

صحت سنجی روابط نرخ انتقال رسوب موازی ساحل در تعدادی از سواحل جنوب ایران

نغمه افشار کاوه^۱ و محسن سلطانیپور^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت ۸۷/۱۲/۱۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۹/۲/۲۰، تاریخ تصویب ۸۹/۴/۳۰)

چکیده

پیش بینی صحیح نرخ انتقال رسوبات و میزان رسوبگذاری از عوامل مهم و تاثیر گذار در طراحی بنادر و سازه‌های ساحلی می باشد. اگر چه در حال حاضر تلاش‌های بسیاری به منظور تعیین کمی میزان انتقال رسوبات با تحقیق بر روی عوامل تاثیرگذار در حرکت رسوبات در جریان است، استفاده از روابط تقریبی و نسبتاً ساده انتقال رسوب همچنان بسیار متداول می باشد. روابط CERC و Kamphuis از جمله روابط مشهور محاسبه پتانسیل نرخ انتقال رسوب موازی ساحل می باشند. با این همه، دقت پیش‌بینی نرخ انتقال رسوب حاصل از این فرمول‌ها در مناطق مختلف دنیا یکسان نبوده است. در مقاله حاضر با استفاده از تعداد محدودی آمار و اطلاعات مربوط به امواج محلی و خصوصیات دانه‌بندی رسوبات، نرخ انتقال رسوب موازی ساحل در بخشهایی از سواحل جنوبی کشور محاسبه شده و با نتایج حاصل از مقادیر واقعی رسوبگذاری در پشت موج شکن‌ها و رانه‌گیرها مقایسه گردیده است. احجام رسوبگذاریها با استفاده از اختلاف نقشه‌های هیدروگرافی به دست آمده است. صحت سنجی این روابط در سواحل جنوبی کشور، نشان دهنده دقت بالاتر رابطه Kamphuis نسبت به رابطه CERC می باشد. همچنین تابعی جهت محاسبه ضریب K رابطه CERC بر مبنای پارامتر شکست ارائه گردید.

واژه های کلیدی: انتقال رسوب موازی ساحل، رابطه CERC، رابطه Kamphuis، سواحل جنوبی ایران، پارامتر

تشابه شکست

مقدمه

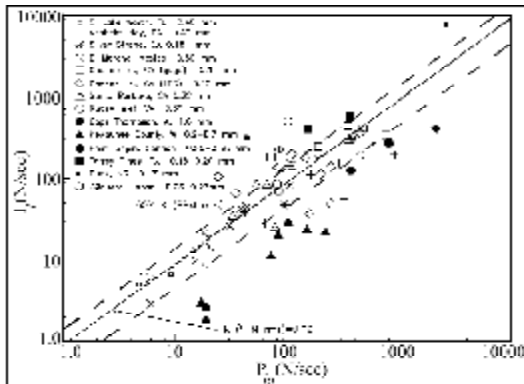
کنترل کرده و فرسایش، رسوبگذاری و یا پایدار بودن ساحل را تا حد زیادی مشخص می‌سازد. جریان موازی ساحل که در اثر شکست امواج مایل ایجاد می‌گردد عامل اصلی انتقال رسوب موازی ساحل در ناحیه زوال موج می‌باشد. اگرچه میزان و جهت انتقال رسوب در بخش مشخصی از ساحل با توجه به مشخصات امواج تغییر می‌کند، نرخ خالص انتقال رسوب سالانه، میزان کل انتقال رسوب موازی ساحل در سال را نشان می‌دهد. این انتقال در حقیقت مجموع انتقال رسوب معلق و بستر است. جهت بررسی و تخمین نرخ انتقال رسوب موازی ساحل روابط نیمه تجربی گوناگونی از جمله فرمول CERC، Kamphuis و Van der Meer ارائه شده است [۳، ۲، ۱]. لازم به ذکر است که رابطه Van der Meer برای سواحل شنی کاربرد داشته و با توجه به وجه غالب سواحل کشور کمتر در ایران بکار رفته است. معادلات ۱ و ۲ به ترتیب روابط CERC و Kamphuis را نشان می‌دهند:

با گسترش فعالیت‌های دریایی در کشور، نیاز به احداث بنادر و دیگر زیرساخت‌های ساحلی نیز رو به افزایش است. شناخت و بررسی مسائل و مشکلات موجود از جمله میزان رسوبگذاری و فرسایش در اطراف آنها امکان استفاده بهتر از سازه‌های مذکور و طراحی‌های صحیح در آینده را میسر می‌سازد.

تجزیه و تحلیل مباحث رسوب از اهمیت فراوانی در مهندسی سواحل برخوردار است. تعیین میزان و نحوه رسوبگذاری و پیش‌بینی صحیح تغییر شکل ساحل خصوصاً در بنادر کوچک نظیر بنادر صیادی با عمق آب‌خور محدود بسیار حساس و با اهمیت است. با این وجود و علی‌رغم پیشرفت‌های قابل ملاحظه در دهه‌های اخیر، تخمین کمی مقادیر رسوبگذاری همچنان از مباحث غامض و پیچیده مهندسی سواحل است.

انتقال رسوب موازی ساحل از جمله مهم‌ترین فرآیندهای ساحلی است که ریخت شناسی ساحل را

شکل (۱) دقت پیش بینی ضریب K در نواحی مختلف را نشان می‌دهد [۴]. علی‌رغم لگاریتمی بودن محورهای نمودار پراکندگی قابل ملاحظه‌ای در داده‌ها مشاهده می‌شود که می‌تواند نشان دهنده دقت پایین رابطه CERC و صرف نظر کردن از سایر عوامل موثر در انتقال رسوب موازی ساحل باشد. همچنین مشاهده می‌شود که رابطه در بعضی مناطق دست بالا و در مناطقی نیز دست پایین بوده است.



شکل ۱: نسبت بین P_l و I_l .

