

بررسی مدل‌های تجربی انتقال رسوب در بندر لنگه

کامران لاری^۱، سیده‌محمدتی ساداتی پور^۲ و مصطفی ممقانی^{۳*}

^۱دانشیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران k_lari@iautn.ac.ir

^۲استادیار، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران sadatipour1960@yahoo.com

^{۳*}نویسنده مسئول، کارشناسی 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 رسوب‌گذاری در حوضچه و کانال دسترسی بنادر و تغییرات ساحل و بستر دریا پس از ساخت بندر است؛ به طوری که لای‌روبی رسوبات انباشته شده برای تأمین آبخور مورد نیاز کشتی‌ها و استفاده بهینه از بنادر هزینه بسیار زیادی دارد. یکی از مهم‌ترین پارامترها در مسائل مهندسی سواحل انتقال رسوب است. زیرا گاهی اوقات کمبود مواد رسوبی نشان‌دهنده وجود فرسایش در منطقه و در سایر نقاط تراکم مواد، نشان‌دهنده رسوب‌گذاری است. در این تحقیق ابتدا از مقایسه تصاویر هوایی، تغییرات خط ساحلی در منطقه بندر لنگه مطالعه می‌شود. سپس با استفاده از مجموعه نرم‌افزاری LITPACK از بسته نرم‌افزاری DHI، داده‌های موج، جریان جزرومدی و دانه‌بندی رسوبات به مدل‌سازی خط ساحلی و میزان رسوب در منطقه پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که سواحل اطراف بندر لنگه در سال‌های گذشته تغییرات قابل ملاحظه‌ای نداشته است و این وضعیت با منابع ناچیز رسوبی موجود در منطقه در تطابق است.

واژه‌های کلیدی: بندر لنگه، رسوب‌گذاری، موج و جریان، مدل ریاضی، نرم‌افزار LITPACK

۱. مقدمه

یکی از مشکلات بنادر بزرگ و کوچک کشور موضوع رسوب‌گذاری در حوضچه و کانال دسترسی بنادر و تغییرات ساحل و بستر دریا پس از ساخت بندر است، به طوری که لای‌روبی رسوبات انباشته شده برای تأمین آبخور مورد نیاز کشتی‌ها و استفاده بهینه از بنادر هزینه بسیار هنگفتی در بر دارد. شناخت رسوب و مکانیزم رسوب‌گذاری و نحوه مقابله با آن از مقوله‌های بسیار مهم است که باید در زمان طراحی بندر به آن توجه ویژه کرد و جانمایی بنادر با توجه به آن مشخص شود. مهم‌ترین 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

فرسایش ناشی از موج در قسمت‌هایی که تحت تأثیر امواج قرار می‌گیرند. برای بررسی هیدرودینامیک موج و مسئله انتقال رسوب روش‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان روش اندازه‌گیری میدانی، مدل عددی و پیش‌بینی با استفاده از روابط تجربی و ریاضی را نام برد [۱-۳]. پیچیدگی‌ها و تعدد پارامترهای واردشونده در توابع ریاضی موج و انتقال رسوب در سواحل و تأثیر متقابل سازه و دریا و نیز هزینه‌های اجرایی زیاد سازه‌های دریایی، امری است که ضمن افزایش حساسیت طراحی چنین سازه‌هایی، استفاده از تجربیات دیگران و پندگرفتن از اشکالات موجود در طراحی‌های پیشین را ضروری می‌سازد. در بیشتر نقاط ساحلی ایران و دیگر کشورها مطالعه و بررسی‌های زیادی در زمینه برآورد مقدار رسوب‌گذاری انجام گرفته است؛ از آن جمله به

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، ρ چگالی آب دریا و g شتاب گرانش زمین است.

