

بررسی پتانسیل انتقال رسوب در سواحل دریای خزر

میراحمد لشته‌نشایی، ابوالفضل اسلامی و محمد پیروی چشناسر

چکیده: انتقال رسوب کرانه ساحلی به علت پیچیدگی اندرکنش موج - جریان و پدیده شکست امواج و جریان برگشتی ناشی از آن از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین موضوعات علم مهندسی سواحل می‌باشد که نهایتاً منجر به تغییر خط ساحل (فرسایش و رسوب گذاری) می‌گردد. پس از شکست امواج مایل دو مولفه انتقال رسوب در ساحل ایجاد می‌شود. گروهی از رسوبات به موازات خط ساحلی حرکت نموده و گروهی دیگر در اثر مولفه عمود بر ساحل انرژی امواج و جریانهای برگشتی ناشی از آن در جهت عمود بر ساحل حرکت می‌نمایند. در تحقیق حاضر ابتدا با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری ANPM (مدل پیشرفته پروفیل کرانه ساحلی) تهیه شده توسط (Nairn, 1990)، میزان تاثیر چهار پارامتر مختلف ژئوتکنیکی زاویه اصطکاک داخلی، دانسیته، تخلخل و قطر متوسط رسوبات در انتقال رسوبات موازی و عمود بر ساحل مورد بررسی قرار گرفته و نتایج بصورت نمودارهایی ارائه شده است. همچنین نرخ انتقال رسوب در سواحل دریای خزر با استفاده از مشخصات ژئوتکنیکی بستر ساحل که از طریق نمونه‌گیری در محل و انجام آزمایشات ژئوتکنیکی لازم بدست آمده محاسبه شده است. محدوده اندازه‌گیری نواری به طول تقریبی ۴۰۰ کیلومتر از آستارا تا نواحی شرق استان گیلان می‌باشد. کلیه نمونه‌ها بصورت سطحی (حداکثر تا عمق ۰/۵ متر) نمونه‌برداری شده و در آزمایشگاه آزمایشهای مکانیک خاک روی آنها انجام گرفته است. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که نرخ انتقال رسوبات ساحلی با هر چهار پارامتر فوق رابطه معکوس داشته و همچنین مقدار D50 از غرب دریا به سمت شرق کاهش پیدا می‌کند که این خود بیانگر حرکت رسوبات ساحلی خزر از جهت غرب به شرق می‌باشد. در نهایت آنالیز دانه‌بندی در نقاط مختلف ساحل کاهش D50 را از سمت ساحل به داخل دریا نشان می‌دهند که به معنی حرکت رسوبات در جهت عمود بر ساحل به سمت دریا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، کرانه ساحلی، قطر متوسط ذرات، ساحل، موج

۱. مقدمه

نرم‌افزار تخمین زده شده و با مقادیر حاصل از برآورد فرمول‌های مختلف مقایسه شده است.

Inman & Komar مدلی را ارائه نمودند که آهنگ انتقال ماسه را به موازات ساحل و در واحد طول ساحل ارائه می‌نمود [۱]. Galvin یک رابطه تجربی ساده برای محاسبه نرخ انتقال کلی به موازات ساحل ارائه کرد [۲]. مرکز مطالعات مهندسی سواحل آمریکا فرمول معروف CERC را منتشر ساخت. Deigaard و همکارانش یک مدل ریاضی برای تخمین انتقال رسوب موازی ساحل ارائه کردند و بر اساس آن روابط کاربردی پیشنهاد دادند [۳]. Kamphuis و همکارانش بعد از تحلیل داده‌های آزمایشگاهی و ساحلی رابطه‌ای برای محاسبه دبی رسوب به موازات ساحل بر حسب شیب ساحل، ارتفاع مشخصه موج در نقطه شکست، قطر متوسط ذرات و زاویه نزدیکی موج ارائه کردند [۴]. Kamphuis نیز بر اساس آزمایشهای مدل هیدرولیکی سه‌بعدی با امواج منظم و نامنظم یک رابطه برای تخمین رسوب ارائه کرد [۵]. همچنین در خصوص تجمع رسوبات ساحلی پشت موج‌شکن بندر بابلسر مطالعاتی توسط ایمانی در سال ۱۳۸۰ صورت گرفته است [۶]. بر اساس تمامی این تحقیقات، مشخصات فیزیکی

بخش وسیعی از خسارات وارده به تاسیسات و سازه‌های ساحلی ناشی از مسائل مربوط به فرایند فرسایش و رسوبگذاری در سواحل می‌باشد. در میان پدیده‌های مختلف مربوط به بحث مهندسی سواحل، مبحث تخمین نرخ نقل و انتقالات ساحلی و تعیین نوسانات بستر دریا از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. با استفاده از نرم‌افزار حساسیت میزان انتقال رسوب به چهار پارامتر قطر متوسط دانه‌های بستر، تخلخل ذرات، زاویه اصطکاک داخلی ذرات و دانسیته رسوبات مورد بررسی قرار گرفته و نرخ انتقال رسوب به کمک

نسخه اصلی مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۸/۱۷ واصل، و پس از بازنگریهای لازم، در تاریخ ۱۳۸۳/۱۰/۱۳ به تصویب نهایی رسیده است.