از آنجایی که ضرایب تجربی موجود در روابط فوق از مطالعات صورت گرفته در سواحل دیگر کشورها استخراج شده و با اقلیم امواج و رسوبگذاری حاکم بر آن مناطق انطباق دارد، استفاده مستقیم از این روابط در سواحل کشور به تامل بیشتری نیاز دارد. با توجه به استفاده فراوانی که از این فرمول‌ها در طراحی‌های مهندسیین مشاور صورت می‌گیرد، بررسی صحت روابط مذکور و کالیبره کردن ضرایب تجربی موجود در این روابط ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور مطالعه شرایط مختلف حاکم بر روابط CERC و Kamphuis، از جمله خصوصیات دانه‌بندی رسوبات، شرایط باد، امواج حاکم، تغییرات خطوط ساحل و شیب بستر به منظور ارائه ضرایب تجربی جدید و یا تغییر ضرایب موجود ضروری می‌باشد.

افراد و گروه‌های گوناگون به بررسی صحت روابط نرخ انتقال رسوب از جمله CERC و ضرایب تجربی موجود در آن مانند K ، در سواحل مختلف دنیا پرداخته‌اند. Wang and Kraus (1999) با اندازه‌گیری میزان انباشت رسوبات پشت رانه‌گیرهای^۱ موقت احداثی در سواحل صخره‌ای India در غرب فلوریدای مرکزی و تعیین نرخ انتقال رسوب موازی ساحل دریافتند که ضریب K در

$$Q_{CERC} = K \left[\frac{\rho \sqrt{g}}{16k^{1/2}(\rho_s - \rho)(1-n)} \right] \times H_b^{5/2} \sin 2\alpha_b \quad (1)$$

$$Q_{Kamphuis} = 6.4 \times 10^4 \times H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6} 2\alpha_b \quad (2)$$

که در روابط فوق ρ جرم مخصوص آب، ρ_s جرم مخصوص ذرات رسوب، n تخلخل ذرات رسوب، g شتاب ثقل (9.81 m/s^2)، k اندیس شکست (نسبت ارتفاع موج به عمق آب در منطقه شکست)، H_b ارتفاع موج در منطقه شکست، α_b زاویه موج در منطقه شکست، d_b قطر ذرات رسوب، m_b شیب بستر در خط شکست و T_p پریود ماکزیمم موج می‌باشد. مقدار ضریب K در فرمول CERC با استفاده از توصیه CEM برابر ۰/۳۹ پیشنهاد شده است [۴].

معادلات ۳ و ۴ به ترتیب سرعت فازی و سرعت

گروهی موج در آب عمیق را نشان می‌دهند:

$$C_o = 1.56T \quad (3)$$

$$C_{go} = 0.5C_o \quad (4)$$

که C_o سرعت موج در آب عمیق، C_{go} سرعت گروهی موج در آب عمیق می‌باشد. ارتفاع و سرعت موج در ناحیه شکست نیز از روابط زیر به دست می‌آید.

$$H_b = H_o (C_{go} \cos \alpha_o)^{2/3} \times \left[\frac{g}{k} - \frac{H_b g^2 \sin^2(\alpha_o)}{k^2 C_o} \right]^{-1/5} \quad (5)$$

$$C_b = \sqrt{g \frac{H_b}{k}} \quad (6)$$

$$\alpha_b = \sin^{-1} \left(C_b \sin \frac{\alpha_o}{C_o} \right) \quad (7)$$

$$d_b = \frac{H_b}{k} \quad (8)$$

$$E_b = \frac{\rho g H_b^2}{8} \quad (9)$$

$$P_l = (EC_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (10)$$

$$I_l = P_l \times K \quad (11)$$

که در روابط فوق H_o ارتفاع موج در آب عمیق، α_o زاویه موج در آب عمیق، C_b سرعت موج در منطقه شکست، d_b عمق آب در منطقه شکست، E_b انرژی موج در منطقه شکست، P_l مؤلفه موازی ساحل شار انرژی و I_l نرخ انتقال رسوب وزنی می‌باشند.

گردیده است. در این راستا ضریب اصلاحی مناسب نیز جهت استفاده‌های آتی از روابط مذکور ارائه شده است. لازم به ذکر است که در این مطالعه بنادر سواحل شمالی کشور بدلیل تغییرات تراز آب دریای خزر در نظر گرفته نشده است. در وضعیت فعلی با بالاروی حدود ۲/۵ متری تراز آب نسبت به سال ۱۳۵۷ و فرسایش‌های ناشی از آن در اکثر مناطق مقایسه هیدروگرافی‌ها به سهولت امکان پذیر نمی‌باشد. همچنین بررسی تاثیرات نوسانات تراز آب بر روی روابط انتقال رسوب نیز به مطالعه مستقلی نیاز دارد.

مواد و روش‌ها

برآورد میزان تجمع رسوبات موازی ساحل در پشت رانه‌گیرها و موج شکن‌ها و الگوی فرسایش و پیش روی ساحل مجاور این سازه‌ها در اغلب سواحل دنیا به تخمین قابل قبولی از نرخ خالص انتقال رسوب منجر شده است [۴]. لازم به ذکر است که اگرچه داده‌های آزمایشگاهی نیز در توسعه و صحت سنجی روابط انتقال رسوب استفاده شده‌اند، ثبت داده‌های واقعی میدانی خصوصاً میزان رسوبگذاری در پشت موج‌شکن‌ها و رانه‌گیرها اصلی‌ترین معیار کنترل این روابط بوده است. در تحقیق حاضر نیز از این اطلاعات میدانی جهت بررسی دقت کاربرد این روابط در ایران استفاده شده است.

