

## بررسی مدل های تجربی انتقال رسوب در بندر لنگه

کامران لاری<sup>۱</sup>، سیده محمدتقی ساداتی پور<sup>۲</sup> و مصطفی ممقانی<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران k\_lari@iau-tnb.ac.ir

<sup>۲</sup>استادیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران sadatipour1960@yahoo.com

<sup>۳\*</sup>نویسنده مسئول، کارشناس ارشد علوم دریایی و اقیانوسی - هیدروگرافی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران m.mamaghani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۰

### چکیده

یکی از مشکلات بنادر موضوع رسوب گذاری در حوضچه و کانال دسترسی بنادر و تغییرات ساحل و بستر دریا پس از ساخت بندر است؛ به طوری که لای روبی رسوبات انباشته شده برای تأمین آبخور مورد نیاز کشتی ها و استفاده بهینه از بنادر هزینه بسیار زیادی دارد. یکی از مهم ترین پارامترها در مسائل مهندسی سواحل انتقال رسوب است. زیرا گاهی اوقات کمبود مواد رسوبی نشان دهنده وجود فرسایش در منطقه و در سایر نقاط تراکم مواد، نشان دهنده رسوب گذاری است. در این تحقیق ابتدا از مقایسه تصاویر هوایی، تغییرات خط ساحلی در منطقه بندر لنگه مطالعه می شود. سپس با استفاده از مجموعه نرم افزار LITPACK از بسته نرم افزاری DHI، داده های موج، جریان جزرومدی و دانه بندی رسوبات به مدل سازی خط ساحلی و میزان رسوب در منطقه پرداخته می شود. نتایج نشان می دهد که سواحل اطراف بندر لنگه در سال های گذشته تغییرات قابل ملاحظه ای نداشته است و این وضعیت با منابع ناچیز رسوبی موجود در منطقه در تطابق است.

**واژه های کلیدی:** بندر لنگه، رسوب گذاری، موج و جریان، مدل ریاضی، نرم افزار LITPACK

### ۱. مقدمه

فرسایش ناشی از موج در قسمت هایی که تحت تأثیر امواج قرار می گیرند. برای بررسی هیدرودینامیک موج و مسئله انتقال رسوب روش های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می توان روش اندازه گیری میدانی، مدل عددی و پیش بینی با استفاده از روابط تجربی و ریاضی را نام برد [۱-۳]. پیچیدگی ها و تعدد پارامترهای واردشونده در توابع ریاضی موج و انتقال رسوب در سواحل و تأثیر متقابل سازه و دریا و نیز هزینه های اجرایی زیاد سازه های دریایی، امری است که ضمن افزایش حساسیت طراحی چنین سازه هایی، استفاده از تجربیات دیگران و پند گرفتن از اشکالات موجود در طراحی های پیشین را ضروری می سازد. در بیشتر نقاط ساحلی ایران و دیگر کشورها مطالعه و بررسی های زیادی در زمینه برآورد مقدار رسوب گذاری انجام گرفته است؛ از آن جمله به

یکی از مشکلات بنادر بزرگ و کوچک کشور موضوع رسوب گذاری در حوضچه و کانال دسترسی بنادر و تغییرات ساحل و بستر دریا پس از ساخت بندر است، به طوری که لای روبی رسوبات انباشته شده برای تأمین آبخور مورد نیاز کشتی ها و استفاده بهینه از بنادر هزینه بسیار هنگفتی در بر دارد. شناخت رسوب و مکانیزم رسوب گذاری و نحوه مقابله با آن از مقوله های بسیار مهم است که باید در زمان طراحی بندر به آن توجه ویژه کرد و جانمایی بنادر با توجه به آن مشخص شود. مهم ترین مواردی که در تعیین الگوی تولید و انتقال رسوب مؤثرند، عبارتند از: منابع تولید رسوب در دریا، حجم رسوب تولید شده، مشخصات فیزیکی و شیمیایی رسوبات، عوامل و مکانیزم انتقال رسوب در محدوده مورد مطالعه و

نرخ حجمی رسوب منتقل شده  $Q$  ( $m^3/s$ ) عبارت است از:

$$Q = K \times P_L \quad (1)$$

که  $P_L$  مؤلفه جریان انرژی موج داخل ناحیه شکست ( $kg.m/s^2$ ) و  $K$  ضریب تناسب بدون بعد است. قدرت یا جریان انرژی در یک طول واحد تاج موج در امتداد ساحل در زیر ارائه شده است:

$$P_L = (E) \cdot (C_g) = \left( \frac{1}{8} \rho g H^2 \right) \cdot (nc) \quad (2)$$

که  $C_g$  سرعت گروه موج،  $E$  انرژی موج،  $H$  ارتفاع موج،  $n=1$  برای آب کم عمق بین تاج موج،  $\rho$  چگالی آب دریا و  $g$  شتاب گرانش زمین است. در خط شکست جریان انرژی در واحد طول ساحل برابر است با:

$$P_L \cos(\alpha_b) = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 n_b C_b \cos(\alpha_b) \quad (3)$$

$\alpha_b$  زاویه موج با ساحل در ناحیه شکست موج،  $H_b$  ارتفاع موج در ناحیه شکست،  $n_b=1$  برای آب کم عمق و  $C_b$  سرعت موج در ناحیه شکست موج است. و در این صورت مؤلفه جریان انرژی موج در طول ساحل (در جهت  $x$ ) در لبه بالایی ناحیه شکست به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P_l = P_L C \quad (4)$$

بحث راجع به فرمول CERC اساساً بر روی مقدار مناسب برای ضریب  $K$  و مقدار مناسب برای ارتفاع امواج نامنظم به دلیل ترم  $H_b^2$  همچنان وجود دارد. در مورد امواج نامنظم معمولاً باید از ارتفاع موج  $H_{rms}$  استفاده کرد. هر چند در بیشتر موارد در استفاده از فرمول انتقال رسوب از  $H_s$  در یک توزیع رایلی با عرض باند باریک استفاده می‌شود.

