

برآورد شیب منطقه یورش امواج در منطقه ساحلی نور در فصل سرد

سیدعلی آزرمتسا*^۱، قاسم غایبی^۲

^۱ دانشیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
^۲ کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰، بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۱۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۶، نشر آنلاین: ۱۴۰۰/۵/۲۶

چکیده

منطقه یورش امواج یکی از اجزای سواحل است و شیب این منطقه یکی از پارامترهایی است که در مهندسی سواحل مطرح و مورد توجه است. اندازه‌گیری و برآورد این شیب به صورت علمی و بررسی تغییرات زمانی آن در سواحل ایران تاکنون انجام نشده است. هدف این تحقیق، اندازه‌گیری و مطالعه تغییرات زمانی شیب منطقه یورش امواج و پارامترهای مؤثر بر آن، به منظور استخراج معادله‌ای برای تخمین این شیب در منطقه ساحلی نور است. اندازه‌گیری‌های میدانی شیب و نمونه‌برداری رسوب در ۵ ایستگاه مختلف و در طی ماه‌های مختلف پاییز و زمستان صورت گرفت. اندازه‌گیری شیب با این روش امری انجام شده است. ارزیابی و آسانی کاربرد از مزایای این روش اندازه‌گیری است. نتایج بررسی شیب منطقه یورش امواج برای ایستگاه‌های متفاوت و ماه‌های مختلف در پاییز و زمستان نشان‌دهنده آن است که شیب منطقه یورش امواج برای این دوره شش ماهه بین ۱/۵٪ تا ۵٪ متغیر است. همچنین، شیب منطقه یورش امواج تابعی از ارتفاع موج و قطر میانه رسوبات است. با استفاده از معادله خطی ارائه شده در این تحقیق می‌توان مقدار این شیب را در منطقه ساحلی نور طی ماه‌های مهر تا اسفند با دقت مناسب برآورد کرد. ضمناً روش اندازه‌گیری و تحلیل داده‌ها در این تحقیق را می‌توان به عنوان الگویی برای انجام تحقیقات مشابه در سواحل دیگر به کار برد.

کلیدواژه‌ها: منطقه یورش امواج، شیب، ارتفاع موج، قطر رسوب، ساحل نور.

۱- مقدمه

نادر مقاومت کرده و از ساکنان مناطق ساحلی واقع در مجاورت دریاها و اقیانوس‌ها محافظت می‌کنند. سواحل همچنین نقش مهمی در اقتصاد دارند. گذراندن زمان در یک ساحل دریا یا اقیانوس یکی از فعالیت‌های طبیعت‌گردی در جهان است که به سرعت در حال رشد است.

وجود تقاضای زیاد برای بهره‌برداری بیشتر از مناطق ساحلی ضرورت انجام مطالعات و تحقیقات گسترده و متنوع در این مناطق را افزایش داده است. مطالعه بخش‌های مختلف سواحل نه تنها به عنوان یک تحقیق مستقل حائز اهمیت است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۱)، بلکه انجام این مطالعات می‌تواند در پیشبرد دیگر تحقیقات مطرح در خصوص مسائل هیدرولیکی و هیدرودینامیکی دریا نظیر؛ تغییر عمق، مشخصه‌های بستر، شکست امواج (Azarmsa و Yasuda، ۱۹۹۷)، الگوی رسوب‌گذاری در مناطق دریایی (Azarmsa و Vasselali، ۲۰۰۹)، انتقال رسوب موازی ساحل (صادقی‌فر و همکاران، ۱۳۹۲) و تغییر موقعیت خط ساحلی (آزرمتسا و رزمخواه، ۱۳۸۵؛ ۱۳۸۹) مؤثر باشد. نتایج این

ساحل یک منطقه ماسه‌ای، شنی، گلی یا سنگی است که در مجاورت یک پیکره آبی قرار گرفته است. انواع ساحل به‌ویژه بسته به مکان آن‌ها دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند. وقتی بیشتر ما به یک منطقه ساحلی فکر می‌کنیم، سواحل گسترده اقیانوس از جنس ماسه یا شنی با موج‌های توفنده، بادهای وزنده، مرغ‌های دریایی که در بالای سر ما پرواز می‌کنند، و زمینه‌ای از علف‌های ساحلی و تپه‌های ماسه‌ای را تصور می‌کنیم. با این حال، سواحل در مناطق شهری، در دهانه رودخانه‌ها و تالاب‌ها و دریاچه‌ها و رودخانه‌ها نیز یافت می‌شوند. ساحل همچنین محیطی حساس است که محل زندگی انواع گیاهان و حیوانات است.

سواحل فرصت‌های تفریحی زیادی را برای میلیون‌ها نفر فراهم می‌کنند. قایقرانی، ماهیگیری، شنا، پیاده‌روی در ساحل، تماشای پرندگان، بازی و آفتاب گرفتن از جمله فعالیت‌هایی مشترکی است که ساکنان یا گردشگران مناطق ساحلی از آن لذت می‌برند. سواحل با عملکردی شبیه یک حائل و مانع در برابر دریا در برابر وزش بادهای شدید و امواج ناشی از طوفان‌های قدرتمند یا امواج

معادلات و روابطی نیز توسط برخی از این محققین برای برآورد شیب پیشانی ساحل از روی سطح انرژی امواج و مشخصات رسوبی ساحل (نظیر قطر دانه رسوب، سرعت سقوط ذرات و یا جرم مخصوص رسوبات) در برخی از سواحل ارائه شده است. اما به دلیل وجود تفاوت‌های هیدرودینامیکی، مورفولوژیکی^۲ و رسوبی در مناطق ساحلی مختلف جهان و کمبود مطالعات انجام شده در این زمینه به دلیل نبود دانش بشری در مورد این مناطق، هنوز رابطه‌ای فراگیر و قابل استفاده در تمامی سواحل ارائه نشده است. اگرچه ویژگی‌های کلی پروفیل ساحلی و عوامل مؤثر بر آن تا حدودی شناخته شده هستند، تفاوت‌های محیط طبیعی سواحل در مناطق مختلف دنیا، تفاوت نیروهای مؤثر در سواحل مختلف، نحوه اندرکنش این عوامل و تفاوت در سیر تکاملی طی شده و وضعیت فعلی مورفولوژی این سواحل از جمله عواملی هستند که موجب بروز ویژگی‌های خاص در هر منطقه ساحلی شده است. بنابراین، انجام تحقیقات در مورد اجزای پروفیل ساحلی و بخصوص در مورد شیب منطقه یورش امواج در هر منطقه ساحلی ضروری، اجتناب‌ناپذیر و مورد توصیه است.