در خط شکست جریان انرژی در واحد طول ساحل برابر است با:

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

α_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. هرچند 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 CREC¹ 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 سالیانه 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 [8-15]. 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^۲

H_{rms} : ارتفاع جذر میانگین مربعات همه ارتفاع های موج^۳ وقتی از H_{rms} در معادله استفاده می شود، ضریب K باید دو برابر مقدار ضریب K به کاررفته در حالت H_s باشد. نمونه ها و مدل های به کاررفته در گذشته مقدار 0.28 را برای ضریب K نشان داده است (در صورت به کار بردن H_s) [۱۶-۱۹].

پارامترهای مورد نیاز [۲۰] جهت استفاده از فرمول CERC:

ارتفاع موج در منطقه شکست (H_{br})
زاویه موج با خط ساحل (α_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 می توان 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، α_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 γ اندیس شکست موج است

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

h_b عمق آب در منطقه شکست است.

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

برای محاسبه زاویه موج با خط ساحل در منطقه شکست از رابطه ۱۱ استفاده می شود:

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

Lemehaute & koh (۱۹۶۷) رابطه تجربی زیر را براساس داده های موج گزارش شده برای (α_b) به دست آوردند [۲۱-۲۳].

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

بنابراین می توان با استفاده از آمار باد، ارتفاع و احتمال وقوع امواج در هر جهت را برای سرعت های مختلف محاسبه کرد و بر اساس شیب متوسط بستر، محاسبات انکسار^۴ و کم عمقی^۵ را صورت داد تا به مرحله شکست موج برسد. سپس می توان با استفاده از معادله CERC نرخ انتقال رسوب ساحلی را در هر حالت محاسبه کرد [۲۴ و ۲۵].

نرخ خالص^۶ و نرخ ناخالص^۷ رسوب حمل شده: مؤلفه موازی ساحل فلوی انرژی برای زوایای مختلف تابش جبهه موج می تواند 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 می آید:

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

به منظور مطالعه مقدار رسوب گذاری در سواحل بندر لنگه ابتدا بر اساس ارزیابی از نتایج حاصل از بازدیدهای میدانی و اطلاعات جمع آوری 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 رسوب‌گذار 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:

$$Q_n = Q_r - Q_L \quad (41-1) \quad (14)$$

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 [۷ و ۶].

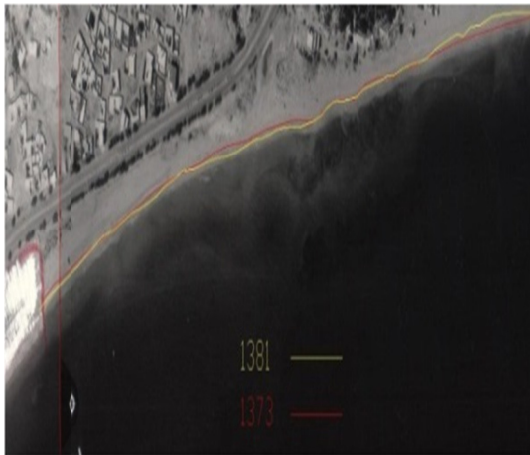


شکل ۱. منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. موقعیت سد نسبت به بندر لنگه

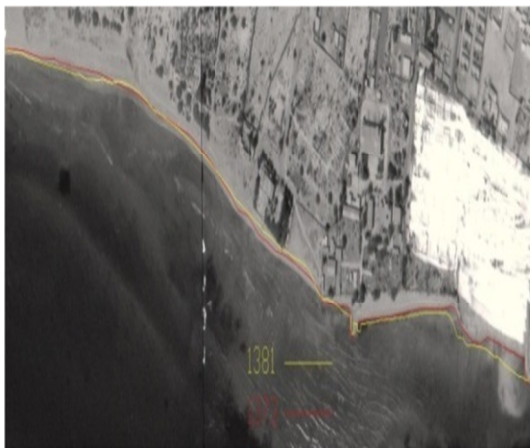
قابل اغماض هستند. بخشی از رسوباتی که در ادوار گذشته با مکانیزم‌های مختلف بر بستر دریا قرار گرفته‌اند، می‌توانند توسط جریان‌های دریایی به سمت موقعیت بندر به حرکت درآیند؛ علاوه بر رسوبات نهشته شده بر سواحل اطراف بندر که چنین قابلیت دارند، رسوبات ریزدانه‌ای که در مناطق دور دست تر قرار دارند نیز می‌توانند 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.



