

ارزیابی روابط بر آورد انتقال رسوبات غیر چسبنده در منطقه ساحلی بندر ریگ (استان بوشهر)

مهیار احمدی نژاد^۱، علی کریمی خانیکی^۲، کامران لاری^۳، مسعود ترابی آزاد^۳ و مجتبی عظام^۱

^۱ گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

چکیده

امروزه استفاده از روش‌های تجربی به‌عنوان ابزاری کارآمد جهت بررسی فرایندهای ساحلی، ره‌گشای بسیاری از مسائل فنی و مهندسی شده است. با توجه به قابلیت‌های مختلف روش‌های تجربی، به‌علت پیچیدگی‌های مربوط به پدیده رسوب‌گذاری، لزوم انجام مطالعات کافی و اصولی به‌منظور انتخاب مدل مناسب و کارا در مناطق ساحلی ضروری به‌نظر می‌رسد. در این تحقیق الگوی امواج، جریان‌ها و انتقال رسوب در دهانه بندر ریگ به چند روش تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا تحلیل آمار باد و تبدیل آمار باد به موج، به روش SMB براساس آمار باد ۳۰ سال گذشته ثبت شده در ایستگاه هواشناسی بوشهر ساحلی در جهت‌های هشت‌گانه و در تداوم‌های ۳، ۶ و ۹ ساعته در کلاس‌های مختلف سرعت و همچنین دوره بازگشت‌های پیش‌بینی که تا ۱۰۰ سال انجام شده است. در ادامه با استفاده از روش‌های تجربی به محاسبه میزان انتقال رسوب پرداخته شده است. در این تحقیق مدل C.E.R.C به‌عنوان یک روش کارآمد در منطقه دریایی خور ریگ انتخاب شده است. این روش بهترین تطابق را با داده‌های محلی نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، خور ریگ، روش‌های تجربی، روش S.M.B

مقدمه

اثر موج و جریان ناشی از موج، عامل مؤثرتری است. همچنین به‌منظور محاسبه نرخ انتقال رسوب ساحلی، روش‌های متعددی وجود دارد که نتایج حاصل از روابط ارائه شده برای محاسبه نرخ انتقال رسوب، تفاوت‌های عمده‌ای با یکدیگر دارند. این اختلاف‌ها ناشی از روشی است که معادله براساس آن به‌دست آمده است. از آنجائی‌که این روابط برای سواحل خاصی به‌دست آمده‌اند، احتمال دارد جواب‌های حاصل از آن‌ها در سواحل دیگر، مناسب نباشد. بنابراین قبل از استفاده از این معادلات در هر منطقه باید محدودیت استفاده از آن‌ها را مورد بررسی قرار داد.

خور ریگ در ساحل غربی استان بوشهر واقع شده است و شدیداً در معرض آورد رسوب از منابع

منطقه ساحلی ناحیه‌ای در دو سوی خط ساحلی می‌باشد که فرآیندهای مهم دریایی در آن رخ می‌دهد. سواحل همواره در معرض امواج مختلف ناشی از باد، سونامی، جزر و مد، اثر گذر شناورها و امواج طوفانی می‌باشند. تداوم اثر امواج و به‌وجود آمدن جریان‌های ساحلی باعث تغییرات مداوم ساحل می‌شود. اکثر زمین‌ها در مناطق ساحلی متشکل از سواحل ماسه‌ای است و فرآیندهای حاکم بر این نوع سواحل از پیچیدگی بیش‌تری برخوردار است. رسوبات ساحل و کنار دریا به‌طور مستمر در واکنش به عملکرد مستقیم موج، جریان‌های ناشی از موج، جریان‌های ناشی از باد و جزر و مد و وجود خود باد می‌باشند. به هر حال

* مسئول مکاتبه: mahyar_ahmadinejad@yahoo.com

وارد ناشی از جریان تنها، جریان به اضافه امواج و امواج تنها، فرمول‌هایی را برای انتقال رسوب بار بستر معرفی کردند (S Soulsby و Damgaard، ۲۰۰۵). مقادیری را که این فرمول‌ها برای نرخ انتقال رسوب بار بستر پیش‌بینی می‌کنند، در مقایسه با اطلاعات میدانی و آزمایشگاهی مقدار کم‌تری است و در یک ضریب دو با هم تفاوت دارند.