دکتر میراحمد لشته‌نشایی، استادیار گروه عمران دانشکده فنی، دانشگاه

گیلان. Maln@Guilan.ac.ir

دکتر ابوالفضل اسلامی، دانشیار گروه عمران دانشکده فنی، دانشگاه گیلان.

afeslami@yahoo.com

محمد پیروی چشناسر، کارشناس ارشد عمران دانشکده فنی، دانشگاه

گیلان. mpe552003@yahoo.com

معمولاً سواحل کاملاً خطی نیستند و بخصوص توسط سازه‌های ساحلی و آب شکنها حفاظت می‌شوند و به همین دلیل در آنها قطع جریان ساحلی دیده می‌شود. از ترکیب جریان منعکس شده (که اصطلاحاً جریان ریپ اطلاق می‌شود) با جریان ورودی حالت پیچیده‌ای در ناحیه ساحلی رخ می‌دهد. جریان ریپ همیشه به سمت دریا است و در واقع تعادل بین جریانها را نشان می‌دهد. در اثر مؤلفه عمود بر ساحل امواج مایل و انرژی ناشی از شکست این امواج جرم منتقل شده آب به سمت ساحل توسط یک جریان برگشتی به سمت دریا متعادل می‌گردد. بر اساس تئوری خطی موج و مطالعات Sevendsen سرعت متوسط جریان برگشتی (undertow) ناشی از شکست موج در ناحیه ساحلی عبارت است از:

$$u_h = \sqrt{gh} g^2 \left(b + \frac{ah}{T\sqrt{gh}} \right) \left[\exp \left(- \left(\frac{gh}{H_{orms}} \right)^2 \right) \right] \quad (2)$$

که در آن:

$$h = \text{اندکس شکست موج} (0.8 - 0.9)$$

$$\beta = \text{ضریب ثابت} (0.1 - 0.5)$$

$$\alpha = \text{ضریب ثابت}$$

$$u = \text{سرعت متوسط در هر عمق مشخص}$$

$$H_{orms} = \text{میانگین ریشه مربعی ارتفاع امواج در آب عمیق}$$

$$T = \text{پریود موج}$$

باید توجه کرد که سرعت جریان عمود بر ساحل تابعی از عمق آب بوده و در هر نقطه بطور نمایی با عمق تغییر می‌کند ولی جهت سهولت محاسبات مقدار متوسط عمقی آن در ناحیه ساحلی که همواره به سمت دریا می‌باشد در نظر گرفته می‌شود. مطالعات اخیر انجام شده توسط Nairn و Lashteh Neshaei نشان داده‌اند که عامل اصلی انتقال رسوبات ساحلی در جهت عمود بر ساحل و تشکیل پشته در سواحل وجود جریان برگشتی ناشی از شکست موج می‌باشد که ذرات بستر را به سمت دریا جابه‌جا می‌کند [۷،۸]. در آبهای عمیق موجی شکل بودن سطح آب که بصورت حرکت جبهه‌های موج دیده می‌شود توام با جابه‌جایی حجم آب نیست. با نزدیکتر شدن موج به ساحل چین‌های کف دریا تحت تاثیر حرکت موجی آب قرار می‌گیرند. بعد از عبور تاج از روی برآمدگی چین‌های کف دریا جهت سرعت ذرات آبی که در قسمت فوقانی این برآمدگی در حرکتند تغییر می‌کند. تحت تاثیر سرعت که اکنون رو به دریاست مقداری از ذرات ماسه که در رو به خشکی این برآمدگی قرار دارند از جا کنده شده و به طرف دریا رانده می‌شوند. با نزدیکتر شدن تاج موج بعدی و تغییر مجدد سرعت این ذرات که مسافتی بیش از حدود دو یا سه برابر طول موج را طی نکرده‌اند به طرف خشکی رانده می‌شوند. در نتیجه مقداری از ماسه کف دریا همراه با حرکت نوسانی امواج در آبهای ساحلی بصورت معلق در می‌آید. هنگامی که جبهه موج در حرکت خود به آبهای ساحلی نزدیک می‌شود و عمق آب حدود سه یا چهار برابر ارتفاع موج

مکانیکی خاک از قبیل دانه‌بندی (قطر متوسط دانه‌های بستر) تراکم نسبی و تخلخل ذرات بستر، زاویه اصطکاک داخلی ذرات و جنس کانی‌های تشکیل دهنده دانه‌ها (دانسیته رسوبات)، خصوصیات هندسی بستر دریا (شیب ساحل) و مشخصات امواج (ارتفاع، پریود و جهت موج) از مهم‌ترین عوامل موثر بر نرخ انتقال رسوب شناخته شده است. به علت بروز خسارات و مشکلات فراوان در اثر پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری و گسترده‌گی دامنه تخریب آن بررسی و تخمین نرخ انتقال رسوب در سواحل و تعیین مناطق بحرانی امری مهم و اجتناب‌ناپذیر است. دلیل وجود دو خط عمده ساحلی در شمال و جنوب کشور و نیز موقعیت مهم اجتماعی و اقتصادی منطقه ویژه بندرانزلی بررسی نرخ انتقال رسوب در این بندر و شناخت مشخصات ژئوتکنیکی آن گامی موثر در راستای ارائه راهکارهای مناسب برای جلوگیری از مشکلات و خسارات ناشی از این پدیده است. در این نوشتار سعی شده است تا با استفاده از روشهای آزمایشگاهی مشخصات ماسه ساحل خزر بدست آمده و پتانسیل انتقال رسوب در قسمت‌هایی از سواحل جنوبی خزر و حساسیت آن به تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی بستر بررسی شود.