ساحل شمال شرق بندر

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^۱ ژئورفرنس و موزاییک شد. به منظور مقایسه روند تغییر شکل ساحل در سال‌های مذکور لازم است یک خط تراز رقوم 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.



ساحل جنوب غرب بندر

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 رسوب‌گذاری در بالادست در برخی نقاط مشهود است [۲۶].

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 تشعشعی، خیز آب ناشی از موج^۹ 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 پیروی 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 پیروی 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^{۱۰} و نامنظم^{۱۱} 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 T_p و T_z به عنوان پیروی 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^{۱۴} که تابعی از D n50 است، سرعت سقوط^{۱۵} ذرات تشکیل‌دهنده بستر که تابعی از D n50، چگالی ذرات و دمای آب است. ضریب پراکندگی هندسی^{۱۶} 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° و بر اساس شکل ۴ به مدل وارد شده است.

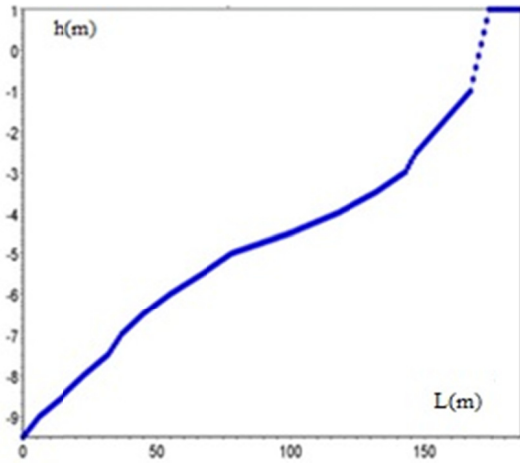


شکل ۴. زاویه امتداد غالب ساحل نسبت به شمال

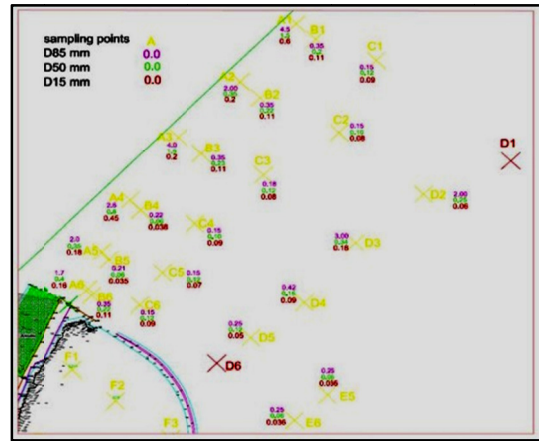
داده‌های نمونه‌برداری رسوب که خلاصه نتایج حاصل از این اندازه‌گیری میدانی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است؛ به مدل وارد شده‌اند. فاصله ۸۰۰ متر در دو طرف بندر در این نمونه‌برداری پوشش داده شده است. در نزدیک موج‌شکن‌ها در هر دو سوی بندر سه خط عمود بر ساحل با فاصله ۱۰۰ متر و سه خط دیگر در ادامه و با فاصله 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)^{۱۷} 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 هریک 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 مبنا 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.