ساحل نور در جنوب دریای خزر واقع شده است. دریای خزر بزرگ‌ترین دریاچه جهان است که دارای خصوصیات مورفولوژیک و ویژگی‌های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی خاص خود است. عمق این دریاچه از مقادیر کم چند متر تا چند ده متر در ناحیه خزر شمالی در مجاورت روسیه تا اعماق قابل توجه چند صد متر و بیشینه حدود ۱۰۰۰ متر در ناحیه خزر جنوبی در سواحل ایران متغیر است. درحالی‌که عمق متوسط خلیج فارس حدود ۳۳ متر و عمق بیشینه آن حدود ۱۰۰ متر در تنگه هرمز است. امواج ناشی از باد در این دریا بسته به زمان و مکان از شدت کم تا متوسط برخوردار هستند. دامنه جزرومدی در این دریا، برخلاف وضعیت جزر و مد در خلیج فارس، دریای عمان و بسیاری از سواحل جهان، بسیار کوچک و قابل صرف نظر کردن است (Medvedev و همکاران، ۲۰۱۷).

تفاوت‌های هیدرودینامیکی^۳ و مورفولوژیکی قابل توجهی بین سواحل خزر با دیگر سواحل وجود دارد. بنابراین، انجام تحقیقات در این مناطق ساحلی بکر به منظور ایجاد شناختی صحیح از نحوه و محدوده تغییرات پارامترهای فیزیکی مطرح در این سواحل ضروری است. به علاوه، توجه به رشد اقتصادی دریامحور در کشور در سال‌های اخیر و چشم‌انداز توسعه فعالیت‌های مهندسی در سواحل ایران در سال‌های آتی نیز تأمین داده‌های واقعی و قابل اتکا برای انجام فعالیت‌های پژوهشی و مهندسی مرتبط با این سواحل را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. اما جستجوها و بررسی‌های انجام شده

مطالعات حتی در زمینه‌های کاربردی و اقتصادی نیز قابل استفاده است.

شیب منطقه یورش امواج یکی از اجزاء پروفیل ساحلی و از پارامترهای مطرح در مهندسی سواحل است. مطالعات و تحقیقات متنوعی در مورد پروفیل ساحلی و اجزای آن در دنیا انجام شده است (Southgate و Moller، ۲۰۰۰؛ Rakha و همکاران، ۱۹۹۷؛ Stive و De Vriend، ۱۹۹۵؛ Geological Survey و همکاران، ۱۹۸۸؛ Avdeev و همکاران، ۲۰۰۹). ولیکن، انجام تحقیقات مشابه بخصوص در مورد شیب منطقه یورش امواج در ایران نادر است. به طور کلی، امواج، جزر و مد، باد و رسوبات ساحلی عوامل اصلی تأثیرگذار بر مورفولوژی یک منطقه ساحلی به حساب می‌آیند (Eliot و Clarke، ۱۹۸۸؛ Andrade، ۱۹۹۸؛ Bernabeu و همکاران، ۲۰۰۳؛ آزر، سا، ۱۳۹۸).

روابط بین اندازه دانه‌های رسوبات ساحلی، شیب منطقه یورش امواج و انرژی امواج توسط محققان زیادی در طول سال‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. شیب منطقه یورش امواج به طور کلی با اندازه دانه رسوب و میزان محافظت در برابر انرژی موج افزایش می‌یابد. این رابطه برای اولین بار با داده‌های میدانی (Bascom، ۱۹۵۱) توصیف شد.

چند سال بعد King (۱۹۷۲) تجزیه و تحلیل همبستگی چند متغیره‌ای را روی داده‌های ۲۷ ساحل با شرایط کاملاً متفاوت انجام داد. متغیرهای مورد بررسی شامل شیب منطقه یورش امواج، اندازه دانه، میزان جورشدگی رسوبات، دامنه جزر و مدی و سطح انرژی امواج در منطقه بود. این تجزیه و تحلیل نشان داد که بین شیب منطقه یورش امواج، اندازه دانه رسوب و انرژی موج ارتباط معنی‌داری وجود دارد. ولیکن، هیچ ارتباط معنی‌داری بین شیب منطقه یورش امواج و میزان جورشدگی رسوبات یا دامنه جزر و مدی در سواحل مورد مطالعه در تحقیقات King یافت نشد. بنابراین، معادله‌ای برای شیب منطقه یورش امواج بر اساس اندازه دانه رسوب و انرژی موج استخراج شد. درعین حال، انرژی موج مورد استفاده در معادله ارائه شده با توجه به طول بادگیر^۱ و زاویه جهت‌گیری ساحل نسبت به جهت موج غالب تنظیم شده بود، طوری که استفاده از معادله پیشنهادی را مشکل و پیچیده کرده است.

یافته‌های حاصل از نتایج آنالیز همبستگی King که بر اهمیت انرژی امواج و اندازه دانه رسوب در شکل‌دهی و میزان شیب منطقه یورش امواج تأکید دارد، با نتایج چندین محقق دیگر مطابقت دارد (Bascom، ۱۹۵۱ و ۱۹۵۲؛ Leadon، ۲۰۱۵؛ Kirk و McLean، ۱۹۶۹؛ Shepard، ۱۹۶۳؛ Sunamura، ۱۹۷۵؛ Wiegel، ۱۹۸۴؛ Inman و همکاران، ۱۹۶۳).



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه مورد تحقیق در شهرستان نور

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌ها

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	فاصله از قبلی (m)
۱	۵۲° ۲' ۵۵" E	۳۶° ۳۵' ۵۴" N	۰
۲	۵۲° ۲' ۴۵" E	۳۶° ۳۵' ۵۳" N	۲۸۵
۳	۵۲° ۲' ۳۶" E	۳۶° ۳۵' ۵۲" N	۲۲۵
۴	۵۲° ۲' ۲۴" E	۳۶° ۳۵' ۵۰" N	۲۳۳
۵	۵۲° ۲' ۱۵" E	۳۶° ۳۵' ۴۹" N	۲۳۰

در این تحقیق، شیب منطقه یورش امواج با روش Emery (۱۹۶۱) در محل پنج ایستگاه و در ماه‌های مختلف مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همچنین، اندازه مشخصه قطر رسوبات ساحل به صورت قطر میانه رسوبات و ارتفاع امواج با نماگرهای مناسب مانند ارتفاع موج مشخصه و ارتفاع موج شکنا به عنوان کمیت‌های فیزیکی و عوامل اصلی مؤثر بر شیب منطقه یورش امواج انتخاب و تأثیر آن‌ها بر شیب منطقه یورش امواج مورد مطالعه قرار گرفته است. البته به طور کلی جزرومد را نیز می‌توان به عنوان یک کمیت احتمالاً مؤثر مورد بررسی قرار داد، ولیکن با توجه به قابل توجه نبودن اثر آن در دریای خزر از مجموعه عوامل مؤثر در منطقه مطالعاتی حذف شد.