پژوهش‌هایی که در بنادر جنوبی نزدیک منطقه مورد مطالعه و همچنین در بندر لنگه صورت پذیرفته است، اشاره می‌شود و در پایان نتایج تحقیق حاضر با مقادیر به دست آمده از مطالعات پیشین مقایسه می‌گردد [4]. در تحقیق بررسی مقدار رسوب گذاری در بندر جوادالائمه، پس از ارزیابی روش‌های مختلف با استفاده از تعدادی از متداول‌ترین فرمول‌های تجربی، نرخ انتقال رسوب برآورد شده است. دقیق‌ترین برآورد در محدوده بندر صیادی جوادالائمه با استفاده از فرمول CREC<sup>1</sup> به دست آمده و پیشنهاد گردیده که در شرایط هیدرودینامیکی مورفولوژیکی مشابه در سواحل جنوبی ایران از فرمول REC استفاده شود [5]. در تحقیقی دیگر با استفاده از روش رادیو ایزوتوپ، نرخ رسوب گذاری سالانه در محدوده بندر لنگه تا چارک و همچنین پهنه‌بندی مناسب ساحلی با توجه به مقدار رسوب گذاری و مورفومتری محیطی در این منطقه مشخص گردیده است [6]. در تحقیقی دیگر تحلیل فرایندهای رسوبی بنادر لنگه و کنگ مبنی بر تفسیر مدل‌های مفهومی و عددی ارائه شده است. در این تحقیق به بررسی فرایند رسوبی و تغییرات خط ساحلی منطقه بنادر لنگه و کنگ پرداخته شده است. بدین منظور ضمن معرفی فرایندهای رسوبی منطقه مورد مطالعه، ارائه روند مطالعات جامع رسوب با تکیه بر کلیه شواهد و اطلاعات موجود و استفاده از همپوشانی و تنوع اطلاعاتی در به کارگیری صحیح نتایج مدل‌های تجربی و عددی لحاظ شده است [7].

## ۲. مبانی نظری تحقیق

از جمله روابط مشهوری که برای تخمین نرخ انتقال رسوب ساحلی به کار می‌رود، فرمول مشهور CERC است [۸-۱۵]. نحوه محاسبه به این صورت است که میزان انتقال رسوبات بستر دریا تابعی از شار انرژی در امتداد ساحل است. این مؤلفه خود به سرعت موج در نقطه شکست  $\left( \frac{H_0}{gT^2} \right)$  و زاویه‌ای که موج با خط ساحلی می‌سازد، بستگی دارد ( $H_0$  ارتفاع موج در آب عمیق،  $T$  پریود موج و  $g$  شتاب گرانش زمین است).

$$H_s^2 = 2H_{rms}^2 \quad (5)$$

$H_s$ : ارتفاع موج مشخصه<sup>۲</sup>

$H_{rms}$ : ارتفاع جذر میانگین مربعات همه ارتفاع‌های

موج<sup>۳</sup> وقتی از  $H_{rms}$  در معادله استفاده می‌شود، ضریب  $K$

باید دو برابر مقدار ضریب  $K$  به کاررفته در حالت  $H_s$

باشد. نمونه‌ها و مدل‌های به کاررفته در گذشته مقدار

۰/۰۲۸ را برای ضریب  $K$  نشان داده است (در صورت به

کار بردن  $H_s$ ) [۱۹-۱۶].

پارامترهای مورد نیاز [۲۰] جهت استفاده از فرمول

CERC:

ارتفاع موج در منطقه شکست ( $H_{br}$ )

زاویه موج با خط ساحل ( $\alpha_b$ )

محاسبه سرعت موج در منطقه شکست

$$c_b = \sqrt{gh_b} \quad (6)$$

عمق آب در منطقه شکست ( $h_b$ )

برای محاسبه ارتفاع موج شکست از رابطه زیر می‌توان

استفاده کرد:

$$H_b = H_0^{\frac{4}{5}} \left[ \frac{c_g \cos \alpha_0}{\sqrt{\frac{g}{\gamma} \cos \alpha_b}} \right]^{\frac{2}{5}} \quad (7)$$

$H_0$  ارتفاع موج عمیق،  $\alpha_0$  زاویه بین تاج موج و ساحل

در ناحیه عمیق و  $C_g$  سرعت گروهی موج است.

$$C_g = \left[ \frac{gT_p}{2\pi} \right] \quad (8)$$

$T_p$  پریود موج غالب و  $\gamma$  اندیس شکست موج است

$$\gamma = \frac{H_b}{h_b} \quad (9)$$

$h_b$  عمق آب در منطقه شکست است.

$$h_b = \left[ \left( H_0^2 C_0 \cos \theta_0 \right) / 2 \right]^{\frac{2}{5}} / g^{\frac{1}{5}} K^{\frac{4}{5}} \quad (10)$$

برای محاسبه زاویه موج با خط ساحل در منطقه

شکست از رابطه ۱۱ استفاده می‌شود:

$$\sin \alpha_b = \sqrt{g} \frac{H_b}{\gamma} \times \frac{\sin \alpha_0}{C_0} \quad (11)$$

Lemehaute & koh (۱۹۶۷) رابطه تجربی زیر را

بر اساس داده‌های موج گزارش شده برای ( $\alpha_b$ ) به دست

آورند [۲۱-۲۳].

$$\alpha_b = (0.25 + 0.55 H_0 f (g \times T \times T / 2\pi)) \alpha_0 \quad (12)$$

بنابراین می‌توان با استفاده از آمار باد، ارتفاع و احتمال

وقوع امواج در هر جهت را برای سرعت‌های مختلف

محاسبه کرد و بر اساس شیب متوسط بستر، محاسبات

انکسار<sup>۴</sup> و کم‌عمقی<sup>۵</sup> را صورت داد تا به مرحله شکست

موج برسد. سپس می‌توان با استفاده از معادله CERC

نرخ انتقال رسوب ساحلی را در هر حالت محاسبه کرد

[۲۴ و ۲۵].

نرخ خالص<sup>۶</sup> و نرخ ناخالص<sup>۷</sup> رسوب حمل شده:

مؤلفه موازی ساحل فلوی انرژی برای زوایای مختلف

تابش جبهه موج می‌تواند دو جهت متضاد داشته باشد؛ این

موضوع باید در محاسبه حجم رسوب دخالت داده شود.

$Q_L$ : کل حجم سالانه بار چپ نقل و انتقال یافته؛

$Q_r$ : کل حجم سالانه بار راست نقل و انتقال یافته.

نرخ ناخالص حمل رسوب در طول ساحل  $Q_g$  از

مجموع مقادیر حمل رسوب از راست و چپ از یک نقطه

در واحد زمان به دست می‌آید:

$$Q_g = Q_r + Q_L \quad (13)$$

به منظور مطالعه مقدار رسوب گذاری در سواحل بندر لنگه ابتدا بر اساس ارزیابی از نتایج حاصل از بازدیدهای میدانی و اطلاعات جمع‌آوری شده، ابعاد مختلف مسائل رسوبی در محدوده بندر لنگه بررسی می‌شود، سپس پتانسیل و نرخ جابه‌جایی رسوبات در منطقه محاسبه می‌شود؛ در نهایت تغییر شکل سواحل محدوده‌های رسوب گذار و فرسایش‌پذیر در سواحل اطراف بندر لنگه به کمک شبیه‌سازی ریاضی درازمدت به همراه تغییرات مورفولوژیک، بررسی و تعیین خواهد شد. بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌ها و آزمایش‌های میدانی، مشاهدات محلی، تحلیل عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان تصویر اولیه و نسبتاً شفافی از فعل و انفعالات رسوبی در محدوده طرح به دست آورد. توجه به این نکته لازم است که بندر لنگه، به دلیل قدمت احداث آن، به‌عنوان یک مدل فیزیکی با اندازه واقعی عمل نموده است و از این بابت پیش‌بینی‌ها و برداشت‌هایی که از شواهد مورفولوژیک قابل حصول است، با واقعیت زمان بهره‌برداری از بندر نزدیکی و انطباق بیشتری خواهد داشت. تصویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده وجود یک رودخانه در محدوده بندر لنگه است که سدی نیز روی آن احداث شده است. شکل ۲ نشان‌دهنده موقعیت سد یادشده نسبت به بندر لنگه است. عبور جاده از روی این مسیل و محوشدن مسیل بعد از جاده به سمت دریا حاکی از عدم فعالیت آن در سال‌های طولانی است. از سوی دیگر بر اساس بررسی تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی مشخص شده است که سواحل واقع در شرق بندر لنگه در بخش‌هایی کاملاً صخره‌ای و کوهستانی هستند و نقش اکوسیستم آبگیر (شوره‌زار) در تله کردن و کنترل سیلاب‌های ناشی از بارندگی‌های فصلی در بالادست منطقه، حاکی از آن است که توان تولید رسوب در منطقه ناچیز است [۶]. با توجه به این شواهد می‌توان نتیجه گرفت که مقدار رسوباتی که در این ناحیه از خشکی به دریا انتقال می‌یابند ناچیز و

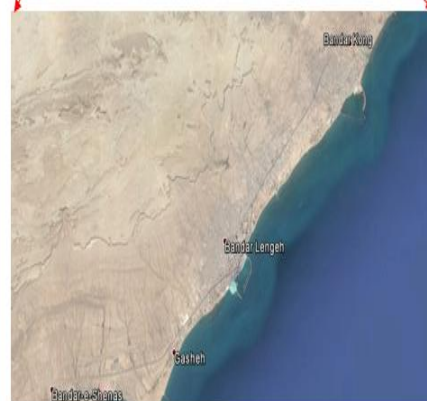
نرخ خالص حمل رسوب در طول ساحل  $Q_n$  از تفاضل مقادیر حمل رسوب از راست و چپ از نقطه در واحد زمان به دست می‌آید:

$$Q_n = Q_r - Q_L \quad (14)$$

### ۳. روش تحقیق

#### ۳-۱. منطقه مورد مطالعه

بندر لنگه یکی از شهرهای استان هرمزگان ایران است. این شهر مرکز شهرستان بندر لنگه و یکی از بنادر مهم جنوب کشور به شمار می‌رود و براساس اطلاعات موجود در ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و در ۲۶ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار مبدأ واقع شده است [۷۶].



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه



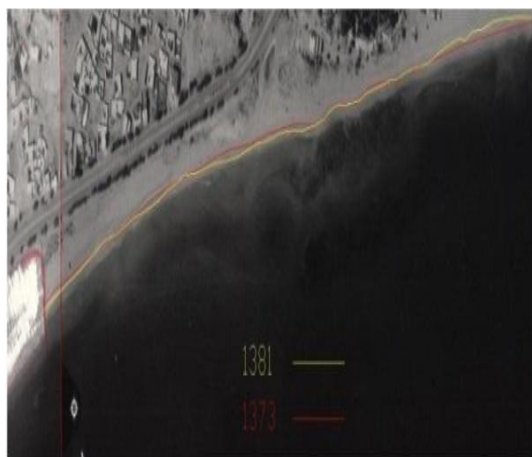
شکل ۲. موقعیت سد نسبت به بندر لنگه

قابل اغماض هستند. بخشی از رسوباتی که در ادوار گذشته با مکانیزم‌های مختلف بر بستر دریا قرار گرفته‌اند، می‌توانند توسط جریان‌ات دریایی به سمت موقعیت بندر به حرکت در آیند؛ علاوه بر رسوبات نهشته شده بر سواحل اطراف بندر که چنین قابلیت دارند، رسوبات ریزدانه‌ای که در مناطق دوردست‌تر قرار دارند نیز می‌توانند خود را به بندر برسانند. یکی از موقعیت‌های دریایی که بالقوه می‌تواند چنین تهدیدی برای بندر لنگه ایجاد نماید، محدوده تنگه خوران است که به واسطه جریان‌های جزرومدی قادر است بخشی از رسوبات خود را به محدوده بندر انتقال دهد.

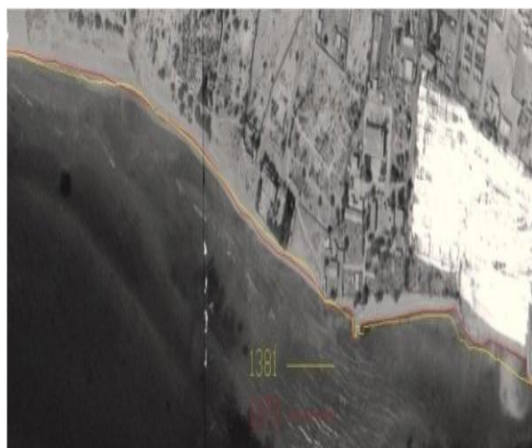
### ۲-۳. بررسی عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای

به منظور کسب اطلاعات بیشتر و بررسی شواهد تاریخی تغییر شکل سواحل در محدوده مورد مطالعه، عکس‌های هوایی تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری در سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۸۱ اخذ و بررسی و تحلیل شد. این عکس‌ها ابتدا در دستگاه مختصات UTM<sup>۱</sup> ژئورفرنس و موزایک شد. به منظور مقایسه روند تغییر شکل ساحل در سال‌های مذکور لازم است یک خط تراز راقومی مشخص با یکدیگر مقایسه شود. خط مرزی بین آب و خشکی (خط آب) به راحتی از عکس‌های هوایی قابل تشخیص است؛ در شکل ۳ که تصویر پس‌زمینه آن مربوط به سال ۱۳۷۳ است، موقعیت خط مد متوسط در سال‌های ۷۳ و ۸۱ به ترتیب با رنگ‌های قرمز و زرد نشان داده شده است.

این مقایسه نشان می‌دهد که خط مد متوسط و به تبع آن شکل ساحل در این دو سال تغییر قابل ملاحظه‌ای نکرده است. ولی فرسایش در پایین دست و رسوب گذاری در بالادست در برخی نقاط مشهود است [۲۶].



ساحل شمال شرق بندر



ساحل جنوب غرب بندر

شکل ۳. مقایسه خط مد متوسط در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۷۳ در

سواحل شمال شرق و جنوب غرب بندر

### ۳-۳. تخمین میزان رسوب‌گذاری توسط مدل ریاضی

با استفاده از مدل LITDRIFT از مجموعه نرم‌افزارهای LITPACK می‌توان پتانسیل نرخ انتقال رسوب موازی ساحل را محاسبه کرد [۲۷]. در این مدل‌سازی از رابطه CERC استفاده می‌شود. این مدل، مدلی یک‌بعدی است که شامل دو قسمت عمده، مدل هیدرودینامیک و مدل انتقال رسوب است [۱۲ و ۲۴].