مشابه تحقیق حاضر نیز، در استان بوشهر با روش مشابه این پژوهش توسط شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری در مسیر کشتیرانی بندر بوشهر و در بندر نظامی ریشهر انجام شده است (غریب‌رضا و همکاران، ۱۳۷۹). حال آن‌که در محاسبات به مشخصه‌های موج تکیه شده و اثرات انتقال رسوب توسط جریان‌های جزر و مدی را مدنظر قرار نگرفته است. از طرفی معطوف به آب‌شکن‌های مصنوعی شرق استان بوشهر بوده‌اند در صورتی‌که خور ریگ همانند دیگر خورهای غرب استان یک بندر طبیعی محسوب می‌شود. مهم‌ترین اهداف متصور در انجام این طرح شناخت الگوهای انتقال رسوب، رسوب‌گذاری در خور ریگ و از همه مهم‌تر شناخت منابع رسوب تأمین‌کننده رسوبات نهشته شده در بخش‌های مختلف خور ریگ است. از آنجایی‌که جانمایی مناسب، طراحی و نگهداری از سازه‌های دریایی اهمیت فراوان دارد بنابراین شناخت دقیقی از پدیده‌ها و فرایندهای محیطی و اثرات آن‌ها بر سازه و همچنین اثرات ساخت سازه بر این فرایندها ضروری است.

منطقه مورد مطالعه: خور و بندرگاه ریگ در شمال غرب استان بوشهر و در فاصله ۱۳۲ کیلومتری مرکز آن و در بین عرض‌های جغرافیایی $29^{\circ}25' N$ و $29^{\circ}35' N$ و طول‌های جغرافیایی $50^{\circ}40' E$ و $50^{\circ}34' E$ واقع شده است (شکل ۱). شهرستان گناوه در فاصله ۲۸ کیلومتری غرب بندر ریگ، نزدیک‌ترین شهر به آن

خشکی و دریایی است. نحوه خروج بار رسوبی از رودخانه شور و چندین مسیل دیگر و عملکرد جریان‌های کرانه‌ای و امواج منطقه به شکلی است که بخش اصلی رسوبات در خور ریگ نهشته می‌شوند (شکل ۱). این خور به‌طور مشخص از خورهای به‌وجود آمده در پناه سدهای ماسه‌ای است. این مشکل به‌حدی است که شریان اقتصاد شهر بندر ریگ را مسدود ساخته و تردد شناورها را مختل کرده است. از آنجا‌که احداث هر گونه سازه، اثرات قابل ملاحظه‌ای بر فرآیندهای هیدرودینامیکی و رسوب منطقه خواهد داشت، بنابراین داشتن شناخت دقیق از الگوی جریان‌ات و نیز انتقال رسوب حاکم بر منطقه دارای اهمیت زیادی است. اهمیت موضوعات فوق سبب شده که امروزه متخصصان امر در پی بهترین روش مطالعه در حوزه‌های کوچک و وسیع آبی باشند. در این تحقیق الگوی امواج، جریان‌ها و انتقال رسوب در دهانه بندر ریگ به شرح ذیل مورد بررسی قرار گرفت:

الف- تحلیل آمار باد و تبدیل آمار باد به موج به روش SMB براساس آمار باد ۳۰ سال گذشته ثبت شده در ایستگاه هواشناسی ساحلی بوشهر در جهت‌های هشت‌گانه و در تداوم‌های ۳، ۶ و ۹ ساعته در کلاس‌های مختلف سرعت و همچنین دوره بازگشت‌های پیش‌بینی که تا ۱۰۰ سال انجام شده است. در ادامه با استفاده از روش‌های تجربی به محاسبه میزان انتقال رسوب پرداخته شده است.

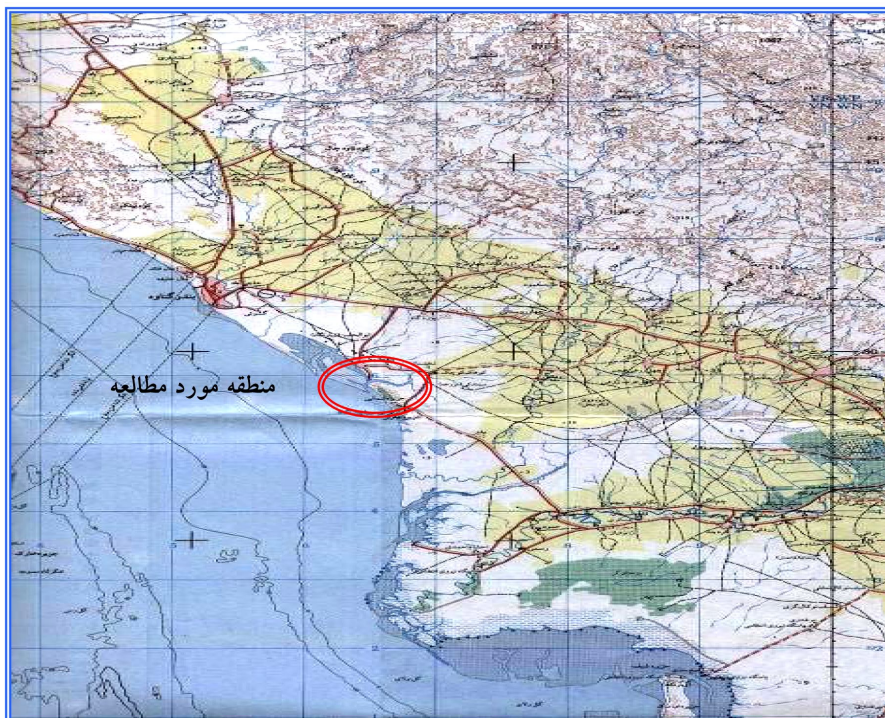
ب- در ادامه نتایج با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی کنترل می‌شود.