۲. انتقال رسوبات به موازات و عمود بر ساحل

انتقال رسوب در سواحل به علت مایل بودن زاویه موج با خط ساحل در دو جهت موازی و عمود بر ساحل اتفاق می‌افتد. سرعت مولفه موازی ساحل امواج مایل حوالی نقطه شکست موج حداکثر بوده و به سمت ساحل سریعاً کاهش می‌یابد تا اینکه در خط ساحل به مقدار قابل اغماض می‌رسد. معمولاً مقدار سرعت جریان موازی ساحل به ندرت از نیم متر بر ثانیه تجاوز می‌کند ولی انتقال رسوب توسط آن قابل توجه است که علت آن تلاطم ایجاد شده در اثر شکست موج است که ذرات را از بستر کنده و بعد این ذرات توسط جریان موازی ساحل حمل می‌گردند. توجه به این نکته لازم است که جریان ساحلی یک جریان دائمی و یکنواخت نبوده بلکه مثل امواج بصورت تناوبی است و از آنجا که گروه امواج تصادفی که به سمت ساحل حرکت می‌کنند دارای ارتفاع و پریودهای مختلفی هستند و هر یک جریان خاص خود را تولید می‌کنند لذا دائماً این جریان در حال نوسان است. در این رابطه سرعت متوسط جریان به موازات ساحل بر مبنای مطالعات Longuet & Higgins و فرمول مرکز مطالعات مهندسی سواحل آمریکا CERC به صورت زیر پیشنهاد شده است:

$$u = 20.7 m (g H_b)^{0.5} \sin(2a_b) \quad (1)$$

که در آن:

$$m = \text{شیب متوسط بستر در ناحیه ساحلی}$$

$$H_b = \text{ارتفاع حداکثر موج قبل از شکست}$$

$$\alpha_b = \text{زاویه موج با خط شکست}$$

$$u = \text{سرعت متوسط جریان به موازات ساحل}$$

امواج مایل رسوبات از ساحل کنده شده و به سمت دریا حرکت می‌نمایند و باعث تشکیل نیمرخ‌های تابستانه و زمستانه می‌شوند. عامل عمده انتقال رسوبات در جهت عمود بر ساحل سرعت جریان برگشتی ناشی از شکست موج می‌باشد.

۳. بررسی پتانسیل انتقال رسوب به کمک نرم افزار

در این فصل با استفاده از نرم افزار کامپیوتری ANPM Advanced (Nearshore Profile Model) یا مدل پیشرفته پروفیل کرانه ساحلی تهیه شده توسط Naim نرخ انتقال رسوب در جهات موازی و عمود بر ساحل و همچنین تغییرات سرعت جریانهای ساحلی در ناحیه ساحلی بندرانزلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین نرخ انتقال رسوب در این فصل از فرمولهای مختلف دیگر نیز محاسبه شده است. اولین گام در بکارگیری این برنامه مشخص کردن موقعیت پروفیل اولیه در دستگاه مختصات مبنا می‌باشد. امواج شکسته شده در محدوده عمق مبنا قرار دارند. بطور تقریبی این عمق حداقل دو برابر بزرگترین ارتفاع ریشه مربعی موجهای اندازه‌گیری شده در آب عمیق منطقه مورد مطالعه می‌باشد (در اکثر موارد عملی حدود ۶ تا ۱۲ متر). هر چند که برای محاسبه دقیق تغییرات پروفیل از وارد کردن مختصات نقاط واقع در آب عمیق باید پرهیز کرد. معمولاً جهت پروفیل انتخابی مورد مطالعه امتدادی عمود بر ساحل دارد معهداً امتدادی که در آن انکسار موج رخ می‌دهد باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

پارامتر مهم دیگر حد فوقانی ناحیه ساحلی است که در صورت انتخاب نادرست عدم اجرای برنامه را در پی خواهد داشت. تراز ناحیه ساحلی در قسمت خشکی باید بالاتر از حداکثر پیشروی بلندترین موج منطقه (runup) باشد که برای سادگی می‌توان پروفیل این ناحیه را برون‌یابی کرد. (تراز مطالعاتی مورد نیاز این ناحیه معمولاً بیشتر از دو برابر میانگین ریشه مربعی ارتفاع موج شکست نخواهد شد). حداکثر ۳۰ نقطه بر روی دستگاه مختصات مبنا برای تکمیل و بیان شکل پروفیل بستر در فایل ورودی استفاده می‌شود. با این حال در اکثر سواحل ۱۰ تا ۱۵ نقطه کافی است. به منظور ارائه مجدد پروفیل بستر در طول محدوده‌های مختلف ناحیه (مطابق تکنیک حل اختلافات محدود) یک سائروتین ورودی در بازه dx لازم است. محدوده dx بین ۰/۵ تا ۷/۵ متغیر است که مقادیر کوچک در کرانه ساحل و مقادیر بزرگ در فراساحل بکار گرفته می‌شوند.

در مناطقی که تغییرات بستر (فرسایش یا رسوب‌گذاری) شدیدتر است dx باید بین محدوده ۰/۵ تا ۲ متر تغییر کند. علاوه بر آن نقاط ابتدایی و انتهایی dx نباید منطبق با مبدا مختصات و عمق مبنا باشند.

می‌گردد توزیع سرعت ذرات آب که قبلاً سینوسی است دست‌خوش تغییراتی به صورت زیر می‌گردد:

الف- مولفه سرعت در جهت رو به ساحل افزایش می‌یابد.

ب- مولفه سرعت در جهت رو به دریا کاهش می‌یابد.