این مدل هیدرودینامیکی قادر به محاسبه پدیده‌های انکسار امواج، کاهش عمق، شکست امواج، تنش‌های شعشی، خیز آب ناشی از موج<sup>۹</sup> و سرعت جریان‌های موازی ساحل است. مدل انتقال رسوب نیز مقدار انتقال رسوب را با در نظر گرفتن اثر همزمان موج و جریان محاسبه می‌کند.

اساس این مدل بر تئوری Fredsoe- 1986 در مورد نحوه لایه‌بندی جریان برای در نظر گرفتن اثر آشفتگی همزمان موج و جریان قرار دارد. در این نظریه عمق به دو ناحیه نزدیک به بستر و خارج از آن تقسیم‌بندی می‌گردد [۱۲].

در LITDRIFT اطلاعات موج را می‌توان به شکل جدول گلموج یا به شکل سری زمانی‌ای از اطلاعات موج به مدل معرفی کرد. در روش اول اطلاعات موج در بازه‌های مختلف بر اساس مقدار زاویه و ارتفاع موج و پیوند تقسیم‌بندی می‌گردند. سپس احتمال وقوع هر دسته بر اساس تعداد دفعات تکرار تعیین می‌شود. در روش دوم اطلاعات موج به صورت سری زمانی کاملی است که در آن هر مؤلفه سری دارای اطلاعات ارتفاع، زاویه و پیوند موج در گام زمانی سری است. در این سری‌ها احتمال وقوع همه مؤلفه‌ها برابر با درصد وقوع گام زمانی در کل بازه زمانی سری است. روش دوم به روش اول برتری دارد، زیرا در این روش اطلاعات موج واقعی‌تر است؛ اما باید توجه داشت که این روش باعث افزایش شایان توجه زمان اجراهای مدل می‌شود. در این مدل اطلاعات موج را می‌توان به صورت امواج منظم<sup>۱۰</sup> و نامنظم<sup>۱۱</sup> معرفی کرد. در حالت معرفی امواج به صورت نامنظم نیز می‌توان از روش Rayleigh یا Battjes and Janssen استفاده کرد که در صورت استفاده از هر حالت یکی از این روش‌ها به ترتیب باید

از  $^{12}T_P$  و  $^{13}T_Z$  به عنوان پیوند موج غالب استفاده شود. از دیگر داده‌های ورودی مدل LITDRIFT اطلاعات مربوط به پروفیل بستر دریا در امتداد عمود بر ساحل است. این داده‌ها شامل هیدروگرافی، اندازه متوسط ذرات تشکیل‌دهنده بستر D n50، زبری بستر<sup>۱۴</sup> که تابعی از D n50 است، سرعت سقوط<sup>۱۵</sup> ذرات تشکیل‌دهنده بستر که تابعی از D n50، چگالی ذرات و دمای آب است. ضریب پراکنندگی هندسی<sup>۱۶</sup> که تابعی از دانه‌بندی ذرات است نیز لحاظ می‌شود [۲۸ و ۲۹].

### ۳-۴. داده‌های استفاده‌شده

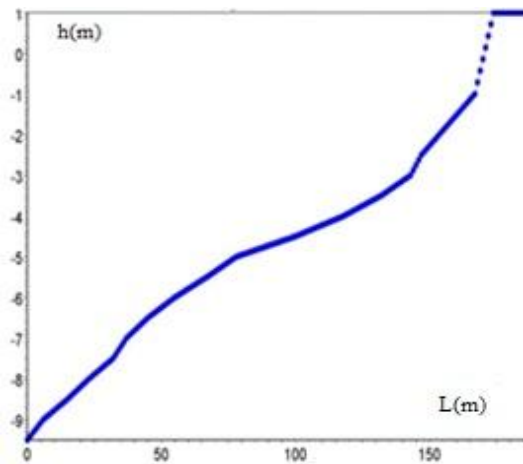
امتداد غالب خط ساحل و زاویه خط عمود بر ساحل نسبت به شمال به مقدار  $144^\circ$  و بر اساس شکل ۴ به مدل وارد شده است.



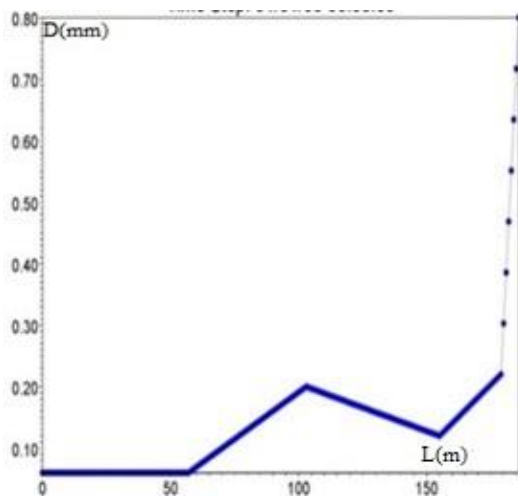
شکل ۴. زاویه امتداد غالب ساحل نسبت به شمال

داده‌های نمونه‌برداری رسوب که خلاصه نتایج حاصل از این اندازه‌گیری میدانی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است؛ به مدل وارد شده‌اند. فاصله ۸۰۰ متر در دو طرف بندر در این نمونه‌برداری پوشش داده شده است. در نزدیک موج‌شکن‌ها در هر دو سوی بندر سه خط عمود بر ساحل با فاصله ۱۰۰ متر و سه خط دیگر در ادامه و با فاصله ۲۰۰ متر مسیرهای نمونه‌برداری را تشکیل داده‌اند. روی هر خط در اعماق +۱، -۱، -۳، -۵ و -۷ متر نسبت به تراز متوسط آب (MSL)<sup>۱۷</sup> نمونه‌برداری از رسوبات بستر

پروفیل بستر رسوبی که در محاسبات انتقال رسوب استفاده شده است بر نقاط A3 تا D3 (شکل ۵) منطبق است. قطرهای مشخصه D15، D50 و D85 در هر یک از موقعیت‌های A3 تا D3 با متوسط‌گیری از قطرهای مشخصه نظیر در اعماق مشابه در میدان نمونه‌برداری رسوب در سمت شمال شرق بندر تعیین شده است. سرعت سقوط و بقیه پارامترهای وابسته به قطر رسوبات نیز بر این مبنای محاسبه شده است. همگی این مشخصات در شکل ۷ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این شکل محور افقی، شماره گره محاسباتی را نشان می‌دهد. گام مکانی محاسبات ۵ متر اختیار شده است.