پیشینه تحقیق

در مطالعه‌ای که توسط Soulsby و Damgaard انجام شد، انتقال رسوب بار بستر در آب‌های ساحلی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نیروهای

متصل می‌گردد. از طرفی ۵۶۴۰ متر از طول رودخانه شور که تحت تأثیر جزر و مد قرار دارد به بخش رودخانه‌ای خور ریگ موسوم است. رودخانه شور که یکی از مهم‌ترین عوامل تحولات سال‌های اخیر خور و بندر ریگ به‌شمار می‌رود، به خور ریگ راه دارد. این رودخانه که به‌طور فصلی از رژیم بارانی منطقه آب‌گیری می‌کند، در ۱۳/۸ کیلومتری مصب کنونی خود به دریا متصل می‌شده است، لیکن در کم‌تر از ۳۰ سال گذشته در جنوب روستای چهار روستایی و غرب روستای شور به لحاظ تعرضات محلی، جهت‌آگیری برای مزارع، بستر و مسیر آن در طی سیلاب‌های متعدد تغییر نموده و با طی مسافت کوتاهی (۱۸ کیلومتر) به خور ریگ متصل شده است (غریب‌رضا و همکاران، ۱۳۷۹).

محسوب می‌شود. فاصله دریایی گناوه تا بندر ریگ حدود ۱۸ کیلومتر می‌باشد. به همین ترتیب دهانه خور ریگ تا خور جزیره از طریق دریا ۲/۳۲ کیلومتر فاصله دارد. از لحاظ جغرافیای طبیعی، بندر ریگ هم‌چون دیگر بنادر استان بوشهر، در مجاورت دریا و در یکی از دشت‌های ساحلی توسعه‌یافته است. این خور از سه بخش رودخانه‌ای، مرداب و دریایی تشکیل شده است. بخش مرداب آن از یک سد ماسه‌ای و مرداب پشت آن تشکیل شده است. سد ماسه‌ای و مرداب خور ریگ به‌ترتیب ۴۱۰۰ و ۴۶۱۶ متر طول دارند که هر دو در راستای شمال‌غرب-جنوب‌شرق به موازات ساحل کشیده شده‌اند. مرداب خور از شمال‌غرب به خور آرش و از جنوب‌شرق به بخش‌های رودخانه‌ای و دریایی محدود می‌شود. بخش دریایی خور با طول ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ متر به دریا



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (خور ریگ در ساحل غربی استان بوشهر)

رودخانه‌ای BFM 007، ۵- جریان‌سنج اقیانوسی (Oceanograph Current Meter) BFM008،
 ۶- دستگاه ثابت جزر و مد (Tide Gauge)، ۷- اشل جزر و مدسنج، ۸- دستگاه ثابت موج، ۹- شناورها (Floats)، ۱۰- دستگاه نقشه‌برداری مجهز TC800،
 ۱۱- دستگاه عمق‌یاب، ۱۲- چهار قایق و تجهیزات جانبی مورد استفاده در اندازه‌گیری‌های دریایی.

روش‌های تجربی: همان‌طور که ذکر شد، آمار باد مورد استفاده جهت پیش‌بینی امواج در منطقه مورد مطالعه، آمار باد ایستگاه بندر بوشهر است. تهیه بانک اطلاعات اولیه داده‌های ۳۰ ساله باد جهت آنالیز و محاسبه دوره بازگشت باد سالانه، تحلیل دوره و تبدیل آمار باد به موج با روش SMB مراحل لازم برای چنین تحلیلی هستند.

