی گرگان (سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱) ترسیم شده در نرم‌افزار مایک

در گام بعدی برای مطالعه امواج و نحوه تأثیر آن بر توزیع ماسه‌های ساحلی، ابتدا گل‌موج‌های محدوده خلیج گرگان بر اساس آمار سه‌ساله بویه موج‌نگار ایستگاه امیرآباد (۱۳۸۹-۱۳۹۱)، در عمق ۱۵ متری از سطح دریای خزر در نرم‌افزار مایک ترسیم و از طریق آنها فراوانی و ویژگی‌های امواج تحلیل شده است.

داده‌های ثبت‌شده در بویه موج‌نگار امیرآباد نشان می‌دهد که در فصل بهار، موج غالب از سمت غرب و بعد از آن جهت جنوب غربی اهمیت دارد. در این فصل حداکثر ارتفاع موج ۲/۱ متر در جهت غربی است و میزان وقوع امواج آرام ۳۸/۱۳ درصد است. در فصل تابستان همانند فصل بهار، جهت موج غالب غربی و پس از آن، جهت جنوب غرب نمود بیشتری دارد. حداکثر ارتفاع موج در فصل تابستان ۲/۱ متر در جهت غرب و جنوب غرب و وقوع امواج آرام ۲۳/۸۷ درصد است. در فصل پاییز جهت موج غالب جنوبی است که با حداکثر ارتفاع امواج ۲/۱ متر، بیشترین تواتر را نشان می‌دهد. میزان وقوع امواج آرام در این فصل ۳۴/۵۹ درصد است که نسبت به فصل تابستان از افزایش تلاطم و ارتفاع

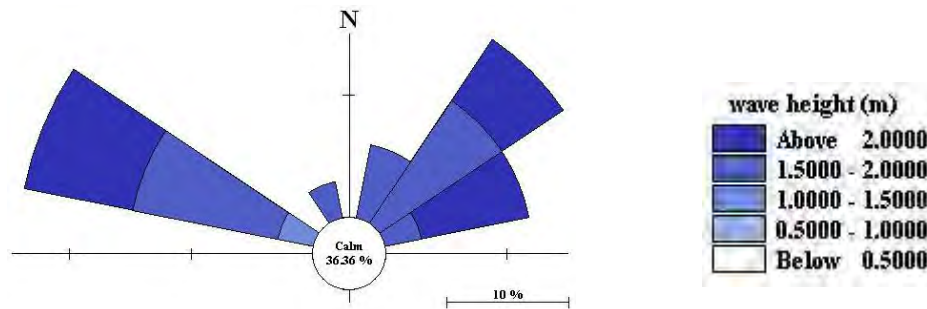
موج برخورددار است. در فصل زمستان، جهت موج غالب جنوب و شرق مشخص شده است. حداکثر ارتفاع امواج در این دو راستا ۲/۲ متر است. میزان وقوع امواج آرام در این فصل بیش از فصول دیگر سال بوده و رقمی برابر با ۶۷/۳۲ درصد را نشان می‌دهد. این مورد بر آرام بودن شرایط دریا نسبت به فصول بهار و پاییز دلالت دارد. گفتنی است که گل‌بادهای ترسیمی در شکل ۲، به‌استناد داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک گرگان در داخل خط ساحلی تهیه شده است و گل‌موج‌ها نیز با اندازه‌گیری امواج حاصل از باد که از بویه موج‌نگار دریایی امیرآباد در عمق ۱۵ متری دریای خزر ثبت شده، شکل گرفته است و به‌دلیل همین ویژگی، یعنی موقعیت قرارگیری دو ایستگاه، تفاوت‌هایی در جهت و توزیع فراوانی داده‌های ثبت شده گل‌بادهای و گل‌موج‌های ترسیمی مشاهده می‌شود (شکل ۲ و ۳).



شکل ۳. گل‌موج فصلی بویه موج‌نگار امیرآباد برحسب متر (سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱)

گل‌موج‌های خروجی نرم‌افزار مایک، براساس اندازه‌گیری امواج در عمق ۱۵ متری از خط ساحلی خلیج گرگان در محل بویه امیرآباد ترسیم شده‌اند. با توجه به انحنای خط ساحلی و با در نظر گرفتن زاویه برخورد امواج با امتداد ساحل،

تنها امواجی که با خط ساحلی زاویه ۳۵ درجه و بیشتر ایجاد کنند، می‌توانند در فرایند تولید و رشد امواج شرکت داشته باشند و در خط ساحلی، امواجی با زوایای بالای ۲۹۰ تا ۶۰ درجه در این بازه قرار می‌گیرند. به همین دلیل امواج سالانه اصلاح‌شده نهایی که در خط ساحلی قابل رؤیت هستند، در شکل ۴ آمده است.

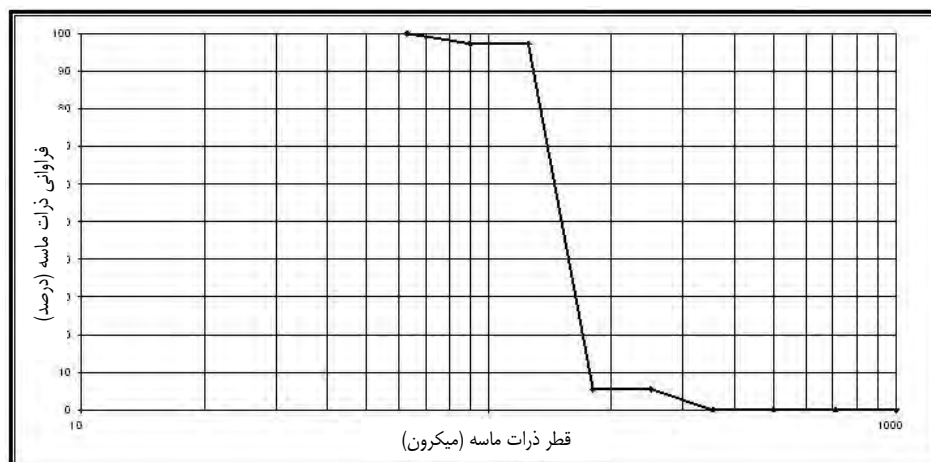


شکل ۴. کل موج سالانه اصلاح‌شده بویه موج‌نگار امیرآباد برحسب متر (سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱)