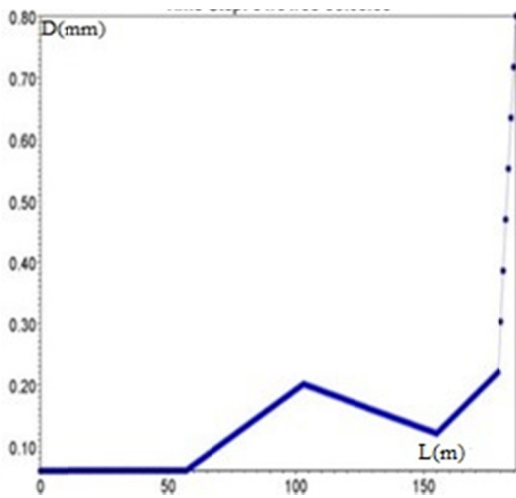
انجام گرفته و جنس و دانه‌بندی نمونه تعیین شده است. در شکل‌های ۵ و ۶ نقاطی که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند دارای بستر سنگی هستند. نتایج نشان می‌دهد که در ساحل شمال شرق بندر دو نقطه D1 و D6 سنگی و بقیه نقاط دارای پوشش رسوبی هستند. دانه‌بندی ذرات رسوبی در این سوی بندر کاملاً غیریکنواخت است، به شکلی که 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).



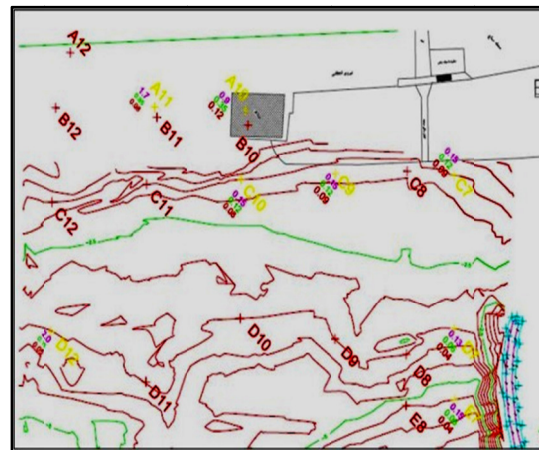
پروفیل بستر



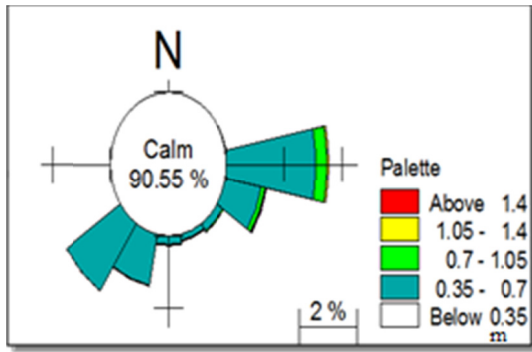
شکل ۵. نتایج نمونه‌برداری و سوبات بستر سمت شمال شرق بندر