اطلاعات مربوط به رسوبات منطقه مورد بررسی نظیر وزن مخصوص رسوب، قطر متوسط ذرات رسوب و تخلخل آنها به همراه اطلاعات امواج نظیر ارتفاع موج، دوره تناوب موج، درصد وقوع و زاویه موج در آب عمیق داده‌های لازم در تعیین نرخ پتانسیل انتقال رسوب موازی ساحل می‌باشند. با گردآوری و بررسی مجموعه وسیعی از داده‌های در دسترس که ۵۴ بندر صیادی و تجاری را شامل می‌شدند، در این تحقیق اطلاعات بنادر لاور، پرک، جوادالائمه (ع)، امام حسن (ع) در خلیج فارس و زراباد، پزم و رمین در دریای عمان انتخاب شده‌اند. علت اصلی عدم امکان استفاده از داده‌های سایر بنادر احداث شده، در دسترس نبودن حداقل دو دوره هیدروگرافی جهت تعیین حجم انباشت رسوب در پشت موج‌شکن‌ها می‌باشد. به دلیل تعداد محدود داده‌های استفاده شده در مطالعه حاضر شایسته است احتیاط لازم در استفاده از نتایج این تحقیق و ضرایب اصلاحی پیشنهادی مد نظر قرار گیرد.

فرمول CERC ثابت نبوده و فاکتورهای دیگری از جمله نوع شکست موج، شدت آشفتگی جریان و آستانه حرکت رسوبات در آن موثر می‌باشد [۵]. (Kamphuis 1986) و همکاران نتایج قابل قبولی با استفاده از رابطه CERC در محدوده دانه بندی ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌متر به دست آوردند اما Kumar و همکاران در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ میلی‌متر خطای قابل ملاحظه‌ای ما بین نتایج اندازه‌گیری‌ها و رابطه CERC مشاهده کردند [۶،۷].

Wang et al. (1998) در سواحل کم انرژی با تعیین میزان انباشت رسوب کوتاه مدت حاصل از نتایج اندازه‌گیری‌های محلی رسوبات در تله‌های رسوبگیر، نرخ واقعی انتقال رسوب را به مراتب کمتر از مقادیر تخمینی حاصل از فرمولهای مختلف تجربی بدست آوردند [۸]. در سواحل مذکور با استفاده از ارتفاع موج جزر میانگین مربعات (H_{rms})، ضریب $K = 0.08$ به جای مقدار $K = 0.92$ ارائه شده توسط SPM به دست آمد. Wang et al. (1998) همچنین دریافتند که مقادیر حاصل از رابطه CERC برای ارتفاع موج متوسط ۰/۴ متر نه برابر بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده توسط تله‌ها است [۸].

SPM (USACE, 1984) بر مبنای مطالعات میدانی اولیه Komar and Inman (1970) که با استفاده از ماسه‌های رنگی^۲ انجام شده، ضریب $K = 0.39$ را برای رابطه CERC توصیه می‌کند [۹،۱۰]. در مطالعات جدیدتر Schoonees and Theron (1993,1996) بر روی ۴۶ داده مطمئن از ۲۴۰ داده اندازه‌گیری شده Komar and Inman (1970) مقدار K حدود ۰/۲ پیشنهاد شده است [۱۰،۱۱].

از جمله تحقیقاتی که به منظور بررسی صحت فرمول Kamphuis (1991) انجام شده نیز می‌توان به مطالعات Schoonees and Theron (1993,1996) اشاره کرد [۱۰،۱۱]. با مقایسه رابطه Kamphuis (1991) و ۲۴۰ داده اندازه‌گیری شده میدانی آنها دریافتند که رابطه تطابق خوبی با داده‌ها دارد به شرط آنکه ضریب فرمول ۱/۶ برابر شود.

در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های امواج، خصوصیات دانه بندی رسوبات، شرایط خط ساحل و شیب بستر در برخی از نقاط سواحل جنوب، نرخ انتقال رسوب موازی ساحل توسط روابط محاسباتی تعیین شده و با مقادیر حاصل از انباشت رسوبات در بالادست بنادر مقایسه

مشخصات رسوبات

قطر میانگین ذرات (d_{50}) بر اساس نمونه‌گیری و انجام آزمایش دانه بندی بر روی رسوبات انباشته شده در اطراف بنادر تعیین شده و شیب تقریبی بستر در خط شکست از نقشه های هیدروگرافی استخراج می‌شود:

$$\text{بندر لاور ساحلی: } d_{50} = 0.0002m, m_b = 0.025 \quad [12]$$

$$\text{بندر پرک: } d_{50} = 0.00018m, m_b = 0.022 \quad [13]$$

$$\text{بندر جوادالائمه (ع): } d_{50} = 0.00169m, m_b = 0.039 \quad [14]$$

$$\text{بندر امام حسن (ع): } d_{50} = 0.00013m, m_b = 0.003 \quad [15]$$

$$\text{بندر زرآباد: } d_{50} = 0.00009m, m_b = 0.018 \quad [16]$$

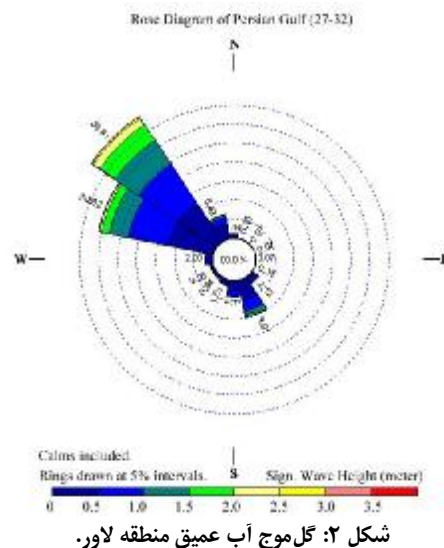
$$\text{بندر پزم: } d_{50} = 0.00013m, m_b = 0.02 \quad [16]$$

$$\text{بندر رمین: } d_{50} = 0.0002m, m_b = 0.017 \quad [17]$$

جرم مخصوص ذرات رسوب، جرم مخصوص آب و تخلخل ذرات در تمام مناطق به ترتیب برابر 2650 kg/m^3 ، 1025 kg/m^3 و 0.4 در نظر گرفته شده است.