با تجزیه و تحلیل ذرات ماسه از نمونه‌های برداشت‌شده در نرم‌افزار گردیستات (۴.۰)، مشخص شد که نمونه‌های این منطقه با میانه ۱۵۰/۸ در مقیاس میکرون، به‌طور میانگین در رده ماسه‌های ریز^۱ با ضریب جورشدگی خیلی بالا^۲، چولگی کم به سمت ذرات درشت‌دانه^۳ و کشیدگی منحنی^۴ قرار دارند. همچنین بیشترین فراوانی در نمونه‌های انتخابی از ماسه‌های ساحلی، به ذرات ماسه‌های ریز با قطر ۲۵۰-۱۲۵ میکرون و فراوانی ۹۱/۸ درصد از کل نمونه اختصاص دارد و کمترین آن، مربوط به ماسه‌های خیلی ریز^۵ به قطر ۶۳-۱۲۵ میکرون و فراوانی ۲/۷ درصد است. نمونه‌های ماسه در سواحل مورد مطالعه تک‌نمایی بوده و با مد ۱۵۲/۵ میکرون مشخص می‌شود و این بدان معناست که این مقدار بیش از سایر مقادیر تکرار شده است.

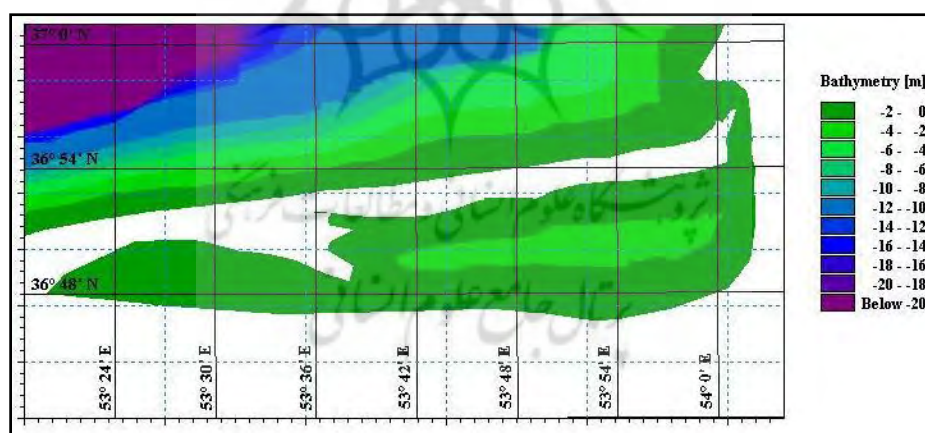
تحلیل نرم‌افزاری از نمونه‌های منتخب نشان می‌دهد که بخش کلانی از زبانه ماسه‌ای ایجاد کننده خلیج گرگان، از ماسه‌های ریزدانه تشکیل شده است که حاکی از قدرت کم امواج در حمل ماسه‌های درشت‌دانه، پس از شکست در منطقه ساحلی در امتداد زبانه ماسه‌ای است. این امواج تنها قادر به حمل و انباشت رسوب‌های ریزدانه بوده و ماسه‌های درشت‌دانه‌تر، فقط در مواقعی که ارتفاع امواج زیاد باشد، به پهنای زبانه مذکور ملحق می‌شوند. فراوانی بالای ۹۱ درصد ماسه‌های ریزدانه، نشان می‌دهد که ماسه‌های بزرگتر از ۲۵۰ میکرون، به دلیل وزن بیشتر و کمینه وجود امواج با ارتفاع بیش از ۲ متر (شکل ۳ و ۴)، در داخل دریا در منطقه شکست رسوب کرده و در تغییر نیمرخ بستر دریا در امتداد زبانه ماسه‌ای خلیج گرگان سهم شایانی دارند.

1. Fine sand
2. Very well sorted
3. Coars skewed
4. Leptokurtic
5. Very fine sand



شکل ۵. فراوانی قطر ذرات ماسه در نمونه‌های منتخب در امتداد زبانه ماسه‌ای خلیج گرگان

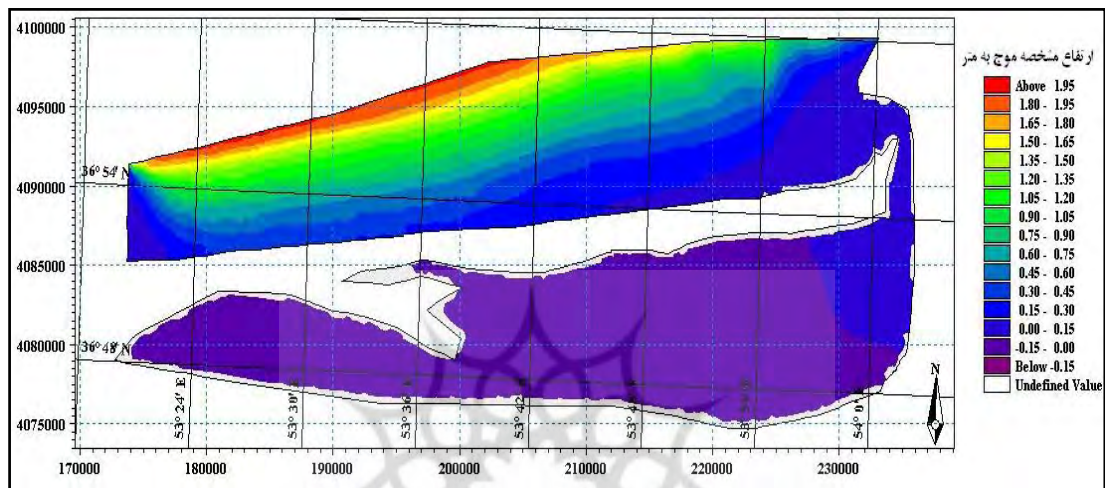
با شناخت ویژگی‌های باد و امواج، در گام بعدی برای مدل‌سازی طیفی امواج، داده‌های عمق‌سنجی مناطق کم‌عمق ساحلی خلیج گرگان (تا عمق ۲۰ متر پایین‌تر از سطح دریاهای آزاد) را با استفاده از داده‌های باتی‌متری رقومی که از سازمان بنادر و دریانوردی به‌دست‌آمده، به‌عنوان ورودی مدل انتخاب کرده و سپس با ویرایش و به‌روز کردن داده‌ها و درون‌یابی و شبکه‌بندی، چهارچوب و بستر لازم برای ایجاد مدل فراهم شد (شکل ۶).