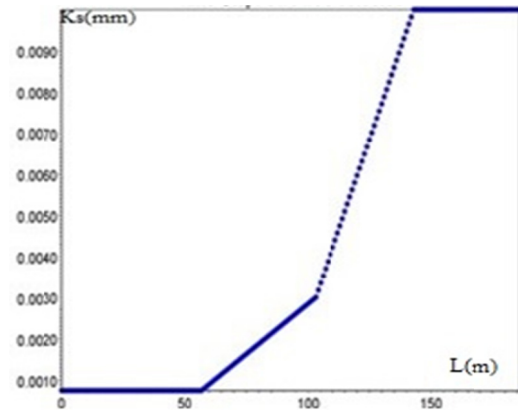
قطر میانه



شکل ۶. نتایج نمونه‌برداری و سوبات بستر سمت جنوب غرب بندر

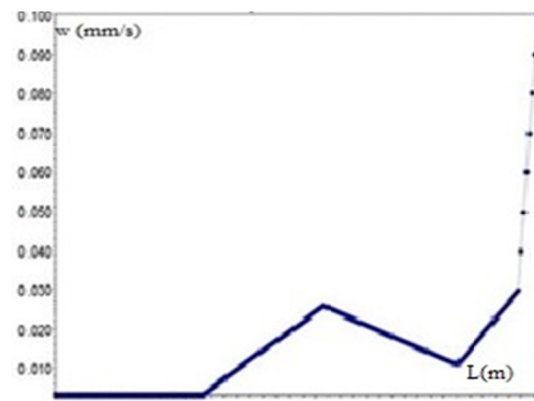


شکل ۸ گلموج منطقه مورد مطالعه، اعمال شده در مدل

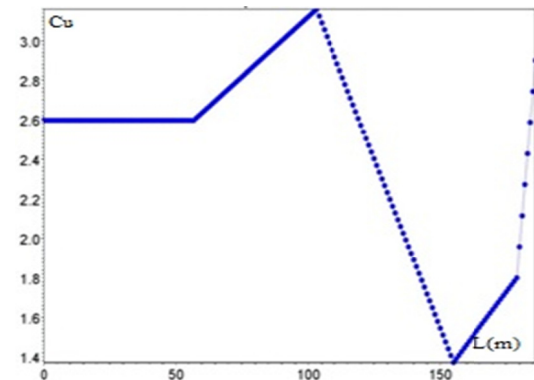


زبری بستر

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^{۱۹} و کشند کمینه^{۲۰} 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^{۲۱} در ساحل شمال شرق بندر نشان می‌دهد.

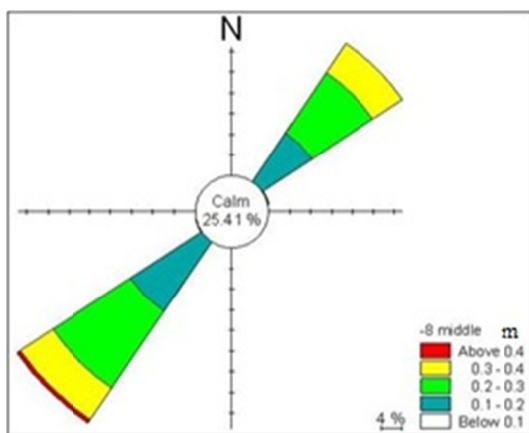


سرعت سقوط



ضریب یکنواختی

شکل ۷. مشخصات بستر رسوبی در محاسبه نرخ انتقال رسوب

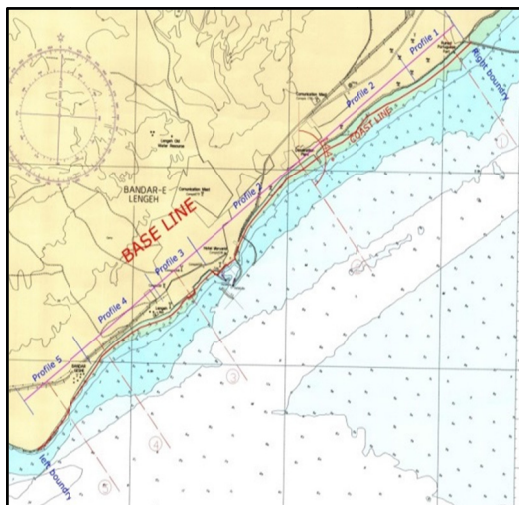


شکل ۹. گل جریان جزرومدی در عمق ۸ متر نسبت به CD در سمت شمال شرق بندر

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^{۱۸} و همچنین مدل MIKE21-SW به دست آمده است. این الگو در شکل ۸ مشخص شده است [۲۶، ۲۷، ۳۰].

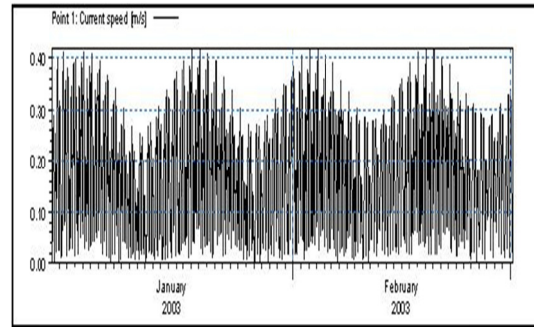
LITPACK استفاده شده است. مدل ریاضی مذکور مبتنی بر تئوری تک خطی تغییرات مورفولوژیک در سواحل است. این مدل قادر است تغییر شکل بلندمدت خط ساحل را تحت تأثیر اقلیم هیدرودینامیک موجود در منطقه و با لحاظ کردن تأثیرات سازه‌هایی چون موج‌شکن‌ها، آب‌شکن‌ها، دیوارهای ساحلی و ... محاسبه کند [۲۶].