با توجه به اختلاف موجود در مولفه‌های سرعت آب، این ذرات معلق گرایش به طرف ساحل دارند و وارد محدوده کرانه‌ای یا شکست موج می‌شوند در نتیجه شکل موج از حالت سینوسی خارج شده و حرکت آن توام با انتقال مقدار قابل توجهی از حجم آب می‌گردد. این امر موجب متلاطم شدن آب دریا و پدیدار شدن گرداب‌های موضعی و به جریان افتادن آب بصورت نامنظم می‌گردد که به نوبه خود باعث تعلیق مقدار بیشتری از ماسه و مواد رسوبی کف دریا می‌شود. از این رو غلظت مواد رسوبی معلق در آب در محدوده شکست به مراتب بیشتر از محدوده قبلی است.

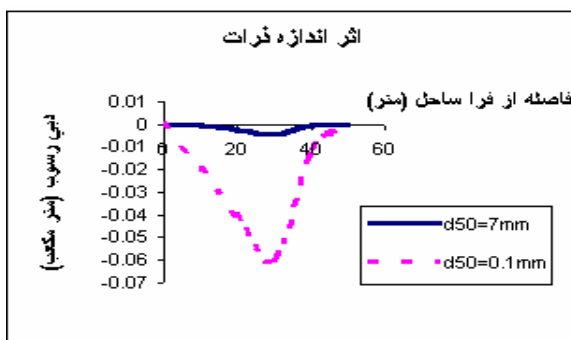
ریزش امواج مایل، مواد ماسه‌ای کف ساحل را به حرکت در آورده و در جهت اشاعه موج به طرف ساحل پرتاب می‌نماید. وقتی که آب تحت تاثیر نیروی وزن خود به پایین برمی‌گردد مواد جامد را نیز با خود تا حد پایین تاثیر موج در امتداد خط بزرگترین شیب ساحل پایین می‌آورد و در نتیجه این حرکات مواد رسوبی به شکل دندانان اره‌ای یا زیگزاگی حرکت می‌نمایند و دارای مولفه موازی با ساحل در جهت پیشروی موج می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت که ریزش امواج مایل نسبت به ساحل سبب تغییر مکان موازی آب نسبت به ساحل در جهت انتشار موج می‌گردد. این نوع جریان که اصطلاحاً به آن جریان‌های در طول ساحل (along-shore) اطلاق می‌شود موجب انتقال رسوب مواد ساحلی در مسیرهای کم و بیش مارپیچی که محور آن موازی امتداد ساحل است می‌شوند. بنابراین بطور خلاصه می‌توان گفت که عوامل عمده انتقال رسوبات در ساحل به شرح زیر است:

۱- توربولانس ناشی از شکست امواج که عامل عمده کنده شدن ذرات بستر است.

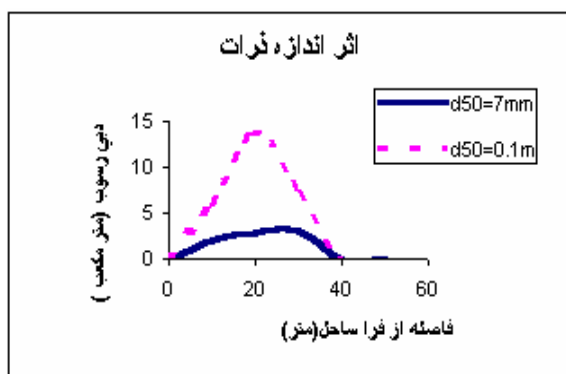
۲- جریان ناشی از شکست امواج مایل که عامل عمده حرکت رسوبات می‌باشد.

جریانات موازی ساحل عامل انتقال ۸۰ الی ۹۰ درصد رسوباتی هستند که از کف کنده شده و در آب غوطه‌ور شده‌اند. به این گروه از رسوبات منتقل شده رسوبات در طول ساحل (along-shoresediment) گفته می‌شود. هرگاه در مسیر این جریانات مانعی مثل موج شکن احداث شود رسوبات در پشت آن به تله افتاده و انباشته می‌شوند و در نتیجه شکل خط ساحل و بستر دریا تغییر می‌کند. با بررسی تغییرات مورفولوژی بستر در بالادست موج‌شکن می‌توان رسوبات انباشته شده در اثر این جریانات را اندازه‌گیری کرد و مقدار خالص (net) انتقال رسوب و جهت آن را برای یک ساحل تخمین زد که از این مقدار جهت طراحی پی سازه‌های ساحلی استفاده بعمل می‌آید. در اثر مولفه عمود بر ساحل

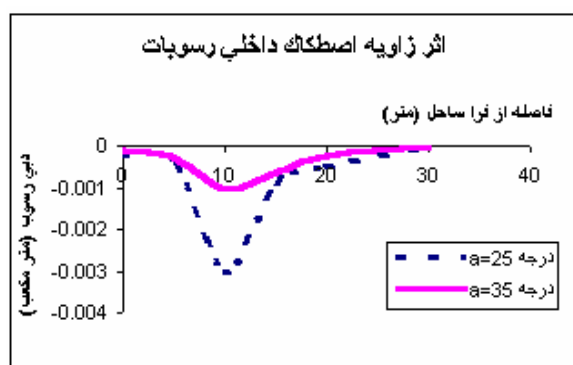
متوسط ذرات، تخلخل ذرات، دانسیته و زاویه اصطکاک داخلی رسوبات می‌باشند که از طریق تست‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌های اخذ شده طی بازدیدهای محلی از آستارا تا شرق استان گیلان بدست آمده‌اند. با تغییر هر یک از پارامترهای فوق و انتخاب دو مقدار دلخواه دو منحنی نرخ انتقال رسوب موازی و عمود بر ساحل بر حسب فاصله از خط ساحل ارائه شده است که حساسیت و تاثیرپذیری نرخ انتقال رسوب را می‌توان به وضوح از روی نمودارها مشاهده نمود (اشکال ۱ الی ۸).