شکل ۶. نقشه عمق‌سنجی محدوده خلیج گرگان

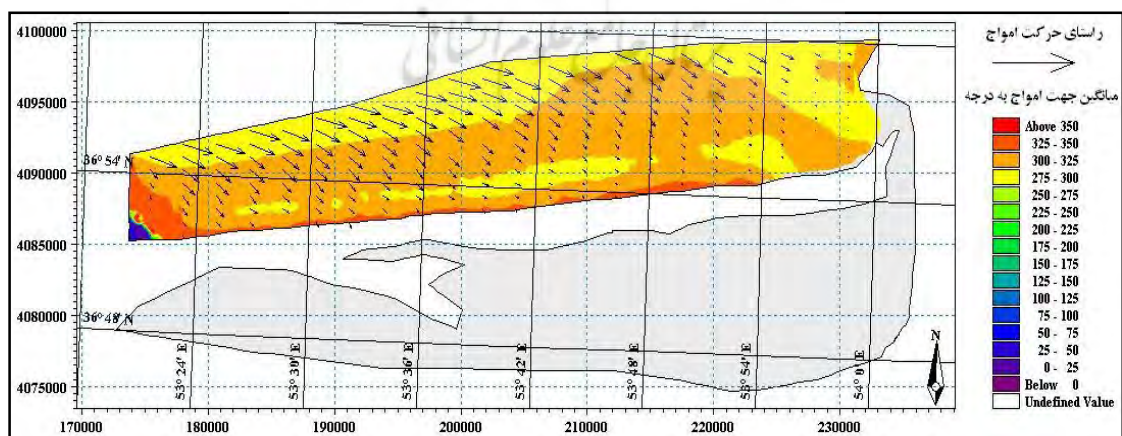
با در نظر گرفتن این مطلب که شبیه‌سازی تک‌تک امواج برآمده از دریا به‌سمت ساحل، کاری بسیار زمان‌بر و در عین حال خالی از اشکال نخواهد بود، بنابراین تلاش شد امواج غالبی با ویژگی بارز در ارتفاع و پریود موج که نماینده مناسب‌ترین امواج برآمده از باد در محدوده مطالعاتی باشد، برای مدل‌سازی انتخاب شود. پارامترهای خروجی مدل طیفی امواج، ویژگی‌های امواج را به‌صورت شاخصه‌های ارتفاع موج مشخصه، پریود موج پیک، پریود میانگین موج، جهت موج پیک، جهت میانگین موج و... نمایش می‌دهد. ارتفاع موج مشخصه در محدوده خلیج گرگان با نزدیک شدن به خط ساحلی یک باره کاهش می‌یابد و منطقه کاهش ارتفاع موج به نیم متر، همان منطقه شکست امواج است که در آن ارتفاع

امواج افت شدیدی دارد. حداکثر ارتفاع امواج نیز با فاصله گرفتن از خط ساحلی در آبهای با عمق ۱۵ متر، به بالای ۲ متر می‌رسد که با نزدیک شدن به دهانه ورودی خلیج گرگان، ارتفاع امواج به صورت چشمگیری کاهش یافته و به حداکثر ۰/۴ متر می‌رسد و در داخل خلیج، امواج قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود (شکل ۷). به نظر می‌رسد تغییرات زیاد بستر در خط ساحلی با نرخ رسوب‌گذاری بالای رودخانه گرگانرود، قره‌سو و نکارود، در کاهش ارتفاع امواج در خط ساحلی بسیار مؤثر باشد.



شکل ۷. ارتفاع مشخصه موج در محدوده خلیج گرگان

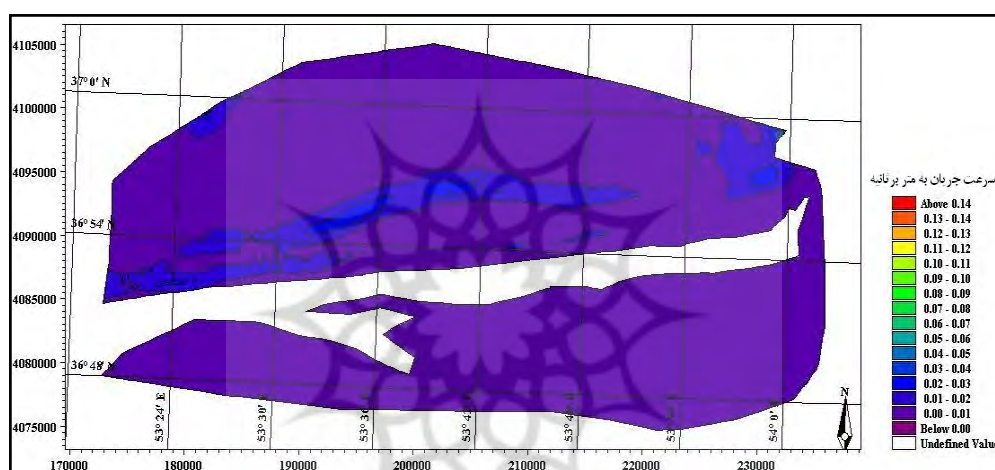
مدل‌سازی طیفی امواج، میانگین جهت امواج از سمت غرب را نشان می‌دهد. با رسیدن امواج به منطقه شکست و کم شدن عمق بستر، ارتفاع آنها کاهش یافته و با خم شدن موج ایجاد شده، جهت امواج در راستای شمال گرایش می‌یابند (شکل ۸).