در اجرای مدل ریاضی مورفولوژی، خط ساحل اولیه با استفاده از نقشه هیدروگرافی اخذ شده از سازمان نقشه برداری 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^{۲۲} و پروفیل‌های بستر دریا که در مدل سازی به کار رفته نیز نشان داده شده است. زاویه بین عمود بر خط مرجع و شمال 144° 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 نزدیک ترین 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.

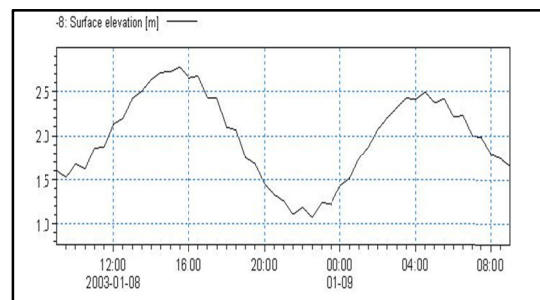


شکل ۱۳. موقعیت خط مرجع، خط ساحل و پروفیل‌های معرف

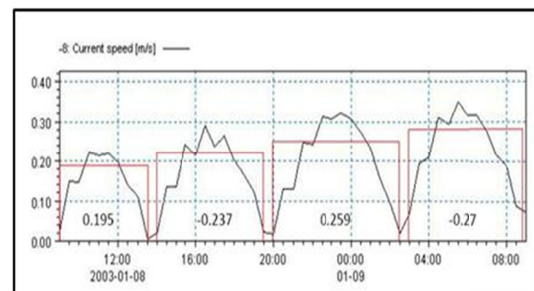
شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ موقعیت زمانی، ترازها و سرعت‌های جزرومد اعمال شده به مدل انتقال رسوب را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که در هر دوره مد و جزر یک سرعت متوسط مطابق شکل در مدل انتقال رسوب اعمال شده است.



شکل ۱۰. موقعیت زمانی بین کشدهای 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

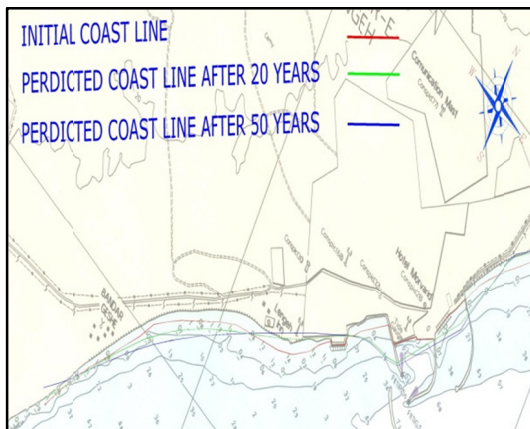
۴. نتایج

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

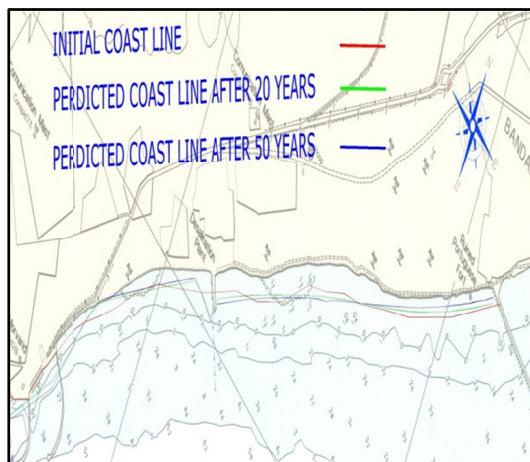
جدول ۱. نرخ انتقال رسوب سالیانه در سواحل اطراف بندر لنگه

Annual sediment transport	wave	Wave+current
Accumulative Gross (M ³ /Year)	۱۷۶۵۰	۵۷۶۰۳
Accumulative net (M ³ /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.