شکل ۱. اثر اندازه دانه‌ها در انتقال رسوب عمود بر ساحل



شکل ۲. اثر اندازه دانه‌ها در انتقال رسوب موازی ساحل



شکل ۳. اثر زاویه اصطکاک داخلی در انتقال رسوب عمود ساحل

۴. مطالعات ژئوتکنیک سایتها

به منظور بررسی و تخمین پتانسیل انتقال رسوب و تعیین خصوصیات خاکهای ماسه‌ای سواحل جنوبی دریای خزر، مطالعات محلی در پنج مقطع از ساحل صورت گرفته است.

برای شناسایی ژئوتکنیکی ساحل، در هر مقطع سه نمونه خاک (۴ متری خط ساحل سمت خشکی، خط ساحل و ۴ متری خط ساحل داخل آب) و کلیه نمونه‌ها بصورت سطحی (حد اکثر تا عمق ۰/۵ متر با توجه به عمق آبشستگی منطقه) به صورت دستی برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل شده‌اند. در آزمایشگاه آزمایشهای فیزیکی متعددی شامل دانه‌بندی با الک، تعیین وزن مخصوص و درصد رطوبت خاک، آزمایش هم ارز ماسه، برش مستقیم و تراکم بر روی نمونه‌ها انجام گرفته و تخلخل نمونه‌ها نیز به روش غیر مستقیم محاسبه شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمایشات نرخ انتقال رسوب در سواحل و حساسیت آن به تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی با استفاده از نرم افزار ANPM مورد بررسی قرار گرفته است. به موازات این مطالعات، تحقیقاتی نیز پیرامون تغییرات قطر متوسط ذرات بستر سواحل خزر در راستای ساحل و عمود بر آن روی این خاکها انجام شده است.

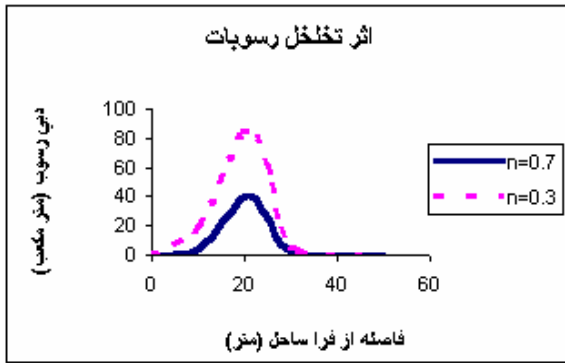
جهت اجرای برنامه کامپیوتری داده‌های ورودی نرم افزار از سواحل خزر به طریق نمونه‌گیری بدست آمد. نمونه‌برداری از پنج مقطع در سواحل خزر (لنگرود، حسن رود، سفیدکنار، گیسوم، آستارا) صورت گرفت و از هر مقطع ساحل سه نمونه گرفته شد که از ۴ متری خط ساحل در خشکی، خط ساحل و ۴ متری داخل آب برداشت شدند. کلیه نمونه‌ها توسط بیلچه نمونه‌برداری (حداکثر تا عمق ۰/۵) و داخل محفظه پلاستیکی جمع‌آوری شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند بدون اینکه در درصد رطوبت نمونه‌ها تغییری حاصل شود.

با توجه به اینکه عمق آبشستگی در حالت طبیعی در سواحل خزر حدود ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد و مصالح بستر معمولاً بصورت سطحی جابه‌جا می‌شوند، نمونه‌ها بطور سطحی گرفته شده‌اند [۹].

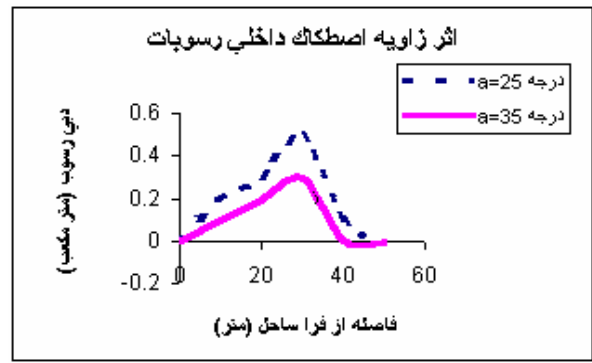
با بررسی‌های بعمل آمده در سواحل خزر، ساحل ماسه‌ای با دانه‌بندی یکنواخت اکثراً از جنس SP و SP-SM و با درصد تراکم پایین می‌باشد.

پس از نمونه‌گیری از هر گمانه بوسیله آزمایشهای متعدد، خواص فیزیکی مصالح موجود سطحی در سواحل تعیین شده است. برای تعیین مشخصات مصالح آزمایشهای دانه‌بندی، تراکم، برش مستقیم، تعیین درصد رطوبت، وزن مخصوص، چگالی ویژه و هم‌ارز ماسه انجام گرفته است.