شکل ۸. میانگین جهت امواج در محدوده خلیج گرگان

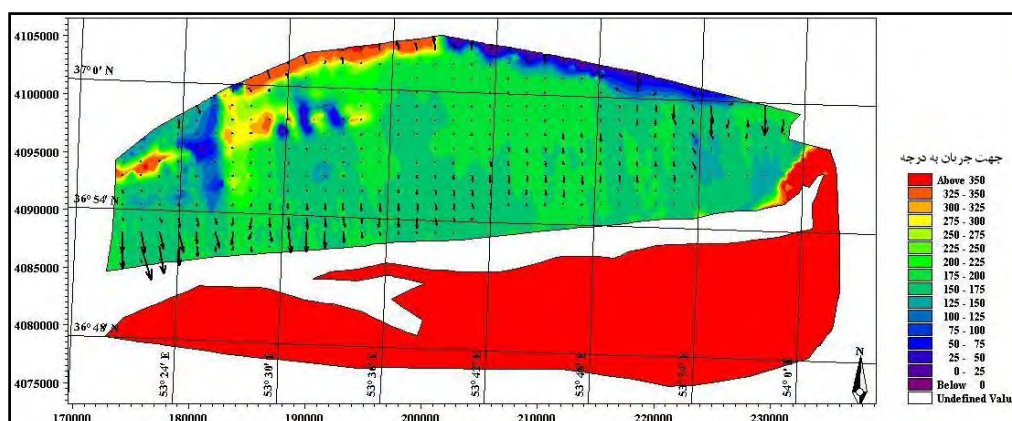
برای محاسبه میزان و سرعت جریان ساحلی در محدوده خلیج گرگان، از مدل هیدرودینامیک نرم‌افزار مایک استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل هیدرودینامیک، توپوگرافی بستر دریا، امواج و ویژگی‌های آن و

شرایط مرزی به صورت سری زمانی است و نتایج خروجی این شبیه‌سازی، تغییرات سطح آب و مشخصات جریان ناشی از باد است. در ادامه، جهت و سرعت جریان، به همراه تغییرات تراز آب در محدوده قاعده خلیج گرگان شبیه‌سازی شده است. یکی از گام‌های زمانی در این مدل و شبیه‌سازی جریان به وسیله آن، مربوط به باد با سرعت ۱۲ متر بر ثانیه از جهت ۲۸۵ درجه با ارتفاع موج ایجاد شده ۲/۱۲ متر در روز ۱۳۹۰/۴/۳ است. کمترین سرعت جریان در مناطق دورتر، از خط ساحلی به سمت آبهای نیمه عمیق و عمیق رخ می‌دهد و بیشترین مقدار سرعت جریان، در منطقه شکست موج و در ادامه به سمت خط ساحلی تا ۵ سانتی متر بر ثانیه ایجاد می‌شود. علاوه بر آن، یک خط سرعت هم در مصب رودخانه گرگانرود به دریا در منتهی‌الیه شرق خلیج گرگان رخ می‌دهد که بیشتر تحت تأثیر جریان رودخانه گرگانرود به دریا ایجاد می‌شود (شکل ۹).



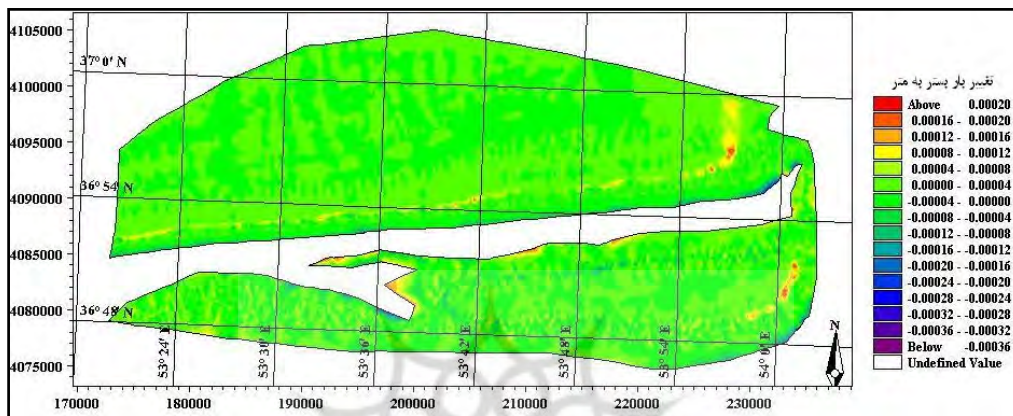
شکل ۹. تغییرات سرعت جریان هیدرودینامیک ناشی از باد در منطقه شکست امواج

با توجه به اینکه اغلب امواج برآمده از نیروی باد منطقه مورد مطالعه، از سمت غرب است و امواج ایجاد شده در آبهای کم عمق، شکست موج بیشتری دارند و با جهت شمالی و عمود بر ساحل و تمایل به سمت شرق حرکت می‌کنند، در درازمدت سبب تشکیل و تکامل نوار ماسه‌ای در پیشانی خلیج گرگان شده‌اند (شکل ۱۰).