به منظور تعیین قطر میانه رسوبات، D، نمونه‌های رسوب از هر ایستگاه در نقطه تقاطع با خط ساحلی و به صورت ماهانه تهیه شده است. در ادامه و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، انجام عملیات خشک کردن در آون در دمای ۱۰۵ درجه، جداسازی رسوبات با قطرهای مختلف به وسیله دستگاه شیکر^۵ و مجموعه الک‌های استاندارد، و تحلیل و ترسیم منحنی دانه‌بندی، قطر میانه نمونه‌های رسوب تعیین شد.

اطلاعات ارتفاع موج مشخصه، HS، در ناحیه فراساحل منطقه مورد مطالعه و برای روزهای مورد نظر در دوره مطالعاتی از پایگاه داده مشخصه‌های دریایی سازمان بنادر و دریانوردی دریافت شده است (جدول (۲)).

بیانگر آن است که تاکنون تحقیقی در زمینه اندازه‌گیری و برآورد شیب منطقه یورش امواج در منطقه ساحلی نور انجام نشده است. در این تحقیق، بررسی ارتباط بین پارامترهای اصلی مورد تأکید در تحقیقات پیشین مورد توجه قرار گرفته است. لذا، سعی شده تا با اندازه‌گیری و تحقیق در مورد شیب منطقه یورش امواج، قطر رسوبات و ارتفاع امواج در منطقه ساحلی نور، علاوه بر بررسی تغییرات زمانی این پارامترها، مستقیماً معادله‌ای مناسب و کاربردی برای این منطقه استخراج شود که بتواند شیب منطقه یورش امواج در ساحل نور را در فصل سرد به صورت تابعی از این دو عامل با دقت خوب برآورد کند.

۲- روش تحقیق

نقشه منطقه مورد تحقیق در ساحل نور در شکل (۱) و محل ایستگاه‌های در نظر گرفته شده در شکل (۲) نشان داده شده است. موقعیت و مختصات جغرافیایی محل ایستگاه‌ها با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب ماهواره‌ای ثبت و فاصله بین ایستگاه‌ها و در نتیجه، فاصله هر ایستگاه از ایستگاه قبلی از روی این اطلاعات محاسبه شد. در جدول (۱) طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه و فاصله از ایستگاه‌ها قبلی ارائه شده است.

در این تحقیق، شیب منطقه یورش امواج با روش امری (Emery, ۱۹۶۱) در محل پنج ایستگاه و در ماه‌های مختلف مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. همچنین، اندازه مشخصه قطر رسوبات ساحل به صورت قطر میانه رسوبات و ارتفاع امواج با نماگرهای مناسب مانند ارتفاع موج مشخصه و ارتفاع موج شکنا^۴ به عنوان کمیت‌های فیزیکی و عوامل اصلی مؤثر بر شیب منطقه یورش امواج انتخاب و تأثیر آن‌ها بر شیب منطقه یورش امواج مورد مطالعه قرار گرفته است. البته به طور کلی جزرومد را نیز می‌توان به عنوان یک کمیت احتمالاً مؤثر مورد بررسی قرار داد، ولیکن با توجه به قابل توجه نبودن اثر آن در دریای خزر از مجموعه عوامل مؤثر در منطقه مطالعاتی حذف شد.

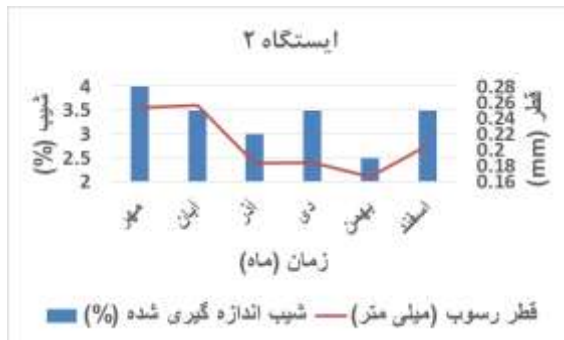


شکل ۱- نقشه محل تحقیق در شهرستان نور

جدول ۲- ارتفاع امواج در دوره بررسی

ماه	ارتفاع موج (m)
مهر	۰/۶۹
آبان	۰/۷۰
آذر	۰/۷۵
دی	۰/۶۰
بهمن	۰/۷۱
اسفند	۰/۷۶

همراه بوده، سپس تا آذر کاهش یافته، بعد تا دی با صرف نظر از تغییرات جزئی، تقریباً ثابت مانده، در بهمن کاهش و نهایتاً در اسفند مقداری افزایش یافته است. اگرچه، قطر میانه رسوبات در اسفند بیشتر از قطر میانه رسوبات در آذر، دی و بهمن است، ولیکن کماکان از مقدار قطر میانه رسوبات در مهر و آبان کم تر است.

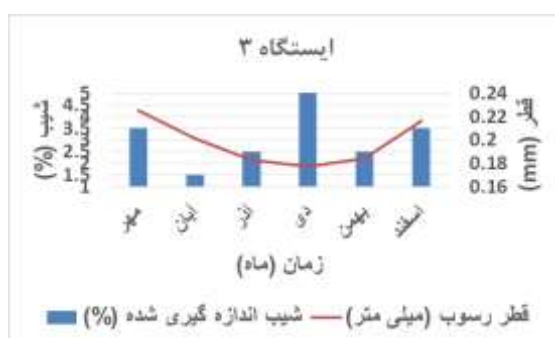


۳- نتایج و بحث

در شکل‌های (۳) تا (۷) تغییرات زمانی شیب اندازه‌گیری شده در منطقه یورش امواج (مطابق راهنمای شکل‌ها، محور قائم سمت چپ مربوط به میله‌های آبی رنگ) و قطر میانه رسوب حاصل از نمونه‌برداری رسوبات و تجزیه تحلیل آزمایشگاهی آن‌ها (مطابق راهنمای اشکال، محور قائم سمت راست مربوط به منحنی‌های قرمز رنگ) برای ماه‌های مختلف در فصل‌های پاییز و زمستان (محور افقی) بررسی شده‌اند. در دوره مطالعاتی و در ایستگاه یک، شیب منطقه یورش امواج اندازه‌گیری شده در دامنه ۲/۵ تا ۳/۵ درصد تغییر کرده است (شکل (۳)). در ماه مهر و آبان شیب اندازه‌گیری شده ثابت، در آذر کاهش، در دی افزایش، در بهمن بدون تغییر و در اسفند مجدداً کاهش یافته است. قطر میانه از مهر تا آبان افزایش و در آذر و دی کاهش یافته است ولی در بهمن مجدداً افزایش و در اسفند کاهش یافته است.