امواج محلی

در تخمین امواج آب عمیق از خروجی پروژه مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران (ISWM) استفاده شده است [۱۸]. این پروژه اجرای مدل عددی Mike 21-SW برای یک دوره تقریباً ۱۲ ساله است که با استفاده از تبدیل داده های باد مدل هواشناسی ECMWF به داده‌های موج (Hindcast)، اطلاعات مربوط به موج آب عمیق مناطق ساحلی شمال و جنوب را در اختیار قرار می‌دهد [۱۹]. شکل (۲) گلموج آب عمیق بندر لاور را بر مبنای سری زمانی ۶ ساعته خروجی مدل ISWM نشان می‌دهد.



شکل ۲: گل موج آب عمیق منطقه لاور.

به دلیل کوتاهی دوره رسوبگذاری (اختلاف هیدروگرافی‌های موجود) در بنادر پرک، امام حسن (ع) و جوادالائمه (ع) و به منظور افزایش دقت امواج مورد استفاده، در این سه بندر امواج پیشنهادی ISWM که دقیقاً متناظر با سالهای واقع در محدوده هیدروگرافی بوده‌اند ملاک عمل قرار گرفته است.

تعیین نرخ انتقال رسوب

با استفاده از اطلاعات بنادر، محاسبه زاویه موج در آب کم عمق و ارتفاع موج در منطقه شکست با در نظر گرفتن ژرفا کاستگی^۳ و پیچش موج^۴ صورت گرفته، پتانسیل نرخ انتقال رسوب موازی ساحل برای هر داده موج ۶ ساعته با استفاده از روابط تجربی CERC و Kamphuis تعیین می‌گردد. سپس کل نرخ خالص انتقال رسوب موازی ساحل در دوره ۱۲ ساله پیش یابی موج با جمع زدن کلیه نرخ‌های انتقال رسوب جزئی به دست می‌آید:

$$Q_{CERC(m^3/yr)} = \frac{I_l}{g(\rho_s - \rho)(1-n)} \times \frac{f' \times 24 \times 365 \times 3600}{\dots} \quad (12)$$

$$Q_{Kamphuis(m^3/yr)} = 6.4 \times 10^4 \times H_b^2 \times \frac{T_p^{1.5} \times m_b^{0.75} \times d_{50}^{-0.25} \times \sin^{0.6}(2\alpha_b) \times f'}{\dots} \quad (13)$$

که در این روابط f' درصد فراوانی وقوع موج است.

نرخ واقعی انتقال رسوب

میزان انباشت رسوبات بر مبنای اختلاف هیدروگرافی‌های انجام شده در بنادر مورد بررسی تعیین شده است. در حالتی که رسوبات پس از پر کردن مخزن بالادست، بندر را دور زده‌اند نیز زمان تقریبی پر شدن بر مبنای اطلاعات محلی ملاک عمل قرار گرفته است.

بندر لاور

با بررسی اطلاعات گزارشات مهندسی مشاور بندر و بازدیدهای محلی، میزان انباشت رسوبات بالادست بر اساس محدوده تقریبی هیدروگرافی‌ها در فضای بالادست بازوی اصلی بندر لاور در زمان احداث (سال ۱۳۶۵) و فرض پر شدن کامل این فضا (سال ۱۳۷۱) در اطراف بندر تعیین می‌گردد. [۱۲].

به دست آورد [۲۱].

بندر رمین

در این بندر نرخ لایروبی پشت بازوی شرقی در بازه زمانی سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴ موجود می‌باشد [۲۲]. با این همه بازدیدهای محلی و بررسی موقعیت مکانی خاص بندر نشان می‌دهد که در این مکان بدلیل وضعیت جانمایی موج‌شکنها و شکل خط ساحل، بخش عمده‌ای از رانه ساحلی^۶ به موازات ساحل حرکت کرده و در پشت موج شکن شرقی بندر انباشته نمی‌شود به گونه‌ای که درصد انتقال رسوب موازی ساحل که از جلوی بندر عبور می‌کند حتی در سالهای اولیه ساخت نیز قابل ملاحظه می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳: نمایی از بندر رمین.

جهت تخمین میزان درصد رسوبات انباشتی و عبوری از بسته نرم‌افزاری GENESIS (GENERALIZED model for SIMulating Shoreline change) استفاده شده است [۲۳]. برنامه Genesis در حقیقت نرم‌افزاری است که با در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به موج (نظیر دوره تناوب موج، ارتفاع موج، زاویه موج) و رسوب و با استفاده از ۲ دوره نقشه هیدروگرافی جهت تعیین راستای خط ساحل و پروفیل بستر منطقه مورد نظر، به محاسبه نرخ انتقال رسوب موازی ساحل و همچنین تغییر شکل خط ساحل در سالهای مختلف می‌پردازد. برای منطقه رمین جهت استفاده از نرم افزار فوق از داده های ورودی موج با فواصل زمانی ۶ ساعته استفاده شده است. همچنین برای مدلسازی خط ساحل منطقه، اطراف بندر رمین با فواصل ۱۵۰ متر به ۲۱ قسمت تقسیم شده است. به دلیل در دسترس نبودن دو دوره هیدروگرافی تنها از هیدروگرافی

بندر پرک

با توجه به اطلاعات جمع آوری شده و بازدید محلی، رسوبات انتقالی از بالادست این بندر در سال ۱۳۷۱ و تنها پس از گذشت ۶ سال از ساخت آن به طور کامل فضای پشت موج شکن اصلی را پر کرده و به پایین دست انتقال یافته است [۱۳]. حجم کل رسوبات با استفاده از اختلاف هیدروگرافی سال ۱۳۷۳ و وضعیت اولیه قبل از ساخت تعیین شده و سپس متوسط آورد سالانه رسوبات در دوره ۶ ساله مشخص می‌گردد.