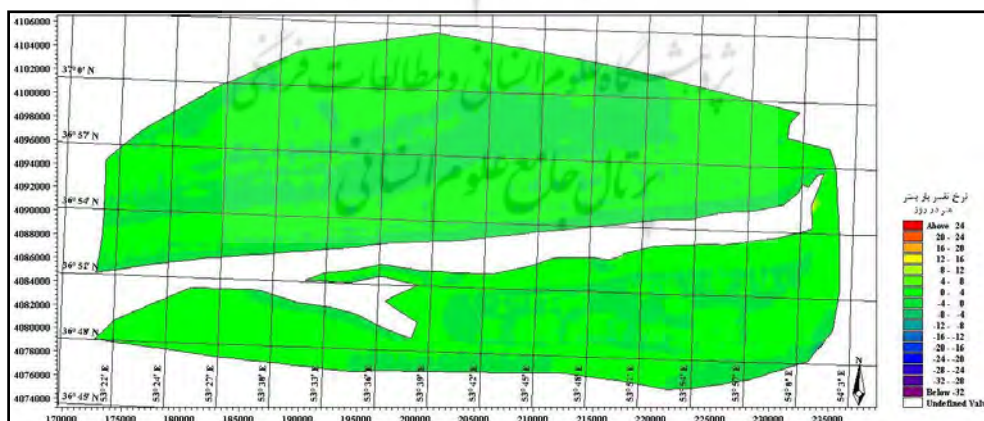
شکل ۱۰. تغییرات جهت جریان هیدرودینامیک ناشی از باد در منطقه شکست امواج

در ادامه با استفاده از مدل طیفی امواج و مدل هیدرودینامیک که ورودی مدل انتقال ماسه شمرده می‌شود، به شبیه‌سازی انتقال ماسه در آبهای کم‌عمق نزدیک خط ساحلی محدوده خلیج گرگان پرداخته شد. مدل‌سازی انتقال ماسه، تغییرات قابل توجهی را در بار بستر آبهای نزدیک خط ساحلی نشان می‌دهد. در مناطق عمیق دریایی تغییرات بار بستر چندان زیاد نبوده و کمابیش بدون تغییر مثبت یا منفی باقی می‌ماند، اما در نزدیکی خط ساحلی، برداشت و انتقال ماسه مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. تغییرات بار بستر در محدوده خلیج گرگان

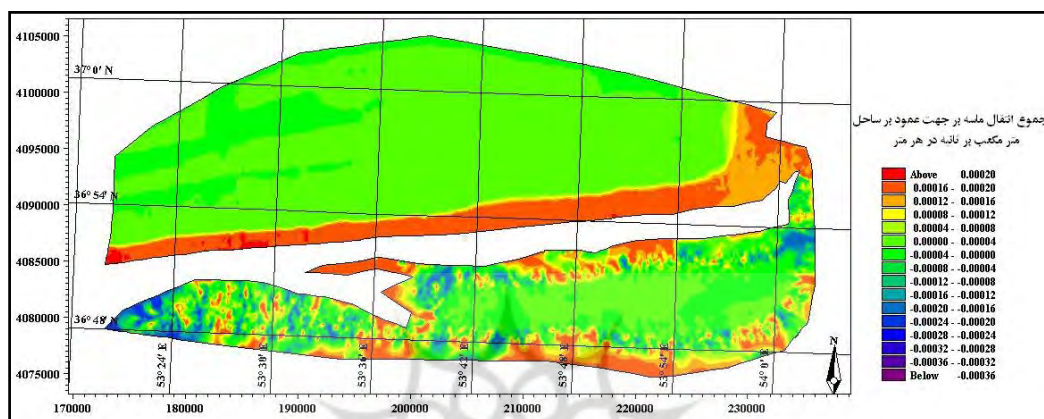
نرخ تغییرات بستر دریا برحسب متر در روز نیز، حاکی از برداشت ماسه در آبهای کم‌عمق ساحلی به‌وسیله جریان ساحلی، امواج و رودخانه است. این نرخ در آبهای عمیق به‌سمت اعداد مثبت تمایل دارد که حاکی از انباشت ماسه در جهت عمود بر خط ساحلی در آبهای عمیق است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. نرخ تغییر بار بستر در محدوده خلیج گرگان

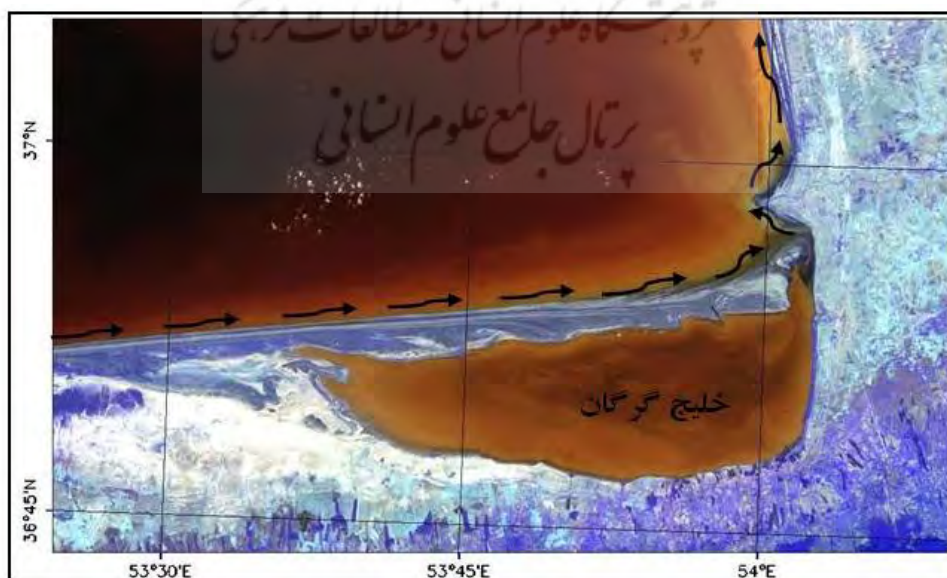
شبیه‌سازی نرخ انتقال ماسه در جهت عمود بر ساحل، نشان می‌دهد که تغییرات بستر دریا در محدوده آبهای کم‌عمق ساحلی بسیار زیاد است و با تغییر الگوی نیم‌رخ بستر، حتی در مقیاس روزانه همراه است. تغییرات مثبت انتقال رسوب بیشتر در امتداد زبانه ماسه‌ای انجام می‌گیرد که توجیه‌کننده تحول و تکامل زبانه ماسه‌ای با حرکت غرب به شرق رسوب در درازمدت است. با فاصله گرفتن از خط ساحلی، میزان انتقال رسوب به دامنه از ۰/۰۰۰۴ تا ۰ متر مکعب بر ثانیه در هر متر می‌رسد و هرچه فاصله از خط ساحلی به سمت آبهای عمیق بیشتر می‌شود، رسوبات انتقالی با قطر بالاتر