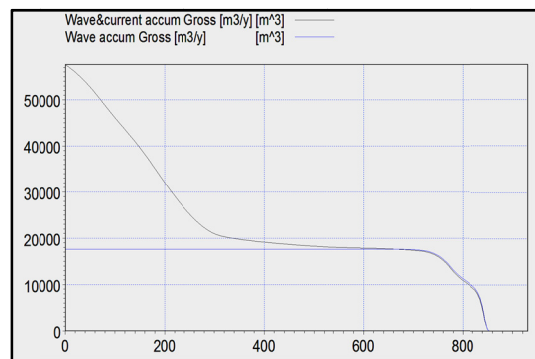
تخمین تغییر ساحل شمال شرق بندر



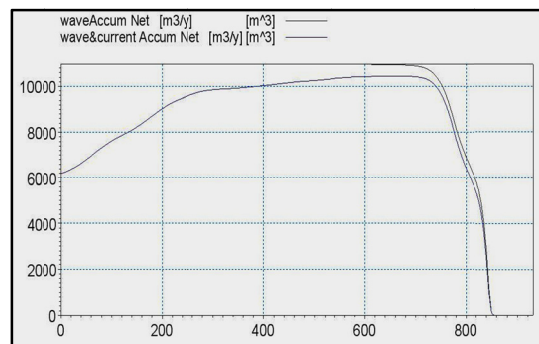
تخمین تغییر ساحل جنوب غرب بندر

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 شکل‌های 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 مترمکعب 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 نتیجه گیری

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

- [۱] محجوبی جواد، اردلان صمغی حسین. پیش بینی پارامترهای امواج ناشی از باد در دریای خزر با استفاده از روش درختان تصمیم رگرسیونی و شبکه های عصبی مصنوعی. مهندسی دریا. ۱۳۸۸؛ ۵(۹): ۶۵-۷۱.
- [۲] صادقی فرطیب، آزر م سیدعلی. تخمین آهنگ انتقال رسوب در امتداد ساحل با استفاده از مدل های محاسباتی نرم. مهندسی دریا. ۱۳۹۳؛ ۱۰(۱۹): ۵۹-۶۹.
- [۳] افشارکاه نغمه، سلطان پور محسن. بررسی روابط نرخ انتقال رسوب موازی ساحل در خلیج فارس. ارائه شده در: چهارمین کنگره مهندسی عمران دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۷ اردیبهشت ۱۷-۱۹؛ تهران، ایران.
- [۴] ایزد پناه هادی. بررسی پدیده رسوبگذاری در بنادر صیادی استان بوشهر [پایان نامه]. مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۱۳۷۵.

شرق بندر لنگه در بخش هایی کاملاً صخره ای و کوهستانی بوده و وجود شوره زارها (آبگیر) در تله کردن رسوبات (اعم از بادی و آبی) حاصل از بارندگی های فصلی در بالادست منطقه نشان می دهد توان تولید رسوب در منطقه ناچیز است [۶]. در عکس های هوایی زمین مرجع شده مربوط به سال های ۱۳۷۳ و ۱۳۸۱ که در آن خط مد متوسط به عنوان خط تراز رقوم مشخص مقایسه شده بود، در شکل ساحل تغییر قابل ملاحظه ای 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. دانه بندی ذرات رسوبی نیز در قسمت شمال شرق بندر غیر یکنواخت 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 درشت دانه ها 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 می دهند 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 می دهد 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 عکس های هوایی است. همچنین نتایج و مقادیر به دست آمده از این تحقیق، با پژوهش هایی همچون تحلیل فرایندهای رسوبی بنادر لنگه و کنگ مبنی بر تفسیر مدل های مفهومی و عددی [۷] و