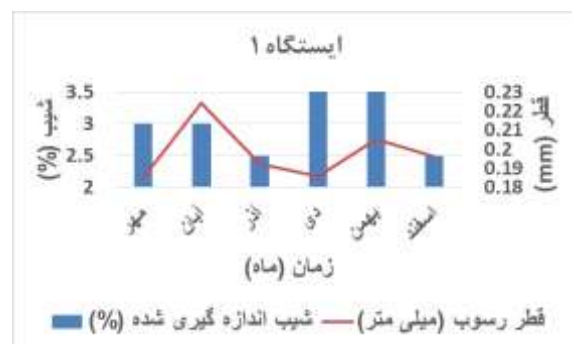
شکل ۴- بررسی تغییرات زمانی شیب منطقه یورش امواج اندازه‌گیری شده (محور قائم سمت چپ) و قطر میانه رسوبات (محور قائم سمت راست) در پاییز و زمستان در ایستگاه ۲

در ایستگاه ۳ (شکل (۵)) شیب اندازه‌گیری شده در منطقه یورش امواج بین ۱/۵ تا ۵ درصد متغیر است. شیب اندازه‌گیری شده از مهر تا آبان کاهشی، سپس تا آذر و در ادامه و با شیب تندتر تا دی افزایشی است و به مقدار ۵٪ می‌رسد. در ادامه، در بهمن کاهشی و نهایتاً در اسفند افزایشی است، به طوری که به مقداری تقریباً برابر مقدار شیب منطقه یورش امواج در مهر می‌رسد. در این ایستگاه، قطر میانه از مهر تا دی کاهش و در بهمن و اسفند افزایش می‌یابد.



شکل ۵- بررسی تغییرات زمانی شیب منطقه یورش امواج اندازه‌گیری شده (محور قائم سمت چپ) و قطر میانه رسوبات (محور قائم سمت راست) در پاییز و زمستان در ایستگاه ۳

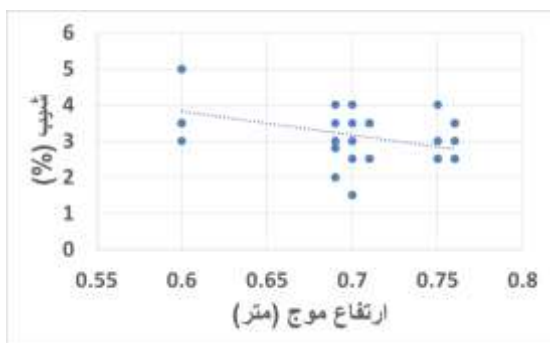
در ایستگاه ۴ (شکل (۶)) در دوره مطالعاتی، شیب اندازه‌گیری شده در منطقه یورش امواج از مهر تا مقدار ۲/۸ درصد به سمت آبان با مقدار ۲/۵ درصد کاهش و از آبان تا دی تا مقدار ۵ درصد



شکل ۳- بررسی تغییرات زمانی شیب منطقه یورش امواج اندازه‌گیری شده (محور قائم سمت چپ) و قطر میانه رسوبات (محور قائم سمت راست) در پاییز و زمستان در ایستگاه ۱

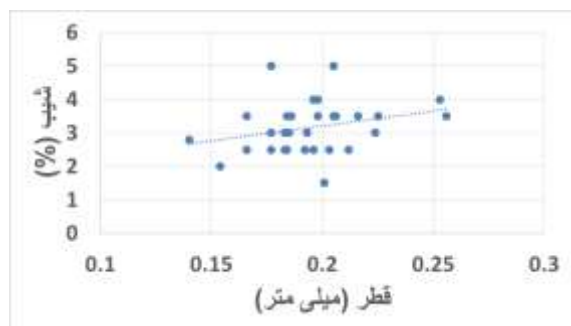
در ایستگاه ۲ (شکل (۴)) در دوره مطالعاتی، شیب اندازه‌گیری شده در منطقه یورش امواج بین ۲/۵ تا ۴ درصد تغییر کرده است. از ماه مهر به سمت ماه آذر شیب اندازه‌گیری شده کاهش را نشان می‌دهد. سپس، در دی افزایش، در بهمن کاهش و در اسفند مجدداً افزایش یافته و به مقدار شیب مشاهده شده در دی و آبان که در واقع مقدار متوسط شیب در طول دوره مطالعاتی است، نزدیک می‌شود. قطر میانه رسوبات از مهر تا آبان با افزایش بسیار جزئی

با توجه به شکل‌های (۳) تا (۷) مشخص می‌شود که شیب منطقه یورش امواج به‌صورت مکانی از ایستگاهی به ایستگاه دیگر و به‌صورت زمانی و برای ماه‌های مختلف در پاییز و زمستان ۹۲ بین ۱/۵٪ تا ۵٪ متغیر می‌باشد. با بررسی منحنی روند داده‌ها در نمودار همبستگی شیب اندازه‌گیری شده (محور قائم) با ارتفاع موج مشخصه در آب عمیق (محور افقی) (شکل (۸)) مشخص می‌شود که با افزایش ارتفاع موج آب عمیق، شیب کاهش می‌یابد. یعنی بین ارتفاع موج و شیب منطقه یورش امواج رابطه عکس وجود دارد.



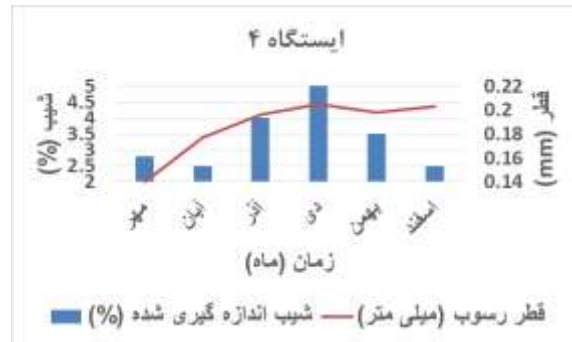
شکل ۸- بررسی ارتباط بین شیب منطقه یورش امواج و ارتفاع موج آب عمیق، Hs

از طرفی با توجه به منحنی روند داده‌ها در شکل (۹) مشاهده می‌شود که با افزایش قطر میانه رسوب (محور افقی) شیب اندازه‌گیری شده (محور قائم) نیز روند افزایشی دارد. ناهنجاری‌های مشاهده شده که عامل پراکندگی داده‌ها حول منحنی روند هستند نیز می‌توانند ناشی از عوامل مؤثر دیگری باشند. اصلی‌ترین این عوامل عبارت‌اند از شکل و موقعیت فیزیکی ساحل، تفاوت مشخصه‌های رسوبی در ایستگاه‌های مختلف و تفاوت مشخصه‌های لحظه‌ای امواج و وضعیت دریا به‌هنگام اندازه‌گیری شیب با مشخصه امواج گزارش شده که به‌صورت متوسط روزانه است، باشد.