روشی برای پیش‌بینی امواج ارائه شده است که به روش Sverdup-Munk-Bretchneider (SMB) موسوم است. همچنین با استفاده از داده‌های تجربی دیگر، در این روش تجدیدنظر صورت گرفته است که روش SPM (اصلاح‌شده) نامیده می‌شود، در ذیل فرمول‌های روش SPM برای پیش‌بینی امواج آورده شده است (US Army Corps of Engineers، ۱۹۸۴).

$$\frac{gH_{m_0}}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 2.857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

$$\frac{gt}{U_A} = 6.88 \times 10^1 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3}$$

$$\frac{gH_{m_0}}{U_A^2} = 2.433 \times 10^{-1}$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 8.134$$

$$\frac{gt}{U_A} = 7.15 \times 10^4$$

اندازه‌گیری‌های میدانی: منطقه عمومی خور ریگ همانند غالب مناطق ساحلی کشور فاقد اطلاعات محلی و آمار مورد نیاز در طرح‌های تحقیقات حفاظت سواحل می‌باشد. از این‌رو پس از برآوردهای و بازدیدهای اولیه الگوی این اندازه‌گیری‌ها در زمینه‌ها و ابعاد زیر طرح‌ریزی شد:

- خصوصیات رسوبات خور ریگ
 - نمونه‌برداری از کلیه منابع رسوب احتمالی و رخساره‌ای رسوبی خور ریگ
 - خصوصیات جریان‌های حاکم بر خور ریگ
 - ثبت ایستگاهی پروفیل عمودی الگوی جریان (Eulerian Method)
 - ثبت پیوسته و تعقیب جریان (Lagrangian Method)
 - برآورد نرخ انتقال رسوب

- برآورد انتقال رسوب بار کف با استفاده از تله‌های رسوبی

- برآورد انتقال رسوب بار معلق به روش دبی‌سنجی جریان و رسوب

- ثبت دامنه جزر و مد در خور ریگ
 - برداشت مقاطع عرضی و طولی نقاط مختلف رودخانه شور

- هیدروگرافی بستر خور ریگ
 در این اندازه‌گیری‌ها در دو مرحله ۱۵ روزه در مجموع به مدت ۳۰ روز و با حضور ۲۰ تن کارشناسان با تجربه مرکز تحقیقات حفاظت خاک کشور، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری و بالاخره مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان بوشهر و با همکاری ادارات جهاد سازندگی گناوه و بندر ریگ انجام شده‌اند. همچنین از پیشرفته‌ترین تجهیزات و ابزار اندازه‌گیری دریایی موجود در سطح کشور استفاده شده است که به شرح زیر است:

۱- نمونه‌بردار کشتی، ۲- نمونه‌بردار مغزه‌گیر ضربه‌ای،
 ۳- نمونه‌بردار چنگ‌زن (Grabber)، ۴- سرعت‌سنج

باید توجه داشت که در آب عمیق $H_S \approx H_{m_0}$ و عمیق طول بادگیر (fetch limited) بادها به حد کفایت می‌توانند در منطقه پیش روند تا ارتفاع امواج در انتهای بادگیر به حداکثر خود برسد اما در شرایط محدودیت زمان تداوم باد (duration limited) ارتفاع امواج به وسیله مدت زمان وزش باد محدود می‌گردد.

باید توجه داشت که در آب عمیق $H_S \approx H_{m_0}$ و عمیق طول بادگیر (fetch limited) بادها به حد کفایت می‌توانند در منطقه پیش روند تا ارتفاع امواج در انتهای بادگیر به حداکثر خود برسد اما در شرایط محدودیت زمان تداوم باد (duration limited) ارتفاع امواج به وسیله مدت زمان وزش باد محدود می‌گردد.

باید توجه داشت که در آب عمیق $H_S \approx H_{m_0}$ و عمیق طول بادگیر (fetch limited) بادها به حد کفایت می‌توانند در منطقه پیش روند تا ارتفاع امواج در انتهای بادگیر به حداکثر خود برسد اما در شرایط محدودیت زمان تداوم باد (duration limited) ارتفاع امواج به وسیله مدت زمان وزش باد محدود می‌گردد.

جدول ۱- تحلیل باد منطقه‌ای بوشهر با بادگیر ریگ

تحلیل باد بوشهر (با استفاده از آمار باد ایستگاه هواشناسی بوشهر (۱۹۷۵-۲۰۰۵))