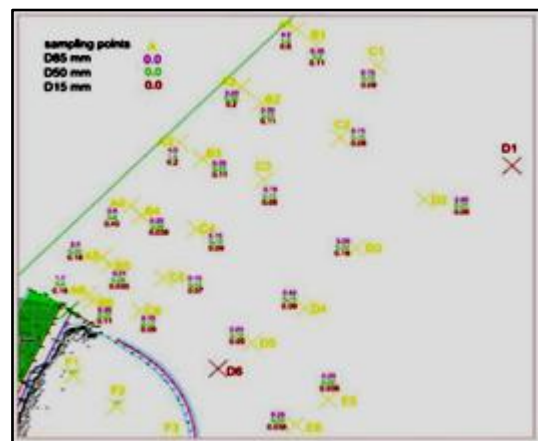


پروفیل بستر



قطر میانه

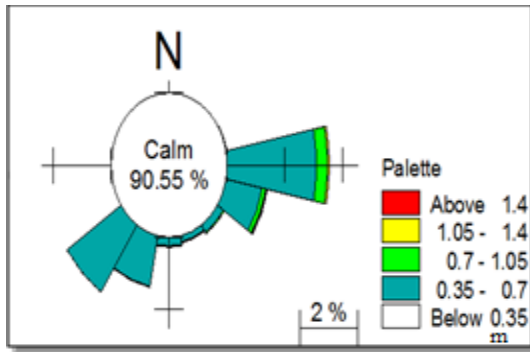
انجام گرفته و جنس و دانه‌بندی نمونه تعیین شده است. در شکل‌های ۵ و ۶ نقاطی که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند دارای بستر سنگی هستند. نتایج نشان می‌دهد که در ساحل شمال شرق بندر دو نقطه D1 و D6 سنگی و بقیه نقاط دارای پوشش رسوبی هستند. دانه‌بندی ذرات رسوبی در این سوی بندر کاملاً غیریکنواخت است، به شکلی که قطر میانه رسوبات از ۰/۰۶ تا ۱/۵ میلی‌متر متغیر است. ذرات رسوبی ریزدانه‌تر عمدتاً دور از ساحل و درشت‌دانه‌ها در نزدیک ساحل قرار دارند. در سمت جنوب غرب بندر به غیر از اولین خط نمونه‌برداری در نزدیک موج‌شکن، بقیه نقاط عمدتاً سنگی هستند (نزدیک به ۷۰ درصد نقاط).



شکل ۵. نتایج نمونه‌برداری رسوبات بستر سمت شمال شرق بندر

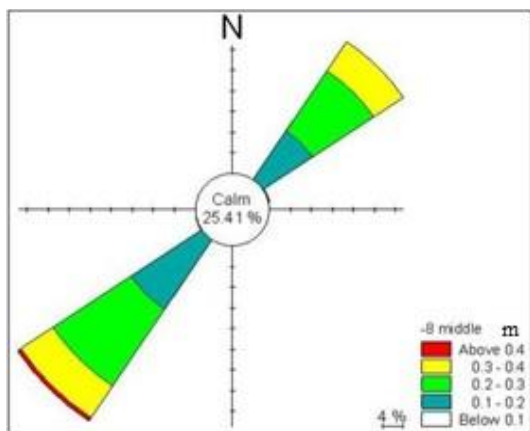


شکل ۶. نتایج نمونه‌برداری رسوبات بستر سمت جنوب غرب بندر

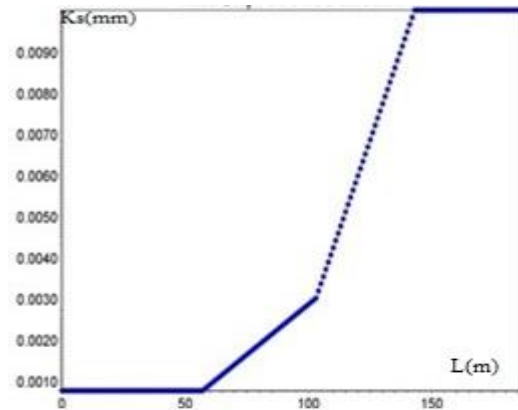


شکل ۸ گلموج منطقه مورد مطالعه، اعمال شده در مدل

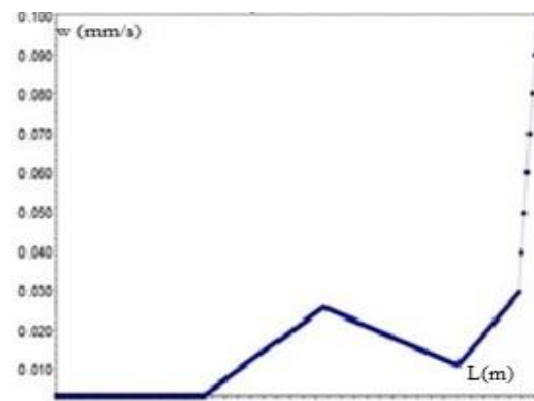
جهت بررسی اثر سرعت جریان‌های جزرومدی در تخمین نرخ انتقال رسوب، یک سیکل کامل جزرومدی شامل دو مد و دو جزر در نظر گرفته شد. حد متوسطی بین مقادیر ناشی از کشند بیشینه<sup>۱۹</sup> و کشند کمینه<sup>۲۰</sup> به عنوان سیکل معرف متوسط سالیانه انتخاب شده است. مدل‌سازی و شبیه‌سازی نوسانات جزرومدی و تراز آب و سرعت جریان از مدل سراسری خلیج فارس [۳۰] و ماژول هیدرو دینامیک HD از افزار MIKE-21 به دست آمده است [۲۷]. یک نقطه در عمق ۸ متری، واقع در ساحل شمال شرق بندر که الگوی جریان تحت تأثیر موج شکن‌ها قرار ندارد، به عنوان موقعیت معرف جریان‌های جزرومدی انتخاب گردید. شکل ۹ گل جریان جزرومدی را در عمق ۸ متری نسبت به CD<sup>۲۱</sup> در ساحل شمال شرق بندر نشان می‌دهد.