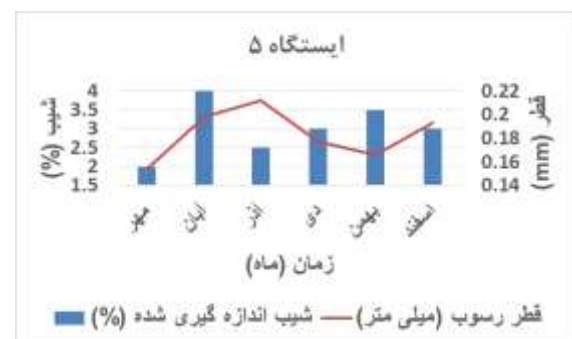
شکل ۹- بررسی ارتباط بین شیب منطقه یورش امواج و قطر میانه رسوبات، D

افزایش یافته و سپس روند کاهشی داشته و در اسفند به مقدار ۲/۵ درصد مشابه مقدار شیب مشاهده شده در آبان و نزدیک به مقدار شیب اندازه‌گیری شده در مهرماه می‌رسد. قطر میانه رسوبات به نرمی ولی برخلاف آنچه در ایستگاه ۳ مشاهده می‌شود، از مهر از مقدار ۰/۱۴۰mm تا دی‌ماه تا مقدار ۰/۲۰۵mm افزایش و سپس در بهمن کاهش و در اسفند افزایش یافته و به مقدار تقریباً مشابه قطر میانه رسوب در دی می‌رسد.



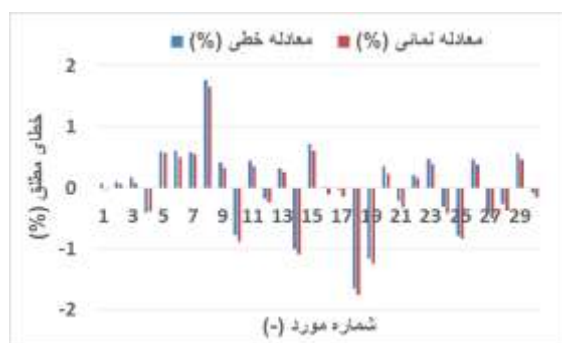
شکل ۶- بررسی تغییرات زمانی شیب منطقه یورش امواج اندازه‌گیری شده (محور قائم سمت چپ) و قطر میانه رسوبات (محور قائم سمت راست) در پاییز و زمستان در ایستگاه ۴

در ایستگاه ۵ (شکل (۷)) شیب اندازه‌گیری شده در منطقه یورش امواج از مقدار کمینه ۲ درصد در مهر تا مقدار بیشینه ۴ درصد در آبان ماه افزایش یافته و سپس با کاهش مجدداً در آذر ماه به مقدار ۲/۵ درصد رسیده و بعد تا مقدار ۳/۵ درصد در بهمن افزایش و نهایتاً با کاهش به مقدار معتدل تر ۳ درصد در اسفند می‌رسد. قطر میانه رسوبات نیز از مقدار کمینه خود (۰/۱۵۴mm) در مهر ماه تا مقدار بیشینه (۰/۲۱۲mm) در آذر افزایش و سپس با کاهش طی ماه‌های دی و بهمن به مقدار (۰/۱۶۶mm) رسیده و نهایتاً با افزایش در اسفند ماه به مقدار ۰/۱۹۳mm می‌رسد.



شکل ۷- بررسی تغییرات زمانی شیب منطقه یورش امواج اندازه‌گیری شده (محور قائم سمت چپ) و قطر میانه رسوبات (محور قائم سمت راست) در پاییز و زمستان در ایستگاه ۵

بخشی از آنالیز خطای انجام شده بر روی نتایج به دست آمده از معادله‌های خطی و نمائی برازش داده شده بر داده‌های اندازه-گیری شده در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف در شکل (۱۱) و جدول (۳) ارائه شده است. در این شکل محور قائم نشان‌دهنده مقدار خطای مطلق هر معادله و محور افقی بیانگر شماره داده‌های اندازه‌گیری شده است.



شکل ۱۱- مقایسه خطای مطلق معادله‌های خطی و نمائی برازش داده شده بر داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف (محور قائم) در ماه‌های پاییز و زمستان. محور افقی بیانگر شماره داده‌های مورد استفاده در بررسی است

جدول ۳- مقایسه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)

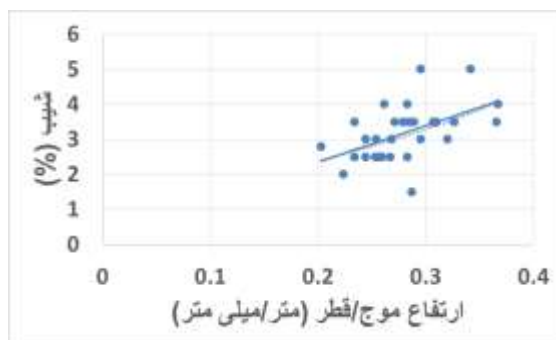
معادله‌های خطی و نمائی در برآورد شیب برحسب درصد		
شماره	معادله خطی	معادله نمائی
جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE)	۰/۶۵۹۳	۰/۶۶۳۲

به‌طور کلی میزان و جهت خطای پیش‌بینی توسط هر دو معادله کم‌وبیش مشابه است. اما وقتی مقادیر پیش‌بینی شده بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده (خطاهای مثبت) باشد، تخمین‌های معادله خطی بالاتر از برآوردهای معادله نمائی است. همچنین، هنگامی که مقادیر پیش‌بینی پایین‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده (خطاهای منفی) است، تخمین‌های معادله خطی پایین‌تر از برآوردهای معادله نمائی است.

بررسی‌ها بیانگر آن است که خطای جذر متوسط مربعات برای معادله خطی کمتر از خطای جذر متوسط مربعات برای معادله نمائی است (جدول (۳)). ضمناً، معادله خطی ساده‌تر است. بنابراین، استفاده از معادله خطی برای برآورد شیب منطقه یورش امواج در فصل سرد در منطقه مطالعاتی توصیه می‌شود.

شکل (۱۲) نشان می‌دهد که چگونه داده‌های به دست آمده از شیب محاسبه شده با استفاده از معادله خطی (محور افقی) و شیب اندازه‌گیری شده (محور قائم) در اطراف خط $Y=X$ پراکنده شده‌اند. به‌طور کلی، داده‌ها به نحو نسبتاً مطلوبی حول خط $Y=X$ قرار

بنابراین، می‌توان چنین استنتاج کرد که به‌طور کلی ارتباط مستقیمی بین شیب منطقه یورش امواج و قطر میانه رسوبات و ارتباط معکوسی بین شیب منطقه یورش امواج و ارتفاع موج وجود دارد. لذا، با توجه به نتایج به دست آمده در شکل‌های (۸) و (۹) ارتباط شیب منطقه یورش امواج با یک پارامتر ترکیبی جدید به صورت نسبت قطر رسوبات (برحسب میلی‌متر) به ارتفاع موج (برحسب متر) در نظر گرفته شد (شکل (۱۰)).