به‌همراه جریان عمود بر ساحل انباشته و ترسیب می‌شوند، در این میان تنها رسوبات ریزدانه‌تر معلق اجازه حرکت در توده آبی خزر را خواهند داشت. البته این تحلیل در محدوده داخلی خلیج گرگان، به دلیل عدم تأثیر امواج برآمده از باد، جریان‌های دریایی و نبود تدارک رسوب رودخانه‌ای، به شکل دیگری نمود می‌کند و آشفتگی در کرانه‌های خلیج گرگان به سمت مناطق میانی، سبب آرامش نسبی برای رسوب‌های انتقالی شده و در نهایت به انباشت رسوب منجر می‌شود (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. نرخ انتقال ماسه در جهت عمود بر ساحل در محدوده خلیج گرگان

تصویر ماهواره‌ای سال ۱۹۷۹ سنجنده TM ماهواره لندست که با استفاده از ترکیب باندهای تصاویر و ایجاد تباین رنگی در نرم‌افزار ENVI پردازش شده است، توزیع رسوب در محدوده خط ساحلی را نشان می‌دهد که تأییدی بر شبیه‌سازی مدل انتقال ماسه در نرم‌افزار مایک ۲۱ بوده و اختلاف در نحوه انتقال ماسه را، به دلیل هندسه متفاوت خط ساحلی نشان می‌دهد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. تصویر TM ماهواره لندست سال ۱۹۷۹ در محدوده خلیج گرگان

پیکان‌های توپر برآیند نهایی رانش جانبی رسوب را نشان می‌دهند

گفتنی است که در بازدیدهای میدانی به‌عمل آمده، مشاهده شد که هرچه از بندر امیرآباد به‌سمت دهانه ورودی خلیج گرگان در شرق می‌رویم، میزان ضایعات و نخاله‌های مصنوعی تراکم بیشتری می‌گیرد و این مورد خود می‌تواند دلیلی بر رانش جانبی رسوب به‌سمت شرق کرانه بر اثر نیروی حاصل از امواج، باد، جریان و رودخانه باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

مورفوژنز و تحول زبانه ماسه‌ای شبه‌جزیره میانکاله، در ارتباط مستقیم با جریان‌های ساحلی کرانه راستای سواحل جنوبی خزر به‌وجود آمده است. عامل اصلی تغییر در خط ساحلی مذکور و ایجاد خلیج گرگان، با نحوه انتقال رسوب، به‌ویژه چگونگی انتقال ماسه در محدوده خط ساحلی مرتبط است و تفاوت قدرت حمل رسوب از یک نقطه تا نقطه‌ای دیگر، سبب ایجاد فرسایش یا ته‌نشینی رسوب‌ها و در نتیجه باعث تغییر در پهنای زبانه ماسه‌ای شده است. پیچیدگی رفتار خط ساحلی و تأثیر آن بر کیفیت و کمیت انتقال رسوب بر کسی پوشیده نیست. به‌همین دلیل برای ساده‌کردن فهم مورفودینامیک خط ساحلی، در وهله اول، مدل مورد استفاده باید قادر به محاسبه انتقال رسوب ناشی از اثر امواج بوده و در صورت لزوم، قابلیت لحاظ کردن سایر جریان‌ها را نیز داشته باشد. این پژوهش از میان روش‌های مختلف محاسبه انتقال رسوب، از مدل انتقال ماسه در نرم‌افزار مایک ۲۱ بهره گرفته است تا با شبیه‌سازی نحوه برخورد امواج با خط ساحلی که جریان موازی ساحل را تولید می‌کند، ایجاد و گسترش زبانه ماسه‌ای را در امتداد خط ساحلی شبیه‌سازی کند. نتایج مدل‌سازی در نرم‌افزار مایک ۲۱، دلالت بر روند کلی نقل و انتقال ماسه به شرق حکایت دارد. هرچند، به‌دلیل تغییر اساسی در راستای غالب امواج از قطاع شرق و شمال شرق در برخی از روزهای سال، تمایل رانش رسوب به سمت غرب نیز به چشم می‌خورد.