بندر امام حسن (ع)

حجم کل رسوبات انباشته شده در پشت جتی بالاست این بندر با استفاده از دو دوره هیدروگرافی مربوط به سالهای ۱۳۷۵ و ۱۳۷۸ تعیین شده است [۱۵].

بندر جوادالائمه (ع)

با مقایسه دو دوره هیدروگرافی در دسترس این بندر در سالهای ۱۳۷۸ و ۱۳۸۴، حجم رسوبات انباشته شده در بالادست بندر جوادالائمه (ع) و متوسط آورد ۴ ساله آن بدست آمده است [۱۴].

بندر زرآباد

در این بندر با توجه به برنامه مستمر پیش^۷، اطلاعات بسیار مناسبی در دسترس می‌باشد. حجم رسوبات انباشته شده در منطقه مذکور با مقایسه پروفیل‌های عمود بر ساحل در طول سالهای ۱۳۸۱، ۱۳۸۲، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ تعیین شده است [۲۰].

بندر پزم

ساخت بندر صیادی پزم در حاشیه جنوب شرقی خلیج پزم از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۶ انجام شده است. با شروع بهره برداری از بندر در سال ۱۳۷۱ مشکل ترسیب رسوبات در حاشیه شمال شرقی موج شکن باعث بروز مشکلات اساسی در بهره برداری از این بندر گردید. برای جلوگیری از ورود رسوبات به بندر در ابتدای موج شکن بندر پزم، رانه گیری به طول حدود ۵۵۰ متر احداث شده است. با استفاده از دو هیدروگرافی موجود که اولی متعلق به مهر ماه سال ۱۳۸۰ و قبل از احداث رانه‌گیر و دومی متعلق به دی ماه سال ۱۳۸۲ و بعد از احداث رانه‌گیر است، می‌توان حجم رسوب انباشته شده را

معمول سواحل ماسه ای صحیح نمی‌باشد. به بیان دیگر استفاده از روابط پتانسیل نرخ انتقال رسوب موازی ساحل به پیش‌بینی‌های احجام رسوب‌گذاری غیر واقعی منجر می‌شوند که در عمل تحقق نمی‌یابد. لذا در تحلیل عمومی حاضر نتایج این دو بندر از مقایسه‌ها حذف شده‌اند.

جدول ۱: نرخ پتانسیل انتقال رسوب موازی ساحل.

Port	$Q_{CERC} (m^3/yr)$	$Q_{Kamphuis} (m^3/yr)$
Lavar	200098	44817
Parak	45542	7596
Imam Hassan	111052	4107
Javadol g'ashe	43872	15210
Zar Abad	212166	149644
Pozm	616171	376330
Ramin	517067	276849

جدول ۲: مقایسه مقدار واقعی نرخ انتقال رسوب با روابط موجود.

Port	$Q_{Measured} (m^3/yr)$	$Q_{CERC} / Q_{Measured}$	$Q_{Kamphuis} / Q_{Measured}$
Lavar	100000	2.00	0.45
Parak	10000	3.95	0.76
Imam Hassan	19000	5.48	0.22
Javadol g'ashe	24151	1.77	0.63
Zar Abad	145000	1.46	1.03
Pozm	30000	20.54	12.54
Ramin	68000	7.60	4.07

برای اندازه‌گیری میزان پراکندگی داده‌ها خطای RMS (σ_{rms}) مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

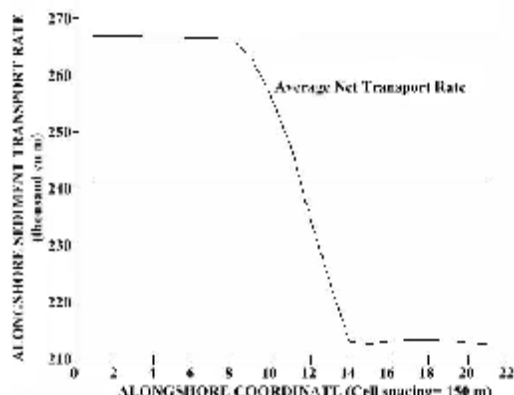
$$\sigma_{rms} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N [\log(q_c) - \log(q_m)]^2}{N-1} \right]^{1/2} \quad (14)$$

که در آن N تعداد داده‌ها، q_c نرخ تئوری انتقال رسوب موازی ساحل و q_m نرخ انتقال رسوب اندازه‌گیری شده است. هر چه خطای RMS مذکور کوچکتر باشد پراکندگی داده‌ها کمتر خواهد بود. با صرف‌نظر کردن از اطلاعات بنادر پزم و رمین، خطای RMS روابط CERC و Kamphuis بر پایه فرمول ۱۴ برای داده‌های بنادر مذکور، به ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۵۵ به دست می‌آید.

صحت‌سنجی رابطه CERC

شکل (۵) مقایسه مقادیر پتانسیل نرخ انتقال رسوب موازی ساحل حاصل از رابطه CERC و مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. همانگونه که انتظار می‌رود بین نتایج حاصل از روابط پتانسیل انتقال رسوب و

سال ۱۳۷۹ استفاده شده است. به این ترتیب نرخ انتقال رسوب در اطراف بندر در یک دوره ۲۰ ساله مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از اجرای برنامه شامل خطوط ساحل تغییر شکل یافته در سال‌های بعد از ۱۳۷۹ و نیز نرخ انتقال رسوب سالانه موازی ساحل می‌باشد. شکل (۴) نرخ انتقال رسوب موازی ساحل در بندر رمین را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نرخ انتقال رسوب موازی ساحل حاصل از نرم افزار Genesis در بندر رمین.