- beach topography change. Proceedings of Coastal Sediments. ASCE; 1991. p.1814-28
- [17] Van Rijn LC. Estuarine and coastal sedimentation problems. International Journal of Sediment Research. 2005;20(1):39-51.
- [18] Chanson H. The Hydraulics of Open Channel Flow. London: Arnold; 1999. P.195-209
- [19] Jamal MH. Prediction of Sedimentation Rates in a Navigation Channel [dissertation]. Univ. Teknologi Malaysia; 2005.
- [۲۰] چگینی وحید. نظریه‌های موج. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری؛ ۱۳۷۷. ص. ۹۶-۱۲۷. (مجموعه کتابهای مهندسی دریا؛ ۱).
- [21] Watanabe A, editor. 3-dimensional numerical model of beach evolution. Coastal Sediments; 1987. ASCE; 1987. p. 801-17.
- [22] Nielsen P. Coastal bottom boundary layers and sediment transport. World Scientific Publishing Co Inc; 1992.
- [23] Van De Graaff J, Van Overeem J. Evaluation of sediment transport formulae in coastal engineering practice. Coastal Engineering. 1980;3:1-32.
- [۲۴] شاه نوری سمیه. بررسی الگوی انتقال رسوب در منطق ساحلی نوشهر [پایان نامه]. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی تهران شمال؛ ۱۳۹۰.
- [۲۵] شیعه مریم، چگینی وحید. رده بندی سواحل باختری استان هرمزگان به روش های هانسن و هایس. علوم زمین. ۱۳۹۴؛ ۲۵(۹۷): ۲۵۱-۲۵۶.
- [26] Khakbaft Consultant Engineers .Sediment Study of Lengeh Port, Unpublished technical report Submitted to Port & Maritime Organization. 2009.
- [27] MIKE21 Litdrift [computer program]. Denmark: Danks Hydraulisk Institut; 2012.
- [۵] حسینی نژاد حسن. بررسی وضعیت انتقال رسوب در بندر صیادی جواد الائمه. ارائه شده در: هفتمین همایش بین المللی سواحل بنادر و سازه های دریایی؛ ۱۳۸۵ آذر ۶-۸؛ تهران، ایران.
- [۶] فیاض آذر مسعود. روشی نو در تعیین جانمایی بهینه بنادر از منظر مساله مهم رسوب گذاری [پایان نامه]. تهران: دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۳.
- [۷] پارسا رضا، شانه ساز زاده احمد، اردلان حسین. تحلیل فرآیندهای رسوبی بنادر لنگه و کنگک مبتنی بر تفسیر مدل های مفهومی و عددی. مهندسی دریا. ۱۳۹۲؛ ۹(۱۷): ۹۵-۱۰۳.
- [8] Graf WH. Hydraulics of sediment transport. Water Resources Publication; 1984.
- [9] Balson PS, Collins MB, editors. Coastal and shelf sediment transport. Geological Society of London; 2007
- [10] Fredsoe J, Deigaard R. Mechanics of coastal sediment transport. World Scientific; 1992. p.194-227.
- [11] Liu PL. Advances in coastal and ocean engineering. World Scientific; 1999.
- [12] Engineers UACO. Coastal engineering manual. Engineer Manual. 2002.
- [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] Gyr A, Hoyer K. The classical representation of the sediment transport. Sediment Transport: A Geophysical Phenomenon. Springer Netherlands; 2006. p.19-32.
- [15] Raudkivi AJ. Sedimentation: exclusion and removal of sediment from diverted water. CRC Press; 1993. p.6-29.
- [16] Watanabe A, Shimizu T, Kondo K, editors. Field application of a numerical model of

پی نوشت

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
- [۲۸] سلسبی ریچارد. دینامیک ماسه های دریایی [سید علی آزر م سا، مترجم]. دانشگاه تربیت مدرس؛ ۱۳۸۱. ص. ۲۱-۷۴.
- [۲۹] چگینی وحید. انتقال رسوب. موسسه ملی اقیانوس شناسی؛ ۱۳۹۰. ص. ۷۵-۷۷.
- [30] Iran Port and Maritime Organization. Iranian seas Wave Modeling ,Persian Gulf & Oman Sea.1992-2003. (vol.2)
- [31] MIKE21 Litline [computer program]. Denmark: Danks Hydraulisk Institut; 2012.