در تمام فصول سال رسوب انتقالی به خط ساحلی، تحت حاکمیت باد و امواج غالب غربی و شمال غربی، برحسب اندازه ذرات با حرکت‌های جریانی، خزشی یا تعلیق، در منطقه شکست امواج به حرکت درمی‌آیند. با توجه به انحنای خط ساحلی و با در نظر گرفتن زاویه برخورد امواج با امتداد ساحل، تنها امواجی که با خط ساحلی زاویه ۳۵ درجه و بیشتر ایجاد می‌کنند، می‌توانند در فرایند تولید و رشد امواج شرکت داشته باشند. در فصل پاییز و اوایل زمستان، به‌دلیل سیطره پرفشار سبیری در منطقه و ورود بادهای سرد و خشک از شمال شرق، امواج غالب راستای شمال شرق و شرق دارند. به‌جز بازه مذکور بقیه اوقات سال، راستای غالب امواج از غرب، شمال غرب و شمال اهمیت دارند. برآیند فراوانی بالای امواج برآمده از باد با راستای غرب و شمال غرب نسبت به امواج شمال شرقی، سبب ایجاد جریان ساحلی به موازات ساحل در جهت غرب به شرق شده و حرکت غالب رسوب در طول خط ساحلی به سمت شرق را تسهیل می‌کند. رشد زبانه ماسه‌ای شبه‌جزیره میانکاله از مصب رودخانه نکارود به سمت شرق و عریض شدن آن در جهت شرق، بر استدلال فوق دلالت دارد. در شبیه‌سازی نرم‌افزاری مایک ۲۱، امواج برآمده از باد و تولید جریان ساحلی در منطقه شکست نیز، تأییدی بر رانش جانبی رسوب با نگاه به شرق است که در درازمدت خلیج گرگان را به‌صورت خلیج پشت سدی از مورفولوژی خزر جنوبی جدا کرده است.

حداکثر ارتفاع امواج با نزدیک شدن به دهانه خلیج گرگان در گوشه جنوب شرقی دریای خزر به ۰/۴ متر می‌رسد. امواج با این ارتفاع کم، به همراه جریان ساحلی کرانه راستای غرب به شرق با نزدیک شدن به دهانه خلیج، قادر به رانش رسوب ماسه‌ای به سمت داخل خلیج گرگان نیستند. باریک بودن دهانه خلیج با رفت و برگشت مداوم امواج در این ناحیه، سبب ایجاد تغییر در نوک زبانه ماسه‌ای میانکاله به سمت شمال و شمال شرق شده است که با جریان عمومی خزر در منتهی‌الیه گوشه جنوب شرق خزر در راستای شمالی، مطابقت دارد. همچنین با توجه به اینکه غالب رسوب‌ها در محدوده داخلی خلیج گرگان، ماسه‌های بسیار ریزدانه به همراه گل و ماسه‌های گلی است (لاهیجانی، ۱۳۸۹)، این موضوع بر عدم ورود ماسه‌های درشت‌دانه‌تر از ۱۲۵ میکرون به داخل خلیج گرگان دلالت دارد.

منابع

- ارومیه‌ای، ع.؛ کریم خانی، ا. (۱۳۸۷). ارزیابی توان فرسایش‌پذیری و رسوب‌گذاری در محدوده بندر انزلی. فصلنامه علوم زمین. سال هجدهم، شماره ۶۹، صص. ۴۴-۵۵.
- اسماعیلی، م. (۱۳۷۲). پیش‌بینی موج در دریای عمان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شمال. افشار، ا. (۱۳۸۱). بررسی هیدرودینامیک موج و پیش‌بینی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در خلیج گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا. دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- افشین، ی. (۱۳۷۳). رودخانه‌های ایران. جلد دوم. وزارت نیرو، جاماب.
- ثابت‌عهد چهرمی، ع. (۱۳۷۸). بررسی شکست موج و جریان‌های در امتداد ساحل ناشی از آن در سواحل جنوبی دریای خزر (بین بندر انزلی تا بندر کیشهر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا. دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- حاج بابایی، ن. (۱۳۸۲). ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی امواج ناشی از باد و ارائه مدل مناسب برای سواحل شهرستان بابلسر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا. دانشگاه تربیت مدرس، منابع طبیعی دانشکده علوم دریایی و نور.
- دقیق، ح. (۱۳۸۷). بررسی الگوی جریان و رسوب در دهانه مصب‌های حفاظت شده باجتی (مطالعه موردی: بندر کیشهر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات، تهران.
- رواسانی، ش. (۱۳۷۲). جامعه شرق بزرگ. تهران: نشر شمع.
- ریاضی، ر. (۱۳۷۸). بررسی و پیش‌بینی امواج در آبهای کم عمق ساحل خزر (در منطقه نکا). پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور.
- ساجدی، ا. (۱۳۸۱). بررسی امواج ناشی از باد در سواحل بندر انزلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال.
- سازمان بنادر و دریانوردی (۱۳۸۷). مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران، جلد اول: دریای خزر، معاونت فنی و مهندسی.
- سازمان هواشناسی کشور. (۱۳۳۴-۱۳۸۸). آمار باد ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گرگان.
- سیادت موسوی، س. م.؛ بدیعی، پ.؛ کبریایی، ع.؛ ر.؛ مراغه‌ای، ع.؛ ر. (۱۳۸۵). مقایسه نتایج مدل‌های ریاضی تعیین مشخصه‌های امواج ناشی از باد و اندازه‌گیری‌های محلی در بخش جنوبی دریای خزر. هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. ۶ تا ۸ آذر. تهران: سازمان بنادر و کشتیرانی.