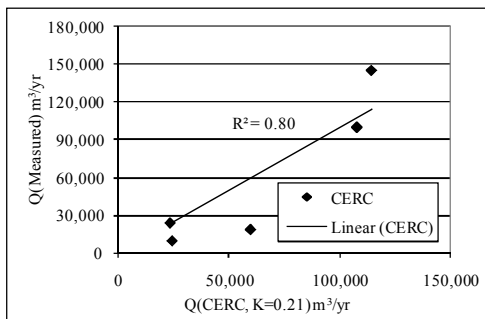
با توجه به نتایج، میزان نرخ عبوری رسوبات از مقابل بندر در سالهای ۱۳۸۱-۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ به ترتیب ۴۵، ۷۵، ۸۷ و ۹۵ درصد می‌باشد. در اینجا با صرف‌نظر کردن از تاثیر لایروبی انجام شده در تغییر نرخ عبور رسوبات موازی ساحل، نرخ متوسط عبوری در بازه مورد نظر ۷۵ درصد فرض شده است. به این ترتیب حجم گزارش شده ۱۷۰۰۰ متر مکعبی رسوبات لایروبی شده در طی سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴ می‌تواند مبین حجم انتقال رسوبی به میزان ۶۸۰۰۰ متر باشد.

نتایج و بحث

مقادیر نرخ انتقال رسوب محاسبه شده در بنادر مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است. جدول (۲) نیز مقادیر اندازه‌گیری شده نرخ انتقال رسوبات و نسبت مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

در دو منطقه پزم و رمین بدلیل صخره‌ای بودن سواحل ماسه کافی در دسترس نبوده و تمامی ظرفیت انتقال رسوب امواج به فعل نمی‌رسد. چنین سواحلی اصطلاحاً سواحل دارای منابع محدود^۷ نامیده می‌شوند که در آنها استفاده از روابط پتانسیل انتقال رسوب با ضرائب

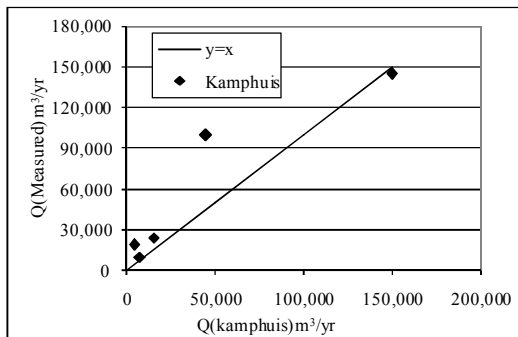
رابطه CERC برابر ۷۸ درصد به دست می‌آید.



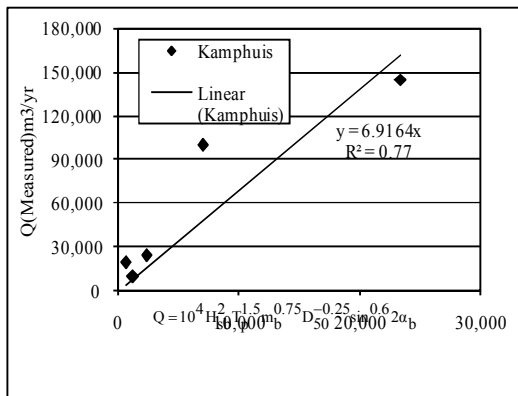
شکل ۷: مقایسه رابطه CERC با ضریب $K = 0.21$ با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده.

صحت سنجی رابطه Kamphuis

شکل (۸) مقایسه داده های اندازه گیری شده و رابطه Kamphuis را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود پراکندگی داده‌ها در رابطه (Kamphuis 1991) نسبت به رابطه CERC کمتر است و این فرمول تطابق بهتری با احجام واقعی نشان می‌دهد. با این همه جهت ارائه ضریب اصلاحی مشابه رابطه CERC می‌توان بهترین ضریب را مطابق شکل (۹) تعیین نمود.

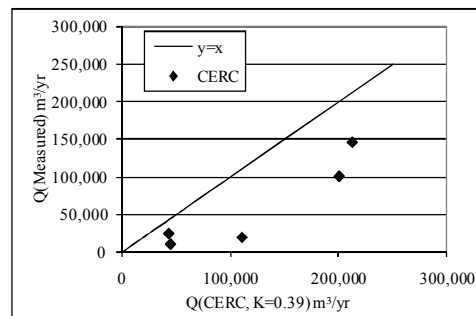


شکل ۸: مقایسه نتایج رابطه Kamphuis با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده.

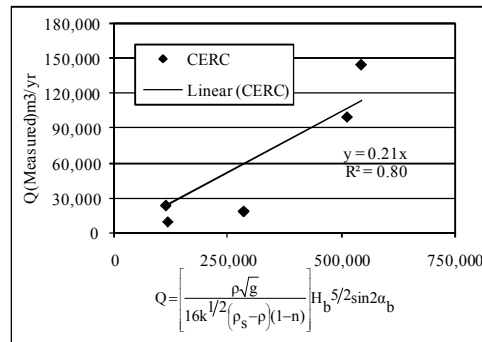


شکل ۹: به دست آوردن ضریب اصلاحی در فرمول Kamphuis.

مقادیر اندازه‌گیری شده، تطابق کاملی وجود ندارد. مقادیر محاسباتی حاصل از فرمول CERC با ضریب $K = 0.39$ به مقادیر دست بالایی منجر شده و دارای پراکندگی نسبی در مقایسه با مقادیر واقعی می‌باشند. به منظور استخراج ضریب مناسبتر می‌توان از شکل (۶) استفاده نمود. با توجه به این نمودار ضریب $K = 0.21$ به دست می‌آید که تطابق به مراتب بهتری نسبت به ضریب $K = 0.39$ پیشنهاد شده توسط CEM ارائه می‌دهد.



شکل ۵: مقایسه نتایج رابطه CERC با ضریب $K = 0.39$ با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده.



شکل ۶: استخراج ضریب K رابطه CERC با استفاده از داده‌های موجود.