Duration (hour)	Tr (Year)	N U(m/s)	NE U(m/s)	E U(m/s)	SE U(m/s)	S U(m/s)	SW U(m/s)	W U(m/s)	NW U(m/s)
۳	۲	۱۰/۰	۹/۲	۸/۹	۱۱/۳	۱۰/۲	۸/۴	۱۱/۲	۱۳/۳
	۵	۱۲/۶	۱۲/۲	۱۱/۷	۱۳/۶	۱۲/۷	۹/۸	۱۴/۵	۱۵/۵
	۱۰	۱۴/۶	۱۴/۴	۱۳/۸	۱۵/۳	۱۴/۷	۱۰/۹	۱۷/۰	۱۷/۲
	۲۵	۱۷/۳	۱۷/۳	۱۶/۵	۱۷/۶	۱۷/۲	۱۲/۴	۲۰/۳	۱۹/۴
	۵۰	۱۹/۳	۱۹/۵	۱۸/۶	۱۹/۳	۱۹/۲	۱۳/۵	۲۲/۸	۲۱/۰
	۱۰۰	۲۱/۳	۲۱/۸	۲۰/۷	۲۱/۱	۲۱/۱	۱۴/۶	۲۵/۳	۲۲/۷
۶	۲	۶/۴	۳/۸	۴/۲	۸/۳	۷/۹	۵/۲	۸/۱	۱۰/۸
	۵	۸/۳	۵/۵	۷/۳	۱۰/۱	۱۰/۳	۷/۱	۱۰/۱	۱۱/۹
	۱۰	۹/۸	۶/۷	۹/۷	۱۱/۶	۱۲/۱	۸/۶	۱۱/۷	۱۲/۶
	۲۵	۱۱/۸	۸/۴	۱۲/۸	۱۳/۵	۱۴/۵	۱۰/۵	۱۳/۷	۱۳/۷
	۵۰	۱۳/۲	۹/۶	۱۵/۲	۱۴/۹	۱۶/۳	۱۲/۰	۱۵/۳	۱۴/۵
	۱۰۰	۱۴/۷	۱۰/۹	۱۷/۵	۱۶/۳	۱۸/۲	۱۳/۴	۱۶/۸	۱۵/۳
۹	۲	۳/۰	۱/۳	۲/۰	۵/۴	۲/۷	-۰/۳	۶/۰	۹/۵
	۵	۶/۰	۳/۰	۲/۸	۷/۰	۴/۴	۲/۲	۸/۰	۱۰/۵
	۱۰	۸/۲	۴/۴	۳/۳	۸/۲	۵/۷	۴/۱	۹/۵	۱۱/۲
	۲۵	۱۱/۱	۶/۱	۴/۱	۹/۷	۷/۴	۶/۶	۱۱/۴	۱۲/۲
	۵۰	۱۳/۴	۷/۵	۴/۷	۱۰/۹	۸/۶	۸/۵	۱۲/۹	۱۳/۰
	۱۰۰	۱۵/۶	۸/۸	۵/۳	۱۲/۱	۹/۹	۱۰/۳	۱۴/۴	۱۳/۸
۱۲	۲	۱/۷	۰/۰	۰/۰	-۳/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۷/۳
	۵	۳/۷	۰/۰	۰/۰	۱/۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۹/۰
	۱۰	۵/۱	۰/۰	۰/۰	۵/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۰/۴
	۲۵	۷/۱	۰/۰	۰/۰	۹/۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۲/۲
	۵۰	۸/۵	۰/۰	۰/۰	۱۳/۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۳/۵
	۱۰۰	۱۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۷/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۴/۹

رسوب و پریود موج (که در فرمول C.E.R.C در نظر گرفته نمی‌شود) به حساب آمده است. به خاطر این که Kamphuis کارهای خود را در دانشگاه Queens کانادا انجام داده است، این فرمول Queens هم نامیده می‌شود.

$$Q_s = 1.28m \frac{H_{bs}^{7/2}}{D} \cdot \sin 2\alpha_{bs} \quad (kg/s) \quad (1986) \quad (2)$$

روش Kamphuis در ادامه مطالعات خود بر روی مدل‌های سه‌بعدی برای محاسبه نرخ انتقال رسوب ساحلی در سال ۱۹۹۱ اثر پریود را نیز وارد مطالعات نمود. او با استفاده از خاصیت پارامترهای بدون بعد و حذف بعضی از پارامترهای غیرضروری به معادله جدیدی دست یافت:

$$Q = 6.4 \times 10^4 \times H_{sb}^2 T_b^{1.5} \cdot m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \cdot \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (m^3 / yr)$$

روش Galvin (۱۹۷۲): نرخ انتقال به‌طور مستقیم وابسته به پریود موج و زاویه برخورد موج نمی‌باشد. اما یک رابطه مشخص بین نرخ انتقال رسوب ساحلی و توان دوم ارتفاع موج به‌نظر می‌رسد وجود داشته باشد. Galvin نشان داده است که وقتی مقادیر نرخ حمل رسوب به‌دست آمده از اندازه‌گیری دریایی را با متوسط ارتفاع سالانه امواج برآزش دهیم رابطه $Q = 2 \times 10^5 H_b^2$ از منحنی بین آن‌ها قابل استخراج است که در آن Q : بر حسب یارد مکعب در سال و H_b : بر حسب فوت می‌باشد. در واحد SI: رابطه به فرم $Q = 16.5 H^2$ نوشته می‌شود که در آن مقدار Q : در 10^5 مترمکعب بر یارد ضرب می‌شود. تمام نرخ انتقال رسوب ساحلی خالص شناسایی شده از نظر عددی مقدار کم‌تری را نسبت به فرمول ارائه شده می‌دهد. این مطلب بیانگر ارائه نرخ انتقال رسوب دست بالا توسط فرمول Galvin می‌باشد.