شکل ۱۰- مقایسه شیب منطقه یورش امواج اندازه‌گیری شده (داده‌های نقطه‌ای) با شیب محاسبه شده از رابطه‌های خطی و نمائی (منحنی‌های برازش شده بر داده‌ها) برای دوره و منطقه مطالعاتی

شکل (۱۰) بیانگر روند افزایشی شیب منطقه یورش امواج (محور عمودی (y)) با پارامتر نسبت قطر رسوب به ارتفاع موج (محور افقی (x)) است. این شکل همچنین، نشان‌دهنده امکان در نظرگیری شیب به صورت تابعی از پارامتر نسبت قطر رسوب به ارتفاع موج است. بنابراین، امکان پیش‌بینی شیب منطقه یورش امواج با استفاده از منحنی‌های مختلف برازش شده بر داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برازش‌ها با استفاده از روش حداقل مربعات انجام شدند. سرانجام، دو منحنی مناسب‌تر انتخاب شده و در شکل (۱۰) ارائه شده است. این منحنی‌ها توابع خطی و نمایی (معادلات (۱) و (۲)) از متغیر تعریف شده به صورت نسبت قطر میانه رسوبات (برحسب میلی‌متر) به ارتفاع موج عمیق آب (برحسب متر) هستند (معادله (۳)).

$$y=10.4x+0.28 \quad (1)$$

$$y=1.27 e^{(3.17x)} \quad (2)$$

$$x=D/H_0 \text{ [mm/m]} \quad (3)$$

در این معادلات x مطابق معادله (۳)، به صورت نسبت قطر میانه رسوبات به ارتفاع موج تعریف شده است و y بیانگر شیب منطقه یورش امواج است.

مربوط به تفاوت در طبیعت سواحل مورد بررسی در آن تحقیقات با طبیعت ساحل نور در دوره این تحقیق است. از جمله می توان به تفاوت در محدوده تغییرات اندازه ماسه در منطقه ساحلی نور با محدوده تغییرات قطر رسوبات در مناطق ساحلی مورد تحقیق آن محققین اشاره کرد. به طور نمونه محدوده تغییرات قطر میانه رسوبات به ترتیب در تحقیقات Wiegel (۱۹۶۴) در آمریکا از ۰/۱۵ تا ۰/۸۵ میلی متر، Sunamura (۱۹۷۵) در ژاپن از ۰/۲ تا ۱/۰ میلی متر، Hijma و Lodder (۲۰۰۲) در نیوزلند از ۰/۱۵ تا ۰/۳۵ میلی متر و Silveria (۲۰۱۷) در پرتغال از ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ میلی متر بوده است در حالی که در این تحقیق محدوده تغییرات قطر میانه ماسه در ساحل نور در دوره اندازه گیری از ۰/۱۴۰ میلی متر (در ایستگاه ۴ در ماه مهر) تا ۰/۲۵۶ میلی متر (در ایستگاه ۲ ماه آبان) است.

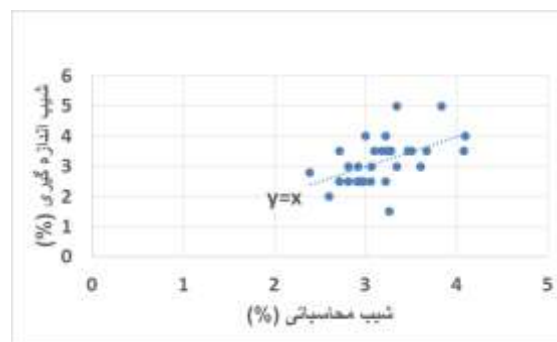
۴- نتیجه گیری

نتایج تحقیق بیانگر آن است که شیب منطقه یورش امواج به صورت مکانی از ایستگاهی به ایستگاه دیگر و به صورت زمانی و برای ماه های مختلف در پاییز و زمستان ۹۲ بین ۱/۵٪ تا ۵٪ متغیر می باشد. قطر میانه رسوبات نیز از مقدار کمینه خود (۰/۱۵۴mm) در مهر ماه تا مقدار بیشینه (۰/۲۱۲mm) در آذر تغییر می کند.

همچنین از نتایج مشخص شد که در تطابق با نتایج حاصل از تحقیقات برخی از محققین، با افزایش ارتفاع موج آب عمیق، شیب منطقه یورش امواج در منطقه ساحلی نور نیز کاهش می یابد. اما در تفاوت با نتایج آن محققین، با افزایش قطر میانه رسوب این شیب صرفاً تا حدودی افزایش می یابد. بنابراین، یک پارامتر ترکیبی جدید به صورت نسبت قطر رسوبات (بر حسب میلی متر) به ارتفاع موج (بر حسب متر) تعریف شد که بررسی ها بیانگر ارتباط افزایشی شیب منطقه یورش امواج با این پارامتر ترکیبی جدید است. مشاهدات نشان دهنده ارتباط قوی تر شیب منطقه یورش امواج با پارامتر ترکیبی جدید نسبت به ارتباط این شیب با هر یک از پارامترهای ارتفاع موج و قطر رسوبات به صورت جداگانه است. به علاوه کاربرد این پارامتر جدید موجب ساده تر شدن معادله پیش بینی شیب منطقه یورش امواج نسبت به معادلات پیشنهادی توسط برخی از محققین شده و لذا استفاده از آن توصیه می گردد. سپس، امکان پیش بینی شیب منطقه یورش امواج با استفاده از منحنی های مختلف برازش شده بر داده ها مورد بررسی قرار گرفت. برازش ها با استفاده از روش حداقل مربعات انجام شدند. سرانجام، دو منحنی مناسب تر برازش داده شده بر داده ها با استفاده از معادلات خطی و نمائی انتخاب شده و با استفاده از آنالیز خطا، کارایی این دو معادله مورد مقایسه قرار گرفت. به طور کلی میزان و جهت خطای پیش بینی توسط هر دو معادله کم و بیش مشابه است. ولیکن، بررسی ها مشخص کرد که خطای جذر متوسط مربعات

گرفته اند و این مسئله دقت معادله پیشنهادی برای منطقه ساحلی نور را نشان می دهد. در عین حال، پراکندگی که در داده ها مشاهده می شود به این علت است که محیط طبیعی ترکیبی از تعداد زیادی سیستم پیچیده فیزیکی است که به طور مستقیم روی داده ها اثر می گذارند.