شکل (۷) مقایسه رابطه CERC (با استفاده از ضریب $K = 0.21$) و مقادیر واقعی نرخ انتقال رسوبات در بندر مورد بررسی را با ضریب همبستگی $R^2 = 0.8$ نشان می‌دهد. به منظور بررسی نزدیکی مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیریها می‌توان از پارامتر خطای نسبی متوسط^۸ استفاده کرد:

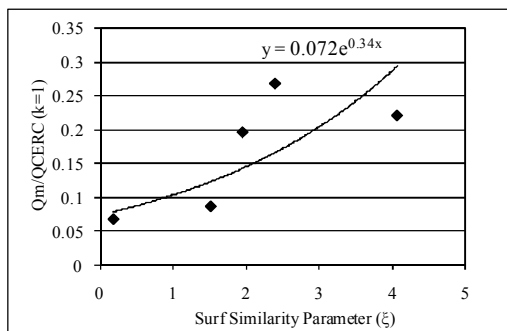
$$ARE(\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{(q_c)_i - (q_m)_i}{(q_m)_i} \right| \times 100 \quad (15)$$

هر چه این عدد کوچکتر باشد پیش‌بینی دقیقتر خواهد بود. در بندر مورد بررسی خطای نسبی متوسط (ARE)

رسوب پراکنده بوده و تفاوت قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. بنابراین حداقل بر مبنای این داده‌های محدود نمی‌توان در سواحل جنوبی کشور ارتباطی مابین قطر ذرات رسوب و ضریب K رابطه CERC ارائه کرد. جهت بررسی ارتباط احتمالی تغییرات ضریب K و نوع شکست موج، پارامتر تشابه شکست می‌تواند مد نظر قرار گیرد:

$$\xi_b = \frac{m_b}{\frac{H_b}{L_o}} \quad (15)$$

که در آن ξ_b پارامتر تشابه شکست و L_o طول موج در آب عمیق می‌باشد. افزایش پارامتر تشابه شکست به معنی کاهش شیب ξ_b موج و یا افزایش شیب بستر است. ارتباط ضریب K رابطه CERC و پارامتر تشابه شکست در شکل (۱۲) نشان داده شده است. با توجه به نمودار تطابق نسبتا خوبی مشاهده می‌شود و می‌توان رابطه $K = 0.072e^{0.34\xi}$ را ما بین مقادیر K رابطه CERC و پارامتر تشابه شکست در سواحل جنوب ایران برقرار نمود.



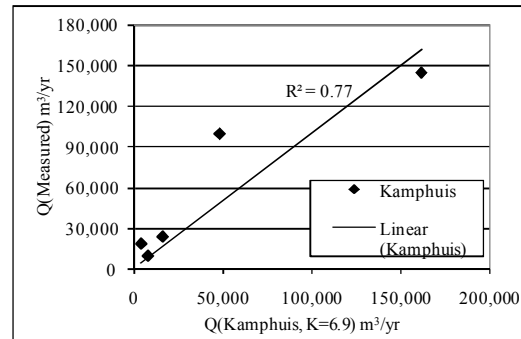
شکل ۱۲: تغییرات K با پارامتر تشابه شکست.

نتیجه گیری

مجموعه یافته‌های این تحقیق می‌تواند به شکل زیر خلاصه گردد:

- با توجه به تخمین نرخ واقعی انتقال رسوب و مقایسه‌های انجام شده اصولاً رابطه Kamphuis(1991) دقت بالاتری نسبت به رابطه CERC در سواحل جنوب کشور نشان می‌دهد.
- در سواحل جنوبی استفاده از ضریب $K = 0.21$ در رابطه CERC تطابق بهتری نسبت به مقدار پیشنهادی CEM ($K = 0.29$) ارائه می‌دهد. همچنین پیشنهاد می‌گردد در استفاده از رابطه Kamphuis ضریب $6/9$ به

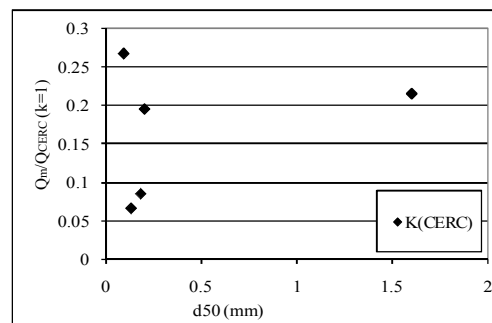
جایگزینی ضریب $6/9$ به جای ضریب $6/4$ پیشنهادی رابطه Kamphuis (1991). ضریب همبستگی $R^2 = 0.77$ بدست می‌آید (شکل ۱۰). همچنین خطای نسبی متوسط برای ضریب پیشنهادی در رابطه Kamphuis ۳۸ درصد می‌باشد.



شکل ۱۰: مقایسه نتایج رابطه Kamphuis با ضریب $6/9$ با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده.

بررسی تغییرات K با اندازه متوسط ذرات و پارامتر تشابه شکست (ξ_b)

به منظور بررسی ارتباط ضریب K در فرمول CERC با دانه بندی تحقیقات زیادی انجام شده است. اگر چه بسیاری از محققین به ارتباط نرخ انتقال رسوب با دانه بندی معتقد هستند. (CEM (2006) به دلیل مبهم بودن این ارتباط همچنان استفاده از ضریب یکسان در تمامی دانه بندیها را برای رابطه CERC توصیه می‌کند.



شکل ۱۱: تغییرات ضریب K با اندازه متوسط ذرات رسوب.

شکل (۱۱) رابطه بین قطر متوسط ذرات رسوب و نسبت مقادیر نرخ انتقال رسوب واقعی و محاسباتی فرمول CERC را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود علی‌رغم مشابه بودن چهار نمونه رسوبی بنادر مورد بررسی در محدوده دانه بندی 0.2 میلی‌متر، داده‌های نرخ انتقال

تقدیر و تشکر

مؤلفان لازم می دانند مراتب تشکر و سپاس خود را از مدیریت و کارشناسان اداره کل طرح و احداث بنادر صیادی شیلات و همچنین دبیر کمیسیون فنی جهت همکاری صمیمانه و ارائه اطلاعات بنادر صیادی ایران ابراز نمایند.