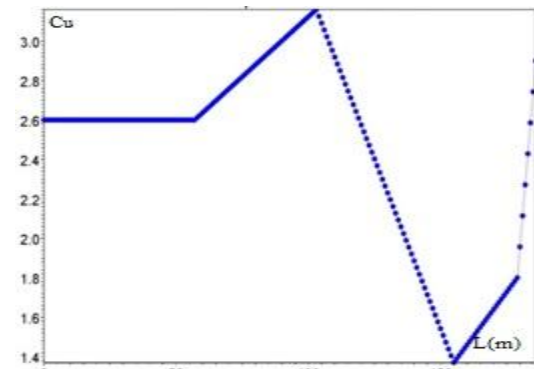
شکل ۹ گل جریان جزرومدی در عمق ۸ متر نسبت به CD در سمت شمال شرق بندر



زبری بستر



سرعت سقوط



ضریب یکنواختی

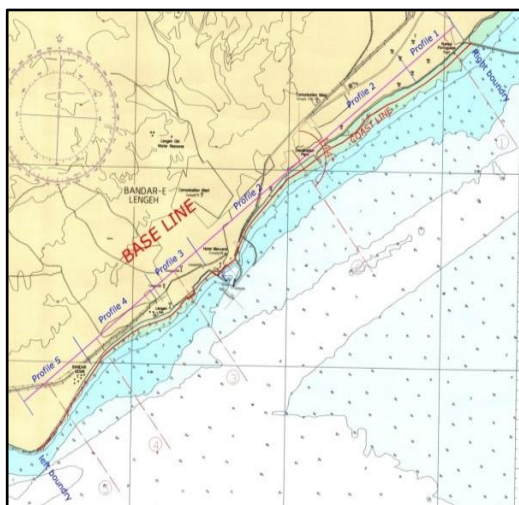
شکل ۷. مشخصات بستر رسوبی در محاسبه نرخ انتقال رسوب

الگوی امواج اعمال شده در مدل از مدل‌سازی امواج با استفاده از اطلاعات باد ایستگاه هواشناسی بندر لنگه و سیری و ابوموسی از مدل هواشناسی ECMWF<sup>۱۸</sup> و همچنین مدل MIKE21-SW به دست آمده است. این الگو در شکل ۸ مشخص شده است [۲۶، ۲۷، ۳۰].



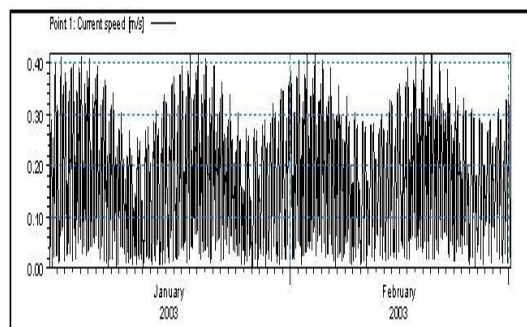
LITPACK استفاده شده است. مدل ریاضی مذکور مبتنی بر تئوری تک خطی تغییرات مورفولوژیک در سواحل است. این مدل قادر است تغییر شکل بلندمدت خط ساحل را تحت تأثیر اقلیم هیدرودینامیک موجود در منطقه و با لحاظ کردن تأثیرات سازه‌هایی چون موج‌شکن‌ها، آب‌شکن‌ها، دیوارهای ساحلی و ... محاسبه کند [۲۶].

در اجرای مدل ریاضی مورفولوژی، خط ساحل اولیه با استفاده از نقشه هیدروگرافی اخذ شده از سازمان نقشه‌برداری کشور مطابق شکل ۱۳ تعیین گردید. خط ساحل منطبق بر تراز متوسط آب در نقشه مذکور در نظر گرفته شده است و با رنگ قرمز در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در این شکل موقعیت خط مرجع<sup>۲۲</sup> و پروفیل‌های بستر دریا که در مدل‌سازی به کار رفته نیز نشان داده شده است. زاویه بین عمود بر خط مرجع و شمال  $144^\circ$  است. مشخصات پروفیل بستر دریا همان‌طور که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، با توجه به وضعیت شیب ساحل و الگوی خطوط تراز بستر دریا و پنج پروفیل معرف، برای بازه‌های مختلف محدوده مدل‌سازی در نظر گرفته شد. مرزهای جانبی موقعیت موج‌شکن غربی بندر کنگ به عنوان مرز سمت شمال شرق و نزدیک‌ترین دماغه به بندر لنگه به عنوان مرز جنوب غرب مدل مورفولوژی تعیین شده است. اقلیم موج مطابق آنچه در بخش ۳-۴ ذکر شد، لحاظ گردید.

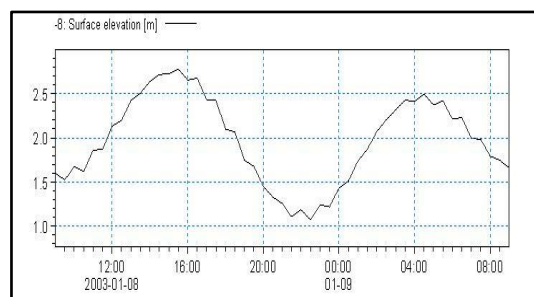


شکل ۱۳. موقعیت خط مرجع، خط ساحل و پروفیل‌های معرف

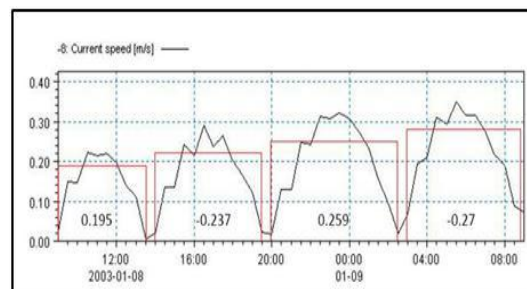
شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ موقعیت زمانی، ترازها و سرعت‌های جزرومد اعمال شده به مدل انتقال رسوب را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که در هر دوره مد و جزر یک سرعت متوسط مطابق شکل در مدل انتقال رسوب اعمال شده است.



شکل ۱۰. موقعیت زمانی بین کشندهای کمینه و بیشینه



شکل ۱۱. موقعیت زمانی و تراز جزرومد



شکل ۱۲. سرعت جریان‌های جزرومدی

۳-۵. تخمین میزان تغییر شکل سواحل منطقه مورد مطالعه توسط مدل ریاضی در محاسبات مربوط به تغییر شکل سواحل اطراف بندر از مدل ریاضی LITLINE [۳۱] از مجموعه نرم‌افزارهای

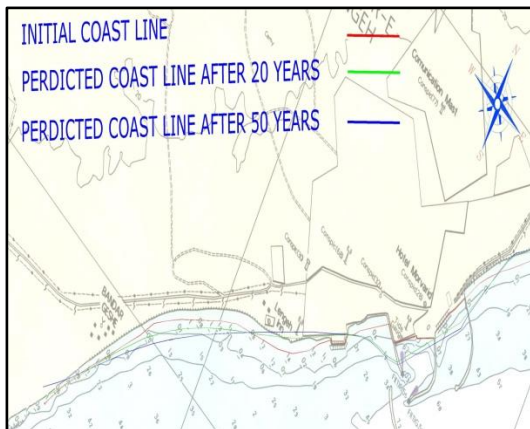
#### ۴. نتایج

کم‌بودن ضخامت رسوبات و کمتر شدن مقادیر محاسبه شده زیاد است.