بخشی از پراکندگی در داده ها می تواند با عواملی نظیر؛ تغییرات زمانی و مکانی قطر میانه، تغییرات زمانی ارتفاع امواج، و خطاهای دستگاهی و انسانی در اندازه گیری شیب منطقه یورش امواج، مرتبط باشد. البته در مجموع معادله خطی داده شده قادر است تا با دقت مناسبی مقدار شیب منطقه یورش امواج را برای کارهای میدانی ارائه نماید. برای دستیابی به برآوردهای دقیق تری از شیب منطقه یورش امواج، انجام تحقیقات مشابه در سال های مختلف و مناطق ساحلی متفاوت پیشنهاد می شود.



شکل ۱۲- بررسی الگوی پراکندگی داده های محاسبه شده با استفاده از معادله خطی پیشنهادی و شیب اندازه گیری شده در اطراف خط $Y=X$ (نشان داده شده به صورت نقطه چین)

مقایسه نتایج حاصل از معادله پیشنهادی برای برآورد شیب منطقه یورش امواج (معادله (۱)) با نتایج اندازه گیری شده و کوچک بودن مقادیر خطاهای حاصل نشان دهنده اعتبار و کارایی این معادله است. علاوه بر آن، شکل تابعی این معادله نشان دهنده آن است که شیب منطقه یورش امواج در تطابق با نتایج حاصل از تحقیقات برخی از محققین (Sunamura, ۱۹۷۵ و ۱۹۸۴؛ Wiegel, ۱۹۶۴)، با افزایش ارتفاع موج آب عمیق، شیب منطقه یورش امواج در منطقه ساحلی نور نیز کاهش می یابد. همچنین، برخی از تحقیقات مرتبط با موضوع بیانگر افزایش شیب با افزایش اندازه دانه رسوب است (Bascom, ۱۹۵۱ و ۱۹۵۲؛ Leadon, ۲۰۱۵؛ Kirk و McLean, ۱۹۶۹؛ Shepard, ۱۹۶۳؛ Sunamura, ۱۹۷۵ و ۱۹۸۴؛ Wiegel, ۱۹۶۴).

در ساحل نور نیز روند تقریباً مشابه با نتایج این محققین مشاهده می شود، با این تفاوت که با افزایش قطر میانه رسوب این شیب صرفاً تا حدود کمی افزایش می یابد. این تفاوت احتمالاً

- Avdeev AV, Goriounov EV, Lavrentiev Jr MM, Spigler R, "A behavior-oriented model for long-term coastal profile evolution: Validation, identification, and prediction", *Applied mathematical modelling*, 2009, 33 (10), 3981-3996.
- Azarmsa SA, Yasuda T, "Deformation and decay of different classes of breakers", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 1997, 123 (4), 200-207.
- Bascom WN, "The relationship between sand size and beach-face slope", *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 1951, 32 (6), 866-874.
- Bascom WN, "Beach characteristics", In: O'Brien, M.P.; Johnson, J.W., and Wiegel, R.L. (eds.), *Manual of Amphibious Oceanography, Volume 1*. Office of Naval Research Contract No. N7onr29535. Berkeley, California: University of California, Berkeley, Section I: I, 58-156, 1952.
- Bernabeu AM, Medina R, Vidal C, "A morphological model of the beach profile integrating wave and tidal influences", *Marine Geology*, 2003, 197 (1-4), 95-116.
- Eliot IG, Clarke DJ, "Semi-diurnal variation in beachface aggradation and degradation", *Marine Geology*, 1988, 79 (1-2), 1-22.
- Emery KO, "A simple method of measuring beach profiles", *Limnology and Oceanography*, 1961, 6 (1), 90-93.
- Geological Survey (US), Reimnitz E, Graves SM, Barnes PW, "Beaufort Sea coastal erosion, sediment flux, shoreline evolution, and the erosional shelf profile", *The Survey*, 1988.
- Hijma M, Lodder Q, "On the correlation between beach slope and sediment parameters from the Coromandel Peninsula, New Zealand", Report for the Department of Earth Sciences at University Utrecht, The Netherlands, and University of Waikato, New Zealand, 2002.
- Inman DL, Gayman WR, Cox DC, "Littoral sedimentary processes on Kauai, a subtropical high island", *Pacific Sci.*, v. 17, 1963.
- King CA, "Beaches and Coasts", New York: St. Martin, 1972, 570p.
- Leadon M, "Beach slope and sediment-grain-size trends as a basis for input parameters for the SBEACH erosion model", *Journal of Coastal Research*, 2015, 31 (6), 1375-1388.
- McLean RF, Kirk RM, "Relationships between grain size, size-sorting, and foreshore slope on mixed sand-shingle beaches", *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1969, 12 (1), 138-155.
- Medvedev IP, Kulikov EA, Rabinovich AB, "Tidal oscillations in the Caspian Sea", *Oceanology*, 2017, 57 (3), 360-375.
- Rakha KA, Deigaard R, Brøker I, "A phase-resolving cross shore sediment transport model for beach profile evolution", *Coastal Engineering*, 1997, 31 (1-4), 231-261.
- Shepard FP, "Submarine Geology", New York: Harper & Row, 1963, 557p.
- Silveira TM, "Geomorphological framework control on beach dynamics", PhD Thesis, University of Lisboa, Portugal, 2017.

برای معادله خطی کمتر از خطای جذر متوسط مربعات برای معادله نمائی است. ضمناً، کاربرد معادله خطی ساده‌تر است. بنابراین، استفاده از معادله خطی ارائه‌شده در این تحقیق برای برآورد شیب منطقه یورش امواج در فصل سرد در ساحل نور توصیه می‌شود.

خطاهای موجود در نتایج این تحقیق می‌توانند با عواملی نظیر؛ تغییرات زمانی و مکانی قطر میانه رسوبات، تغییرات زمانی ارتفاع امواج و خطاهای دستگاهی و انسانی در اندازه‌گیری شیب منطقه یورش امواج، مرتبط باشند. البته در مجموع معادله خطی داده‌شده قادر است تا با دقت مناسبی مقدار شیب منطقه یورش امواج را برای کارهای میدانی برآورد نماید. برای دستیابی به برآوردهای دقیق‌تری از شیب منطقه یورش امواج، انجام تحقیقات مشابه در سال‌های مختلف و مناطق ساحلی متفاوت پیشنهاد می‌شود. انجام تحقیقات، به‌خصوص در مورد مسائل دریایی معمولاً مستلزم صرف هزینه‌های گزاف و کاربرد تجهیزات گران‌قیمت توسط کارشناسان و متخصصان مسلط به استفاده از آن تجهیزات می‌باشد. از مزایای این تحقیق آن است که اندازه‌گیری‌های موردنیاز با استفاده از یک روش ارزان قیمت انجام شده است و کاربرد تجهیزات اندازه‌گیری آن نیز آسان است. بنابراین، روش اندازه‌گیری و تحلیل داده‌ها در این تحقیق را می‌توان به‌عنوان الگویی برای انجام تحقیقات مشابه در سواحل دیگر به‌کار برد.