جای ضریب $۶/۴$ ارائه شده توسط Kamphuis به کار رود. - با استفاده از داده های موجود رابطه مشخصی بین ضریب K فرمول CERC و قطر متوسط ذرات رسوب بدست نیامد. - رابطه $K = 0.072e^{0.34\zeta}$ می تواند در تعیین ضریب K فرمول CERC بر مبنای پارامتر تشابه شکست در نظر گرفته شود.

مراجع

- 1- U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1984). *Shore Protection Manual*, Vols. 1 and 2, Department of the Army, Corps of Engineers, U.S. Govt. Printing Office, Washington DC, USA.
- 2- Kamphuis, J. W. (1991). "Alongshore Sediment Transport Rate." *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, Vol. 117, No. 6, PP. 624-640.
- 3- Van der Meer, J. W. and Pilarczyk, K. W. (1990). "Static and Dynamic Stability of Loose Materials." *Coastal Protection*, Balkema, Rotterdam, PP. 157-195.
- 4- U.S. Army Coastal Engineering Research Center (2006). *Coastal Eng. Manual*, Part 3, Chap 2, 100 p, Department of the Army, Corps of Engineers, Washington DC, USA.
- 5- Wang, P. and Kraus, N. C. (1999). "Longshore sediment transport rate measured by short term impoundment." *J. of Waterway Port, Coastal and Ocean Eng.*, Vol. 125, No. 3, PP. 118-126.
- 6- Kamphuis, J. W., Davies, M. H., Nairn, R. B. and Sayao, O. J. (1986). "Calculation of littoral sand transport rate." *J. of Coastal Eng.*, Vol 10, PP. 1-21.
- 7- Kumar, V. S., Anand, N. M., Chandramohan, P. and Naik, G. N. (2003). "Longshore Sediment Transport Rate-Measurement and Estimation." *Central West Coast of India*, Vol. 48, PP. 95-109.
- 8- Wang, P., Kraus, N. C. and Davis Jr., R. A. (1998). "Total longshore sediment transport rate in the surf zone: field measurements and empirical predictions." *J. of Coastal Research*, Vol. 14, No.1, PP. 269-282.
- 9- Komar, P. D. and Inman, D. L. (1970). "Longshore Sand Transport on Beaches." *J. of Geophysical Research*, Vol. 75, No. 30, PP. 5914-5927.
- 10- Schoonees, J. S. and Theron, A. K. (1993). "Review of the field-data base for longshore sediment transport." *J. of Coastal Eng.*, Vol. 19, PP. 1-25.
- 11- Schoonees, J. S. and Theron, A. K. (1996). "Improvement of the Most Accurate Longshore Transport Formula." *25th. Int. Conf on Coastal Eng.*, Vol. 3, ASCE, Orlando, FL, PP. 3652-3665.
- 12- Jahad Water and Watershed Management Research Co (2005). *Review of the studies of Lavar Fishery Port*. Chap 4, PP. 99-112, General Directorate of Bushehr Fisheries Company, Iran.
- 13- Pouya Tarh Pars Consulting Engineers (2006). *Phase I report of rehabilitation, repair and renewal of Parak Fishery Port*. 139 PP. General Directorate of Bushehr Fisheries Company, Iran.
- 14- Hosseini Nejad, H. (2006). "Investigation of sediment transport at Javad-ol-Aemmeh Fishery Port." *7th. Int. Conf. on Coasts, ports and marine struct.*, Tehran, Iran, PP. 541-551.
- 15- Darya Sazeh Consulting Engineers (2000). *Review of the hydrodynamic and sediment studies of Imam Hasan Fishery Port*. 110 PP. General Directorate of Bushehr Fisheries Company, Iran.

- 16- Mohamadi, A., Lak, R. (2008). *Investigation of sedimentology and sediment geochemistry of Oman Sea continental shelf*. 250 PP. Geological Survey of Iran.
- 17- Jahad Water and Watershed Management Research Co. (1999). *Technical studies of investigation of the sedimentation causes and remedy of Ramin Fishery Port*. 263 p, General Directorate of Design and Construction of Fisheries Company, Iran.
- 18- General Directorate of Coast and Port Engineering (2009). *Iranian Seas Wave Modeling (ISWM), Vol. 2, Persian Gulf & Oman Sea*. 331 PP. Iran Port and Maritime Organization.
- 19- DHI Water and Environment (2008). *Mike 21- Spectral Wave Module*. 48 p, Scientific Documentation.
- 20- Tehran Berkeley Consulting Engineers (2004). *Supplementary study of hydrodynamic and sediment of Zarabad Fishery Port*. 115 PP. General Directorate of Design and Construction of Fisheries Company, Iran.
- 21- Bagherzadeh, A. R. (2004). *Investigation of constructing of groins in reduction of the sedimentations at ports (Case study- Pozm Fishery Port)*. 100 PP. Master Thesis, K. N. Toosi University of Technology, Iran.
- 22- Jahad Water and Watershed Management Research Co. (2001). *First progress report of dredging studies of Ramin Fishery Port*. 48 PP. General Directorate of Design and Construction of Fisheries Company, Iran.
- 23- Hanson, H. (1987). *GENESIS - A Generalized Shoreline Change Numerical Model for Engineering Use*. Report No. 1007, 206 PP. Department of Water Resources Engineering, University of Lund, Lund, Sweden.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Groin
- 2 - Tracer
- 3 - Shoaling
- 4 - Refraction
- 5 - Monitoring
- 6 - Littoral Drift
- 7 - Supply Limited
- 8 - Average Relative Error (ARE)
- 9 - Surf Similarity Parameter
- 10 - Steepness