$$Q = 2 \times 10^5 H_b^2$$

در این تحقیق با استفاده از روش‌های تجربی که عبارتند از روش (۱۹۸۴) C.E.R.C، روش (۱۹۸۶) Kamphuis، روش (۱۹۹۱) Kamphuis، روش (۱۹۸۲) Kraus، روش (۱۹۹۰) Van der Meer، روش (۱۹۷۲) Galvin، روش (۱۹۹۳) Valle، روش (۱۹۷۰) Komar (مندرج در منابع: حبیبی، ۱۳۸۰؛ US Army Corps of Engineers، ۱۹۸۴) برآورد رسوب ناشی از امواج پرداخته شده است. در ادامه به بررسی برخی از این روابط پرداخته شده است.

فرمول C.E.R.C: مشاهدات نمونه‌ها و مدل‌های ساخته شده در دهه‌های بعد از جنگ جهانی دوم یک ارتباط بین نرخ انتقال در طول ساحل و مؤلفه فلوی انرژی واحد طول تابع موج در طول ساحل را نشان می‌دهد. نحوه محاسبه به این صورت است که میزان انتقال رسوبات کف دریا تابعی از مؤلفه در امتداد ساحل فلاکس انرژی می‌باشد. این مؤلفه خود به تندی موج در نقطه شکست $\left(\frac{H_o}{gT^2}\right)$ و زاویه‌ای که موج با خط ساحلی می‌سازد، بستگی دارد را نشان می‌دهد.

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

نمونه‌ها و مدل‌های به‌کار رفته در گذشته مقدار $0.28/K$ را برای ضریب K نشان داده است (در صورت به‌کار بردن H_s). مطالعات انجام شده توسط Komar (۱۹۷۶)، Bijker (۱۹۶۹) و svasek و Bijker (۱۹۷۳) مقدار بزرگ‌تری را برای K (۰/۰۵) نشان داده است (shore Protection Manual، ۱۹۸۴). در این صورت SPM مقدار K را ۰/۳۹ پیشنهاد می‌کند.

روش Kamphuis (۱۹۸۶-۲۰۰۲): حاصل نتایج بررسی‌های Kamphuis طی سال‌های ۱۹۸۶ و ۱۹۹۱ بر روی مدل‌های هیدرولیکی سه‌بعدی و داده‌های صحرائی ارائه یک فرمول انتقال رسوب ساحلی می‌باشد که در آن اثر عوامل شیب بستر و اندازه ذره

روش Kraus (۱۹۸۲):

انتقال را از تغییرات فتوگرافیکی ناحیه برای پریود سه‌ساله تغییرات خط ساحلی در طول دلتا به دست آوردند. نتیجه تحقیقات آن‌ها کاهش K با افزایش قطر رسوب را نشان می‌دهد.

D_{50} : برحسب میلی‌متر می‌باشد و رابطه براساس H_{rms} :
به دست آمده است.

$$K = 1.4e^{(-2.5D_{50})}$$

$$Q = K H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b)$$

روش Komar و Inman (۱۹۷۰): تحقیقات زیادی بر روی داده‌های رسوب اندازه‌گیری شده محلی و آزمایشگاهی صورت گرفته است و هر یک از محققان ضرایب متفاوتی را بسته به محل موردنظر به دست آورده‌اند از آن جمله می‌توان به مقدار $k=0.77$ توسط Komar و Inman (۱۹۷۰) اشاره کرد.

$$Q = K H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b) \cos(\alpha_b)$$

ارائه نتایج

همان‌طورکه در بخش‌های قبل ذکر شد، روابط تجربی S.M.B. به‌منظور محاسبه پارامترهای امواج استفاده شده است. نتایج این تحلیل به‌صورت جدول ۲ خلاصه شده است. در محاسبه نرخ انتقال رسوبات ساحلی، با توجه به تغییرات زاویه خط ساحلی در شمال‌غرب و جنوب‌خور ریگ، ساحل منطقه به دو ناحیه تقسیم گردیده و نرخ انتقال رسوبات برای هر قسمت به‌طور مجزا محاسبه گردید. در جدول ۳ و شکل ۲ نتایج روش‌های تجربی که به محاسبه انتقال رسوب در منطقه خور ریگ پرداخته، به‌صورت خلاصه ذکر شده است.