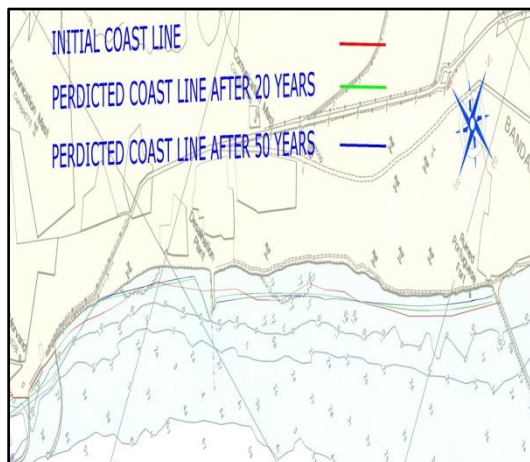
جدول ۱. نرخ انتقال رسوب سالیانه در سواحل اطراف بندر لنگه

| Annual sediment transport                 | wave  | Wave+current |
|---|-------|--------------|
| Accumulative Gross (M <sup>3</sup> /Year) | ۱۷۶۵۰ | ۵۷۶۰۳        |
| Accumulative net (M <sup>3</sup> /Year)   | ۱۰۹۵۷ | ۶۱۸۶         |

نتایج حاصل از مدل‌سازی مورفولوژیک بندر لنگه توسط مدل ریاضی برای ۲۰ و ۵۰ سال آینده در ساحل شمال شرقی و جنوب غربی بندر مطابق شکل ۱۶ از نرم‌افزار LITLINE به دست آمده است.



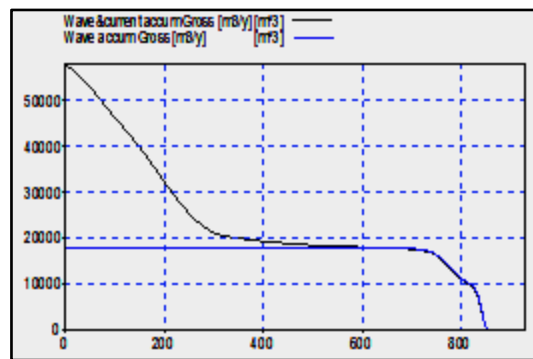
تخمین تغییر ساحل شمال شرق بندر



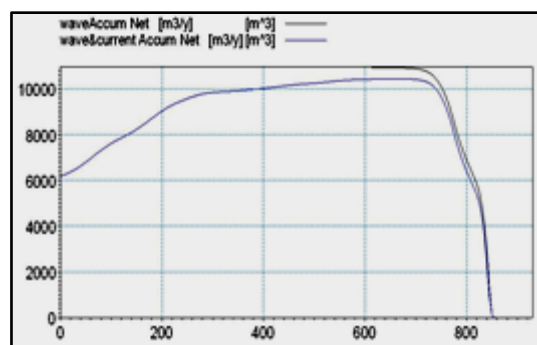
تخمین تغییر ساحل جنوب غرب بندر

شکل ۱۶. نتایج حاصل از مدل‌سازی مورفولوژیک

نتایج اجرای مدل انتقال رسوب در دو حالت لحاظ کردن اثر جریان‌های جزرومدی و بدون لحاظ کردن آن در شکل های ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است. نرخ خالص و نرخ ناخالص انتقال رسوب سالانه بدون در نظر گرفتن اثر این جریان‌ها به ترتیب حدود ۱۰۹۵۷ و ۱۷۶۵۰ متر مکعب در سال به دست آمده است، سپس با در نظر گرفتن اثر جریان‌ها نرخ خالص و ناخالص انتقال رسوب به ترتیب حدود ۶۱۸۶ و ۵۷۶۰۳ متر مکعب در سال برآورد گردیده است.



شکل ۱۴. مقادیر ناخالص نرخ انتقال رسوب تجمعی



شکل ۱۵. مقادیر خالص نرخ انتقال رسوب تجمعی

همان‌گونه که جدول ۱ نشان می‌دهد مقادیر خالص نرخ انتقال رسوب در سواحل اطراف بندر لنگه کم است. باید توجه داشت که مقادیر فوق پتانسیل حمل را نشان می‌دهد و در صورتی که ضخامت لایه رسوبی پوشش دهنده بستر کم باشد، این مقادیر کمتر خواهد بود. به دلیل مشاهده بستر سنگی در کنار بستر رسوبی، احتمال

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

شرق بندر لنگه در بخش‌هایی کاملاً صخره‌ای و کوهستانی بوده و وجود شوره زارها (آبگیر) در تله کردن رسوبات (اعم از بادی و آبی) حاصل از بارندگی‌های فصلی در بالادست منطقه نشان می‌دهد توان تولید رسوب در منطقه ناچیز است [۶]. در عکس‌های هوایی زمین مرجع شده مربوط به سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۸۱ که در آن خط مد متوسط به عنوان خط تراز رقوم مشخص مقایسه شده بود، در شکل ساحل تغییر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نگردید. ولی رسوب گذاری در بالادست (سمت شمال شرق بندر) و فرسایش در پایین دست (سمت جنوب غرب بندر) در برخی نقاط مشهود است. دانه‌بندی ذرات رسوبی نیز در قسمت شمال شرق بندر غیریکنواخت است، به شکلی که قطر میانه رسوبات از ۰/۰۶ تا ۱/۵ میلی متر متغیر بوده و ذرات رسوبی ریزتر عمدتاً دور از ساحل و درشت‌دانه‌ها نزدیک ساحل قرار دارند و در قسمت جنوب غرب بندر عمده نقاط (نزدیک ۷۰ درصد) دارای بستر سنگ رسوبی است. مقادیر خالص نرخ انتقال رسوب به دست آمده از مدل ریاضی LITDRIFT در سواحل اطراف بندر لنگه با احتساب موج ۱۰۹۵۷ متر مکعب در سال و با احتساب موج و جریان ۶۱۸۶ متر مکعب در سال است که این مقدار کم بوده و باید توجه داشت که این مقادیر پتانسیل حمل را نشان می‌دهند و چون ضخامت لایه رسوبی پوشش دهنده بستر کم است، مقادیر فوق کمتر نیز خواهد بود؛ به دلیل مشاهده بستر سنگی در کنار بستر رسوبی، احتمال کم بودن ضخامت رسوبات و کمتر شدن مقادیر محاسبه شده در بخش نتایج زیاد است. تغییرات پیش بینی شده خط ساحل نیز نشان می‌دهد که به دلیل نرخ کم انتقال رسوب، جابه جایی خط ساحل نیز ناچیز خواهد بود. این مسئله در انطباق با شواهد مورفولوژیک و نتایج حاصل از بررسی و مقایسه عکس‌های هوایی است. همچنین نتایج و مقادیر به دست آمده از این تحقیق، با پژوهش‌هایی همچون تحلیل فرایندهای رسوبی بندر لنگه و کنگک مبتنی بر تفسیر مدل‌های مفهومی و عددی [۷] و

روشی نو در تعیین جانمایی بهینه بنادر از منظر مسئله مهم رسوب گذاری در محدوده بندر لنگه تا چارک، قرابت و مطابقت کاملی دارند؛ در نهایت به دلیل پایین بودن نرخ رسوب گذاری منطقه مورد مطالعه - حدود ۲ میلی متر در سال - و دسترسی به امکانات زیر بنایی، منطقه مورد مطالعه یکی از بهینه ترین نقاط برای ایجاد یا توسعه بندری در بخش شمال خلیج فارس است [۶].