آزمایش برش مستقیم در شرایط زهکشی شده و کنترل کرنش صورت گرفته سپس با استفاده از نرم‌افزار ANPM حساسیت میزان انتقال رسوبات ساحلی به تغییرات ژئوتکنیکی بستر مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های متغیر نرم‌افزار پارامترهای ژئوتکنیکی قطر



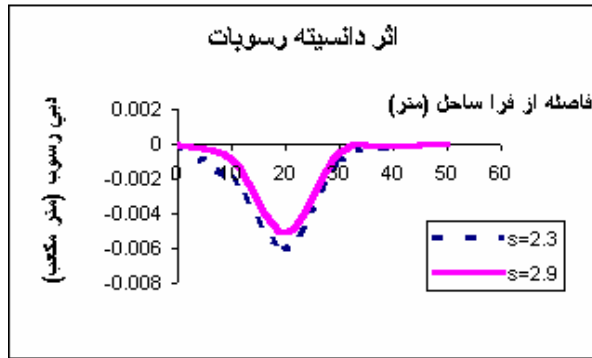
شکل ۸. اثر تخلخل رسوبات در انتقال رسوب موازی ساحل



شکل ۴. اثر زاویه اصطکاک داخلی در انتقال رسوب موازی ساحل

۵. ارزیابی تخریب در سایتهای مورد مطالعه

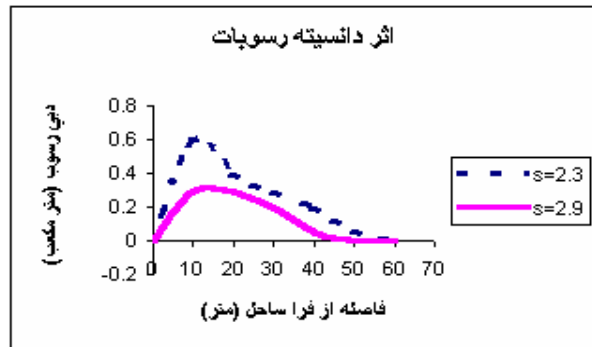
با توجه به مشخصات ژئوتکنیکی بدست آمده سایتهای از طریق تستهای آزمایشگاهی نرخ انتقال رسوب در ساحل بندرانزلی تخمین زده شده و با مقادیر مختلف بدست آمده از فرمولهای تجربی مقایسه شده است (اشکال ۹ و ۱۰).



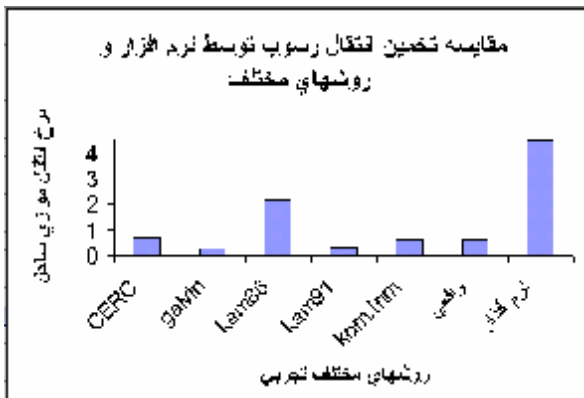
شکل ۵. اثر دانسیته رسوبات در انتقال رسوب عمود بر ساحل



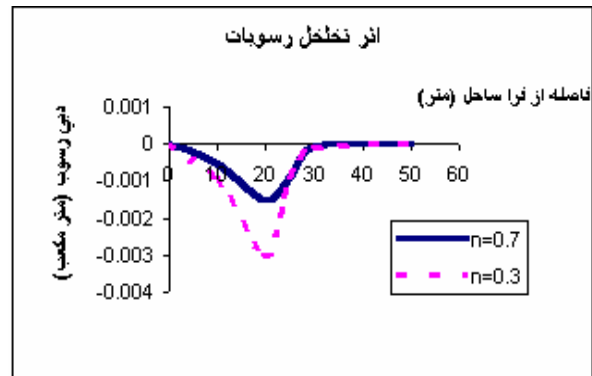
شکل ۹. مقایسه مقدار انتقال رسوب عمود بر ساحل از روشهای مختلف



شکل ۶. اثر دانسیته رسوبات در انتقال رسوب موازی ساحل



شکل ۱۰. مقایسه مقدار دبی رسوب موازی ساحل از روشهای مختلف



شکل ۷. اثر تخلخل رسوبات در انتقال رسوب عمود بر ساحل

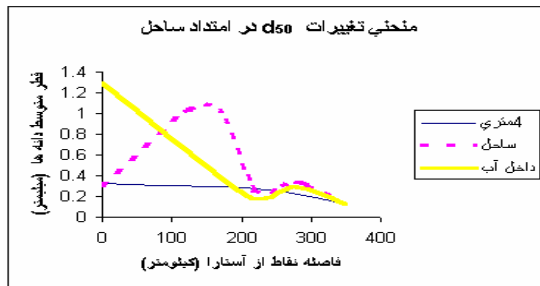
با توجه به برآورد حاصل از نرم افزار و مقایسه با مقادیر حاصله از روشهای مختلف تجربی مشاهده می شود که فرمول Kamphuis نزدیکترین برآورد را نسبت به نرم افزار نشان می دهد.

داخل دریا کاهش می‌یابد که به معنی جهت حرکت رسوبات عمود بر ساحل به سمت داخل آب می‌باشد.

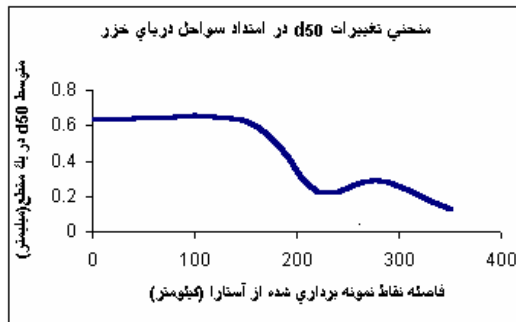
۳- با افزایش اندازه قطر متوسط ذرات شیب سواحل خزر نیز زیاد می‌شود بنابراین هرچه ساحل درشت‌تر باشد شیب بیشتری خواهد داشت.