۱- آنالیز روش آزمایشات برای فرمول فوق براساس یک تزریق هم‌زمان ردیاب رسوب برای اندازه‌گیری دو کمیت؛ ۲- سرعت انتقال جرم ماسه (*Advection Velocity*) در جهت ساحلی W ، معین شده از حرکت مرکز جرم مواد؛ ۳- عمق اختلاط (*Depth of Mixing*) از مرکز تجمع مواد حرکت کرده از بستر انجام شده است.

$$Q = KH_b^{3/2} \sin(2\alpha_b)W$$

هم سرعت انتقال جرم و هم عمق اختلاط در عرض ناحیه شکست متفاوت هستند. بنابراین مناسب است که از نرخ حجمی انتقال در واحد عرض ناحیه شکست استفاده شود.

روش Van der Meer (۱۹۹۰):

فرمولی برای انتقال رسوب در طول سواحل شنی ارائه نمود که در آن اثر انکسار روی پارامترهای وارد می‌شود:

$$C_{op} = \frac{g T_p}{2\pi}$$

$$Q_L = 0.0038 H_S^2 C_{op} \cdot \sin 2\beta$$

زمانی که انتقال تحت‌تأثیر اندازه ذرات می‌باشد می‌توان از این فرمول استفاده نمود.

روش Valle و همکاران (۱۹۹۳): رابطه K برای

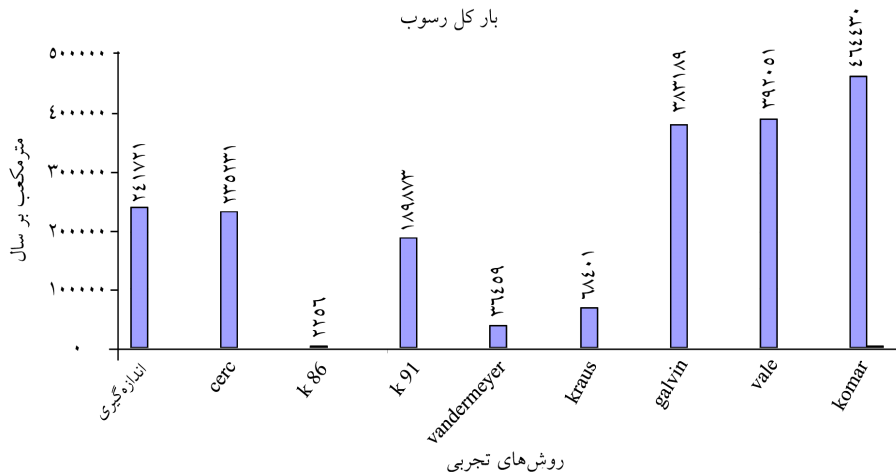
Medina, Delvall و Losada (۱۹۹۳) یک رابطه تجربی برای K ، با به‌کار بردن داده‌های انتقال رسوب در دامنه (۱/۵-۰/۴) میلی‌متر) برای دلتای رودخانه Adra در اسپانیا براساس داده‌های قابل دسترس تغییر داده شده توسط Komar (۱۹۸۸) به دست آوردند. آن‌ها پارامتر موج را با بویه و مشاهدات چشمی و نرخ