## ۶. سپاسگزاری

در اجرای نقشه جامع علمی کشور و در راستای ایفای نقش مرجعیت علمی سازمان بنادر و دریانوردی در امور بندری، دریایی، کشتیرانی و بازرگانی، این مقاله با حمایت علمی و مادی سازمان بنادر و دریانوردی به انجام رسیده است.

## مراجع

- [1] Nielsen P. Coastal bottom boundary layers and sediment transport. World Scientific Publishing Co Inc; 1992.
- [2] Gyr A, Hoyer K. The classical representation of the sediment transport. Sediment Transport: A Geophysical Phenomenon. Springer Netherlands; 2006. p.19-32.
- [3] Raudkivi AJ. Sedimentation: exclusion and removal of sediment from diverted water. CRC Press; 1993.
- [4] Graf WH. Hydraulics of sediment transport. Water Resources Publication; 1984.
- [5] Balson PS, Collins MB, editors. Coastal and shelf sediment transport. Geological Society of London; 2007.
- [6] Fredsøe J, Deigaard R. Mechanics of coastal sediment transport. World Scientific; 1992.
- [7] Liu PL. Advances in coastal and ocean engineering. World Scientific; 1999.
- [8] Watanabe A, Shimizu T, Kondo K, editors. Field application of a numerical model of

- Sediment Monitoring Instrument and Analysis Research Workshop; 2003 Sep 9-11; Flagstaff, Arizona. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia; 2005. (Vol. 9, No. 11).
- [19] Bijker EW. Some considerations about scales for coastal models with movable bed. Delft Hydraulics Laboratory Publication 50; 1967.
- [20] Engineers UACO. Coastal engineering manual. Engineer Manual. 2002.
- [21] Camenen B, Larson M, Yamashita T. A simple formulation of the non-cohesive sediment-transport. Kyoto Daigaku Bōsai Kenkyūjo nenpō. 2005;48:745-55.
- [22] Iran Port and Maritime Organization. Iranian seas Wave Modeling ,Persian Gulf & Oman Sea.1992-2003. (vol.2)
- [۲۳] ایزد پناه هادی. بررسی پدیده رسوبگذاری در بنادر صیادی استان بوشهر [پایان نامه]. دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۱۳۷۵.
- [۲۴] محجوبی جواد. پیش بینی پارامترهای امواج ناشی از باد در دریای خزر با استفاده از روش درختان تصمیم رگرسیونی و شبکه های عصبی مصنوعی. نشریه مهندسی دریا. ۱۳۸۸؛ ۵(۹):۶۵-۷۱.
- [۲۵] شیبانی جعفر. مدل ریاضی پیش بینی جریان و میزان انتقال رسوب ساحلی. مجموعه مقالات سومین همایش بین المللی سواحل بنادر و سازه های دریایی؛ ۱۳۷۷ آذر ۲۲؛ تهران، ایران.
- [۲۶] شاه نوری سمیه. بررسی الگوی انتقال رسوب در منطق ساحلی نوشهر [پایان نامه]. دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال؛ ۱۳۹۰.
- [۲۷] صادقی فرطیب. تخمین آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل با استفاده از مدل های محاسباتی نرم. نشریه مهندسی دریا. ۱۳۹۳؛ ۱۰(۱۹):۵۹-۶۹.
- [۲۸] افشارکاو نغمه. بررسی روابط نرخ انتقال رسوب موازی ساحل در خلیج فارس. مجموعه مقالات beach topography change. In Coastal Sediments. ASCE; 1991.p.1814-28
- [9] Van Rijn LC. Estuarine and coastal sedimentation problems. International Journal of Sediment Research. 2005;20(1):39-51.
- [10] Chanson H. The Hydraulics of Open Channel Flow. Butterworth-Heinemann; 1999. P.195-209
- [11] Jamal MH. Prediction of Sedimentation Rates in a Navigation Channel [Doctoral dissertation]. Univ. Tekhnologi Malaysia; 2005.
- [12] Watanabe A, editor. 3-dimensional numerical model of beach evolution. Coastal Sediments; 1987. ASCE; 1987. p. 801-17.
- [13] Bayram A, Larson M, Miller HC, Kraus NC. Cross-shore distribution of longshore sediment transport: comparison between predictive formulas and field measurements. Coastal Engineering. 2001;44(2):79-99.
- [14] Van De Graaff J, Van Overeem J. Evaluation of sediment transport formulae in coastal engineering practice. Coastal Engineering. 1980;3:1-32.
- [15] Whipple K. Surface Processes and Landscape Evolution. IV: Essentials of Sediment Transport. MIT; 2004. 12.163/12.463 – Course Notes. Available at: <http://ocw.mit.edu/courses>.
- [16] Watanabe A. Total rate and distribution of longshore sand transport. 23rd International Conference on Coastal Engineering; 1992 Oct 4-9; Venice, Italy. American Society of Civil Engineers; 1993. p. 2528-41.
- [17] Paintal A. Concept of critical shear stress in loose boundary open channels. Journal of Hydraulic Research. 1971;9(1):91-113.
- [18] Gray JR. Attributes for a Sediment Monitoring Instrument and Analysis Research Program. Proceedings of the Federal Interagency

### پی‌نوشت

1. Coastal engineering research center
2. Significant wave high
3. Root mean square wave high
4. Refraction
5. Shoaling
6. Net rate
7. Gross rate
8. Universal transverse mercator
9. Wave set up
10. Regular
11. Irregular
12. Significant wave period
13. Zero up-crossing period
14. Bed roughness
15. Fall velocity
16. Geometrical spreading factor
17. Middle sea level
18. European center for medium range weather forecasting
19. Spring tide
20. Neap tide
21. Chart datum
22. Base line

چهارمین کنگره مهندسی عمران دانشگاه تهران؛

۱۳۸۷ اردیبهشت ۱۷-۱۹؛ تهران، ایران.

[۲۹] آزر م سا علی. دینامیک ماسه های دریایی. دانشگاه

تربیت مدرس؛ ۱۳۸۱. ص. ۲۱-۷۴.

[۳۰] چگینی وحید. نظریه های موج. شرکت جهاد

تحقیقات آب و آبخیزداری؛ ۱۳۷۷. ص. ۹۶-

۱۲۷. (مجموعه کتابهای مهندسی دریا؛ ۱).

[۳۱] فیاض آذر مسعود. روشی نو در تعیین جانمایی بهینه

بنادر از منظر مساله مهم رسوب گذاری [پایان نامه].

دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۳.