۴- با توجه به اینکه چگالی دانه‌ها در بعضی نقاط نسبتاً پایین می‌باشد این مناطق می‌توانند جزء مناطق ناپایدار ساحلی از نظر فرسایش معرفی شوند.

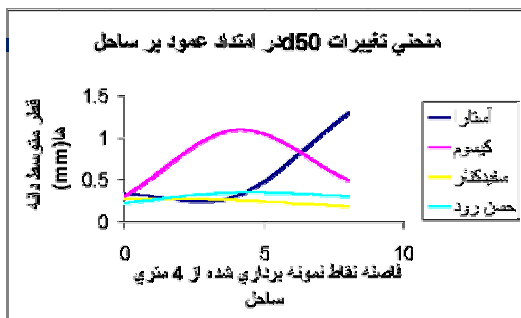
۵- با توجه به داده‌های ورودی نرم افزار مشاهده می‌شود که پارامترهای موثر در انتقال رسوب شامل خصوصیات موج، خصوصیات رسوبات و خصوصیات هندسی بستر دریا می‌باشد.



شکل ۱۱. منحنی تغییرات قطر متوسط ذرات در امتداد سواحل دریای خزر



شکل ۱۲. منحنی تغییرات قطر متوسط ذرات در امتداد سواحل دریای خزر



شکل ۱۳. منحنی تغییرات قطر متوسط ذرات در امتداد عمود بر ساحل در دریای خزر

۶. بحث در نتایج

نتایج حاصله از آزمایشهای انجام شده در اشکال ۱۱ الی ۱۳ آورده شده است. بررسی منحنی‌های دانه‌بندی افزایش قطر متوسط ذرات را به سمت غرب دریا نشان می‌دهند که جهت انتقال رسوب موازی ساحل را به سمت شرق نشان می‌دهد که رسوبات از درشت‌دانه به ریزدانه طبقه‌بندی شده است. همچنین مطالعه روی نمونه‌های اخذ شده در آزمایشگاه نشان می‌دهد که مقدار قطر متوسط ذرات در یک مقطع از ساحل بسمت دریا کاهش می‌یابد که جهت انتقال رسوب عمود بر ساحل را به سمت دریا نشان می‌دهد. با توجه به منحنی‌های فوق مشاهده می‌شود. همچنین مدل کامپیوتری افزایش انتقال رسوب را در اثر کاهش چهار پارامتر ژئوتکنیکی قطر متوسط ذرات، تخلخل ذرات، دانسیته و زاویه اصطکاک داخلی رسوبات پیش‌بینی می‌کند که علت آن را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

از آنجایی که عمده رسوباتی که در یک ناحیه ساحلی جابه‌جا می‌شوند به صورت معلق می‌باشند لذا واضح است که اندازه دانه‌های رسوب در این انتقال بسیار مهم می‌باشد به این صورت که هرچه رسوبات ریزدانه‌تر باشند به علت تعلیق بیشتر جابه‌جایی و انتقال بیشتری نیز خواهند داشت و بر عکس هر چه درشت‌دانه‌تر باشند به علت سرعت سقوط بیشتر غلظت رسوب در آب کمتر شده و نرخ انتقال کاهش می‌یابد. زاویه اصطکاک داخلی رسوبات نیز در حرکت رسوبات به صورت بار بستر تاثیر بسزایی دارد به این صورت که با افزایش این پارامتر درگیری و اصطکاک بین دانه‌ها زیاد می‌شود و نرخ انتقال کاهش می‌یابد. بنابراین ذرات دارای گوشه‌های تیز انتقال کمتری نسبت به ذرات گرد گوشه دارند. افزایش تخلخل ذرات نیز موجب افزایش حجم منافذ شده و دبی قسمت جامد رسوبات را کاهش می‌دهد. پارامتر دیگر دانسیته رسوبات است که با افزایش آن به علت سنگینی رسوبات سرعت سقوط زیاد شده و غلظت رسوبات در آب کاهش می‌یابد و نهایتاً نقل و انتقالات رسوبی تقلیل می‌یابد. بنابراین کانیهای با دانسیته بالا جابه‌جایی و انتقال کمتری نسبت به رسوباتی که از کانیهای سبک تشکیل شده‌اند دارند.

بطور خلاصه نتایج حاصله از تحقیق حاضر را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱- نرخ انتقال رسوب موازی و عمود بر ساحل رابطه معکوس با چهار پارامتر ژئوتکنیکی قطر متوسط ذرات، تخلخل ذرات، دانسیته و زاویه اصطکاک داخلی رسوبات دارد بطوری که با افزایش هر یک از پارامترهای فوق نرخ انتقال رسوب کاهش می‌یابد.

۲- با توجه به آنالیز دانه‌بندی روی نمونه‌های اخذ شده مشاهده می‌شود که اندازه قطر متوسط ذرات از غرب به شرق کاهش می‌یابد که به معنی جهت انتقال رسوب موازی ساحل به سمت شرق دریا می‌باشد که رسوبات از درشت‌دانه به ریزدانه طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین در یک مقطع از ساحل اندازه قطر متوسط ذرات به سمت

۴- فرمول Kamphuis نزدیکترین تقریب را نسبت به نتایج حاصله از نرم‌افزار در خصوص تخمین میزان انتقال رسوب به موازات ساحل بدست می‌دهد.