۵- مراجع

- آزرمتسا، س.ع، "مقدمه‌ای بر امواج آبی ناشی از باد"، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۸، ۳۴۸.
- آزرمتسا س.ع، رزمخواه ف، "بررسی موقعیت خط ساحلی در خلیج چابهار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مجله علمی- پژوهشی علوم زمین، ۱۳۸۵، ۶۰ (۱۵)، ۸۷-۸۰.
- آزرمتسا س.ع، رزمخواه ف، "پیش‌بینی موقعیت و نحوه تغییرات خط ساحلی در خلیج پزم تا سال ۲۰۱۰"، مجله فیزیک زمین و فضا، ۱۳۸۹، ۳۶ (۴)، ۹۸-۸۹.
- علیزاده ق، آزرمتسا س.ع، مهدی‌زاده م.م، ترابی م، "پیش‌بینی برخی از مشخصه‌های مورفولوژیک ساحل نور با استفاده از سرعت سقوط دانه‌های رسوب"، نهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی (ICOPMAS, 2010)، تهران، ۱۳۸۹، ۱۰-۸ آذر، ۱۹۲-۱۸۷.
- صادقی فر ط، آزرمتسا س.ع، وفاخواه م، "تخمین مقدار انتقال رسوب در امتداد ساحل با استفاده از فرمول‌های نیمه‌تجربی و شبکه عصبی مصنوعی در سواحل نور"، نشریه مهندسی دریا، ۱۳۹۲، ۱۷ (۹)، ۸۶-۷۷.
- Andrade CF, "Dynamics, erosion and conservation of beach areas", Parque Expo, Lisbon, Portugal, 1998.

- Sunamura T, "Static relationship among beach slope, sand size, and wave properties", *Geographical Review of Japan*, 1975, 48 (7), 485-489.
- Sunamura T, "Quantitative predictions of beach-face slopes", *Geological Society of America Bulletin*, 1984, 95 (2), 242-245.
- Southgate HN, Möller I, "Fractal properties of coastal profile evolution at Duck, North Carolina", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2000, 105 (C5), 11489-11507.
- Stive MJ, De Vriend HJ, "Modelling shoreface profile evolution", *Marine Geology*, 1995, 126 (1-4), 235-248.
- Vaselali A, Azarmtsa SA, "Analysis of breakwater construction effects on sedimentation pattern", *Journal of Applied Sciences*, 2009, 9 (19), 3522-3530.
- Wiegel RL, "Oceanographical Engineering", Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1964, 532p.

EXTENDED ABSTRACT

Estimation of Swash Zone Slope in Noor Beach during Cold Season

Seyed Ali Azarmsa *, Ghasem Ghayebi

Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran 14115-111, Iran

Received: 19 February 2020; Review: 09 July 2021; Accepted: 17 August 2021

Keywords:

Swash zone, Slope, Wave height, Sediment diameter, Noor beach.

1. Introduction

The high demand for more exploitation of coastal areas has increased the need for extensive and varied studies and research in these areas. The study of different parts of the coasts is not only important as an independent research (Alizadeh et al., 2012), but can also be used to advance other research on the hydraulic and hydrodynamic issues of the sea such as depth change, bed characteristics, wave breaking (Azarmsa and Yasuda, 1997), marine sedimentation pattern (Vaselali and Azarmsa, 2009), alongshore coastal sediment transport (Sadeghifar et al. 2013), and shoreline positioning (Azarmsa and Razmkhah, 2006; 2010) will be effective. The results of these studies are applicable even in practical and economic contexts. The purpose of this research is to study the slope of the swash zone of waves in the Noor beach in the cold season.

2. Methodology

The slope of the wave swash zone was measured by the Emery method at five stations at different months. The median diameter of sediments considered as the characteristic size of beach sediments and the significant wave height or breaking wave heights are considered as the appropriate indicators for characteristic wave height. Then the impact of these parameters on the wave swash zone slope has been studied.

The deep water significant wave height data in the study area were obtained from the Maritime Characteristics Database of the Ports and Maritime Organization for the studied days (Table 1).

Table 1. Wave characteristics.

Month	Wave height (m)
October	0.69
November	0.70
December	0.75
January	0.60
February	0.71
March	0.76

3. Results and discussion

By examining the trend curve of the data in the correlation graph of the measured slope of wave swash zone with the significant wave height in deep water as well as with the breaking wave height, it is determined that by increasing the depth of deep water wave (or increasing the height of the breaking waves), the slope decreases. That is, there is a reverse relationship between the slope of the swash zone of waves and the wave height.

* Corresponding Author

E-mail addresses: azarmsaa@modares.ac.ir (Seyed Ali Azarmsa), ghasemghayebi@gmail.com (Ghasem Ghayebi).

On the other hand, by examining the trend curve of the data in the correlation graph of the measured slope of wave swash zone with the median diameter of sediments, it is determined that by increasing the median diameter of sediments, the slope increases. That is, there is a straight relationship between the slope of the swash zone of waves and the median diameter of sediments.

4. Conclusions

The slope of the wave swash zone is a function of the deep water wave height and the median diameter of sediments. Using the presented linear equation in this research, it is possible to estimate relatively accurately the value of this slope in the coastal area of Noor during the months of October to March. To obtain more accurate estimates of the slope of the wave swash zone, it is recommended to conduct similar research in different years and different coastal areas.

5. References

- Alizadeh G, Azarmsa SA, Mahdi Zadeh MM, Torabi M, "Predicting some of Morphologic Characteristics of Noor Beach Using Fall Velocity of Sediments", Ninth international Conference on Beaches, Ports and Marine Structures, Teheran, Iran, 2010, 29-30.
- Azarmsa SA, Yasuda T, "Deformation and decay of different classes of breakers", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 1997, 123 (4), 200-207.
- Azarmsa SA, Razmkhah F, "Study of coastline Position in Chabahar Bay using satellite data", *Earth Sciences*, 2006, 60, 25-32.
- Azarmsa SA, Razmkhah F, "Determination of shoreline position in pozm bay using landsat satellite data", *Journal of the Earth and Space Physics*, 2011, 36 (4), 89-98.
- Sadeghifar T, Azarmsa SA, Vafakhah M, "Prediction of alongshore sediment transport rate using semi-empirical formulas and an artificial neural networks (anns) model in noor coastal zone", *International Journal of Maritime Technology*, 2013, 9 (17), 77-86.
- Vaselali A, Azarmsa SA, "Analysis of breakwater construction effects on sedimentation pattern", *Journal of Applied Sciences*, 2009, 9 (19), 3522-3530.