- شریتی، س. (۱۳۹۰). شبیه‌سازی دو بعدی الگوی جریان در خلیج گرگان با استفاده از نرم افزار مایک ۲۱. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۱۸، شماره ۴، صص. ۲۴۵-۲۴۱.
- عاشور، آ؛ سجودی، ش.؛ حسینی، ش. (۱۳۸۳). بررسی انتقال رسوب در سواحل نکا، ششمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۹ تا ۱۲ آذر، تهران: سازمان بنادر و کشتیرانی.
- فلاح، ع؛ کرمی خانیکی، ع؛ لایقی، ب. (۱۳۸۵). ارزیابی مدل‌های MIKE21 و WAM در شبیه‌سازی امواج دریای خزر. هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۶ تا ۸ آذر، تهران: سازمان بنادر و کشتیرانی.
- کرمی خانیکی، ع؛ گودرزی، م؛ دهقانی، م؛ موسوی، س. ف. (۱۳۸۵). کاربرد نرم افزار MIKE21 در روند یابی جریان رودخانه جزر و مدی زهره. مجله آب و فاضلاب، شماره ۶۰، صص. ۹۶-۸۹.
- لاری، ک. (۱۳۷۶). پیش‌بینی امواج ناشی از باد در دریای خزر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- لاهیجانی، ح؛ حایری اردکانی، ا؛ شریفی، آ؛ نادری بنی، ع. (۱۳۸۹). شاخص‌های رسوب‌شناختی و ژئوشیمیایی رسوبات خلیج گرگان. اقیانوس‌شناسی، سال اول، شماره ۱، صص. ۵۵-۴۵.
- لایقی، ب. (۱۳۸۲). پیش‌بینی عددی مشخصه‌های امواج ناشی از باد در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل MAM و اطلاعات ایستگاه هواشناسی بندر انزلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا. دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- لرستانی، ق. (۱۳۹۱). هیدرو دینامیک دریای خزر و تأثیر آن بر مورفولوژی خط ساحلی دلتای سفیدرود، رساله دکتری جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- لشته نشایی، م؛ اسلامی، ا؛ پیروی چشناسر، م. (۱۳۸۵). بررسی پتانسیل انتقال رسوب در سواحل دریای خزر. مجله بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران. دوره ۱۷، شماره ۵، صص. ۴۵-۳۹.
- معمد، ا. (۱۳۴۸). ارتباط طول سهم‌ها و دانه‌بندی رسوب در ساحل جنوبی دریای خزر، پدیده‌های ساحلی. نشریه دانشکده علوم. سال اول، شماره ۳، صص. ۱۱ - ۷.
- منصوری، د. (۱۳۸۶). بررسی امواج دریا در منطقه دریایی نور. نهمین همایش صنایع دریایی. ۱ تا ۳ آبان، نور.
- نیک پسند، د. (۱۳۷۲). پیش‌بینی موج در خلیج فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شمال.
- یحیایی میلانی، ع. (۱۳۷۷). بررسی امواج و فرایند انتقال (آب و رسوب) در سواحل ایرانی دریای خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی.
- یگانه بختیاری، ع؛ محمدیان، ف. (۱۳۸۷). بررسی اثر نوسان‌های سطح آب دریای خزر بر روی میزان انتقال رسوب کرانه‌ای در بندر انزلی. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران. ۱۷ تا ۱۹ اردیبهشت، تهران.
- David, A., Huntley, F. and Davidson, A., 2003, **Modeling Water Surface Topography at a Complex Inlet Ystem-Teignmouth**. Journal of Coastal Research, No. 36, PP. 675-685.
- Davies, A.G., Ribberink, J.S., Temperville, A. and Zyserman, J.A., 1997, **Comparison between Sediment Transport Models and Observations Made in Wave and Current Flows above Plane Beds**, Coastal Engineering, Vol. 31, No. 1-4, PP. 163-198.
- French, B. and Kerper, D., 2004, **Salinity Control as a Mitigation Strategy for Habitat Improvement of Impacted Stuaries**. 7th nnuual EPA Wetlands Workshop, NJ, USA.

- Hasselmann, S. and Hasselmann, K., 1985, **Computation and Parametrization of the Nonlinear Energy Transfer in a Gravity-Wave Spectrum, Part I: a New Method for Efficient Computation of the Exact Nonlinear Transfer Integral**: Physical Oceanography, Vol. 15, PP. 1369-1377.
- INCO, 1998, **TSS-1 Technical Report**. Iranian National Center for Oceanography. IR Iran. 15 p.
- Komen, G., Cavaleri, L., Donelan, L., Hasselmann, K., Hasselmann, S. and Janssen. P., 1994, **Dynamics and Modeling of Ocean Waves**, Cambridge University Press, Cambridge.
- Leedev, M.R., 1998, **Sedimentology, Processes and Product**. Unwin Hyman Publications. Australia. UNWIN Hyman.
- Leontiev, O.K., 1977, **Geomorphology of the Iranian Coast of the Caspian Sea**, Russian Academy of Sciences.
- Petersen, N.H., Rasch, P., 2005, **Modelling of the Asian Tsunami off the Coast of Northern Sumatra**, Presented at the 3rd Asia-Pacific DHI Software Conference in Kuala Lumpur, Malaysia, 21-22 February.
- Saavedra, I., Lopez, J., and Marunez, R., 2003, **Dynamic Wave Study of Flow in Tidal Channel System of San Juan River**. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 129, No. 7, PP. 519-526.
- Snyder, R. L., Dobson, F. W., Elliott, J. A., & Long, R. B., 1981, **Array Measurements of Atmospheric Pressure Fluctuations above Surface Gravity Waves**, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 102, PP.1-59.
- Sverdrup, H. U. and Munk, W. H., 1947, **Wind Sea and Swell; Theory of Relations for Forecasting**. U. S. Navy Hydrographic Office.
- Thach, N.N., Truc, N. N., Phuong Hau, L., 2007, **Studying Shoreline Change by Using LITPACK Mathematical Model (Case Study in Cat Hai Island, Hai Phong City, Vietnam)**. VNU Journal of Science, Earth Sciences, Vol. 23, PP. 244-252.
- Zenkovich, V.P., 1957, **Structure of the South-east Coast of the Caspian Sea**, USSR Academy of Sciences, Oceanographic Commission Works.