مراجع

[1] Komar P.D., and Inman D.L., "Longshore Sand Transport on Beaches", Journal of Geophysical Research, 701.75, No.30, pp 5914-5927, October 1970.

[2] Galvin C.J. Jr., "A Gross Longshore Transport Rate Formula", proceedings of the 13th coastal Engineering conference, Vancouver B.C., Canada, July 1972.

[3] Deigaard R., Fredsoe J., and Hedegaard I.B., "Mathematical Model for Littoral Drift", Journal of Waterway, port, coastal and ocean Engineering Div. ASCE, 701.112, No.3, pp.351-369, May 1986.

[4] Kamphuis J.W., Davies M.H., Nairn R.B., and Sayao O.J., "Calculation of Littoral Sand Transport Rate. Coastal Engineering", 701.10, No.1, pp.1-22, 1986.

[5] Kamphuis J.W., "Alongshore Sediment Transport Rate", Journal of waterway, port, coastal and ocean Engineering Div. ASCE, 701 117, No.6, pp.624-640, November/December 1991.

[۶] ایمانی م.، شفیع‌فر م.، و حبیبی م.، کنفرانس بین‌المللی سازه‌های هیدرولیکی، کرمان، ایران، ۱۳۸۰، صفحه ۵۰۳ الی ۵۱۰

[7] Nairn R.B., "Prediction of Cross-Shore Sediment Transport and Beach Profile Evolution", Ph.D. Thesis, Imperial College, University of London, 391pp, 1990.

[8] Neshaei M.A.L., "Beach Profile Evolution in Front of a Partially Reflective Structure", Ph.D. Thesis, Imperial College, University of London, 179pp, 1997.

[۹] لشته‌نشایی میراحمد و پاشازاده علی، "بررسی پتانسیل آبستنگی در سواحل دریای خزر"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، ۱۳۸۰.

تشکر و قدردانی

با تشکر از همکاری مهندسین مشاور شرکتهای پی‌کاو، ساخت آزما، ماندرو، دریابندر و دریاسازه که از مطالعات و گزارشهای ژئوتکنیکی آنها استفاده شده است. همچنین از همکاری سازمان بنادر و کشتیرانی و مرکز تحقیقات آب صمیمانه قدردانی می‌شود.

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

روابط ارائه شده در این تحقیق برای تعیین میزان رسوبات انتقالی در یک منطقه ساحلی نشان می‌دهند که پارامترهای موثر در فرایند انتقال رسوب ساحلی شامل خصوصیات موج، خصوصیات رسوبات و خصوصیات هندسی بستر دریا می‌باشد. همچنین هر کدام از پارامترهای مذکور در روابط مختلف توانهای مختلفی به خود گرفته‌اند که بیانگر شرایط متفاوت مناطق ساحلی و نیز تاثیر متفاوت پارامترهای موثر در آن مناطق ساحلی خاص می‌باشد که روابط برای آنها ارائه شده است. ضرایب بکار رفته در این روابط و همچنین توان پارامترهای استفاده شده در این روابط در یک منطقه ساحلی دیگر می‌تواند تغییر کند. در پایان با توجه به برآورد دست پایین نرخ انتقال رسوب توسط برخی روابط پیشنهاد می‌شود که در استفاده از این روابط به محدودیتهای آنها توجه شود و با توجه به اینکه در کشور ما داده‌های ساحلی کاملی وجود ندارد باید برای تعیین دقیق میزان انتقال رسوبات ساحلی از طریق روشهای عددی معادلات حاکمه موج، جریان و رسوب را حل کرد.

با اجرای مدل کامپیوتری ANPM نتایج بدست آمده توسط مدل نشان می‌دهد که نرخ انتقال رسوب رابطه معکوس با چهار پارامتر ژئوتکنیکی قطر متوسط ذرات، تخلخل ذرات، دانسیته و زاویه اصطکاک داخلی رسوبات دارد یعنی با افزایش مقادیر هر کدام از پارامترهای فوق مقدار انتقال رسوب کاهش می‌یابد. خلاصه نتایج حاصله از تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- میزان دبی انتقال رسوب موازی و عمود بر ساحل رابطه معکوس با چهار پارامتر ژئوتکنیکی قطر متوسط ذرات، تخلخل ذرات، دانسیته و زاویه اصطکاک داخلی رسوبات دارد بطوری که با افزایش هر یک از پارامترهای فوق کاهش نرخ انتقال رسوب توسط مدل پیش‌بینی می‌شود در حالی که این چهار پارامتر اثری روی سرعت جریانهای ساحلی ندارند.

۲- با توجه به آنالیز دانه‌بندی روی نمونه‌های اخذ شده مشاهده می‌شود که اندازه قطر متوسط ذرات از غرب به شرق کاهش می‌یابد که به معنی جهت انتقال رسوب موازی ساحل به سمت شرق دریا می‌باشد که رسوبات از درشت دانه به ریزدانه طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین در یک مقطع از ساحل اندازه قطر متوسط ذرات به سمت داخل دریا کاهش می‌یابد که به معنی جهت حرکت رسوبات عمود بر ساحل به سمت داخل آب می‌باشد.

۳- در بین نمونه‌های مختلف، فقط ماسه ساحل آستارا در دامنه وسیعی گسترده شده و ماسه بقیه نقاط تقریباً یکنواخت می‌باشند.