جدول ۲- پیش‌بینی امواج در جهات مختلف

Dir	H _s (m)	T(s)	L(m)	F	a(deg)	a(rad)	Cg.	H _b (m)	d _b (m)	a _b (deg)
شمال غربی	۰/۴۳	۳/۳۹	۱۷/۹۳	٪۱/۲۴	-۹۰	-۱/۵۷	۲/۶۴	۰/۰۳	۰/۰۴	-۶/۵۲
	۰/۸	۴/۳۵	۲۹/۵۲	٪۰/۷۳	-۹۰	-۱/۵۷	۳/۳۹	۰/۰۵	۰/۰۷	-۶/۸۵
	۱/۲۴	۵/۱۹	۴۲/۰۲	٪۰/۶۴	-۹۰	-۱/۵۷	۴/۰۵	۰/۰۸	۰/۱	-۷/۰۹
	۱/۷۵	۵/۹۵	۵۵/۲۳	٪۰/۱۳	-۹۰	-۱/۵۷	۰/۶۴	۰/۱۱	۰/۱۴	-۷/۲۹
	۲/۳۲	۶/۶۶	۶۹/۱۹	٪۰/۰۶	-۹۰	-۱/۵۷	۵/۱۹	۰/۱۵	۰/۱۹	-۷/۴۶
	۲/۹۴	۷/۳۲	۸۳/۵۹	٪۰/۰۱	-۹۰	-۱/۵۷	۵/۷۱	۰/۱۸	۰/۲۳	-۷/۶
شمال شرقی	۰/۴۳	۳/۳۹	۱۷/۹۳	٪۱/۶۸	-۴۵	-۰/۷۹	۲/۶۴	۰/۴۴	۰/۵۶	-۱۷/۹۳
	۰/۸	۴/۳۵	۲۹/۵۲	٪۰/۷۵	-۴۵	-۰/۷۹	۳/۳۹	۰/۷۹	۱/۰۱	-۱۸/۸۳
	۱/۲۴	۵/۱۹	۴۲/۰۲	٪۰/۲۷	-۴۵	-۰/۷۹	۴/۰۵	۱/۲	۱/۵۴	-۱۹/۴۸
	۱/۷۵	۵/۹۵	۵۵/۲۳	٪۰/۰۲	-۴۵	-۰/۷۹	۴/۶۴	۱/۶۸	۲/۱۵	-۲۰/۰۴
	۲/۳۲	۶/۶۶	۶۹/۱۹	٪۰/۰۱	-۴۵	-۰/۷۹	۵/۱۹	۲/۲	۲/۸۲	-۲۰/۵
	۲/۹۴	۷/۳۲	۸۳/۵۹	٪۰/۰۰	-۴۵	-۰/۷۹	۵/۷۱	۲/۷۶	۳/۵۳	-۲۰/۸۹
غربی	۰/۴۳	۳/۳۹	۱۷/۹۳	٪۵/۴۴	۰	۰	۲/۶۴	۰/۵	۰/۶۴	۰
	۰/۸	۴/۳۵	۲۹/۵۲	٪۳/۵۲	۰	۰	۳/۳۹	۰/۹۱	۱/۱۶	۰
	۱/۲۴	۵/۱۹	۴۲/۰۲	٪۱/۸۲	۰	۰	۴/۰۵	۱/۳۸	۱/۷۷	۰
	۱/۷۵	۵/۹۵	۵۵/۲۳	٪۰/۱۱	۰	۰	۴/۶۴	۱/۹۲	۲/۴۷	۰
	۲/۳۲	۶/۶۶	۶۹/۱۹	٪۰/۰۲	۰	۰	۵/۱۹	۲/۵۲	۳/۲۳	۰
	۲/۹۴	۷/۳۲	۸۳/۵۹	٪۰/۰۰	۰	۰	۵/۷۱	۳/۱۷	۴/۰۶	۰
شمال غربی	۰/۴۳	۳/۳۹	۱۷/۹۳	٪۶/۲۶	۴۵	۰/۷۹	۲/۶۴	۰/۴۴	۰/۵۶	۱۷/۹۳
	۰/۸	۴/۳۵	۲۹/۵۲	٪۵/۳۱	۴۵	۰/۷۹	۳/۳۹	۰/۷۹	۱/۰۱	۱۸/۸۳
	۱/۲۴	۵/۱۹	۴۲/۰۲	٪۴/۴۳	۴۵	۰/۷۹	۴/۰۵	۱/۲	۱/۵۴	۱۹/۴۸
	۱/۷۵	۵/۹۵	۵۵/۲۳	٪۰/۵۸	۴۵	۰/۷۹	۴/۶۴	۱/۶۸	۲/۱۵	۲۰/۰۴
	۲/۳۲	۶/۶۶	۶۹/۱۹	٪۰/۱۲	۴۵	۰/۷۹	۵/۱۹	۲/۲	۲/۸۲	۲۰/۵
	۲/۹۴	۷/۳۲	۸۳/۵۹	٪۰/۰۳	۴۵	۰/۷۹	۵/۷۱	۲/۷۶	۳/۵۳	۲۰/۸۹
	۳/۶۱	۷/۹۴	۹۸/۳۵	٪۰/۰۱	۴۵	۰/۷۹	۶/۱۹	۳/۳۶	۴/۳	۲۱/۲۵

جدول ۳- نتایج روش‌های تجربی در برآورد رسوبات خور ریگ

روش‌ها	اندازه‌گیری	cerc	k 86	k 91	vandermeyer	kraus	galvin	vale	komar
مترمکعب بر سال	۲۴۱۷۲۱	۲۳۵۲۳۱	۲۲۵۶	۱۸۹۸۷۳	۳۶۴۵۹	۶۸۴۰۱	۳۸۳۱۸۹	۳۹۲۰۵۱	۴۶۴۴۳۰
مترمکعب بر سال	۶۶۲/۲۵	۶۴۴/۴۷	۶/۱۸۰۸۲	۵۲۰/۲	۹۹/۸۸۷۶۷۱۲	۱۸۷/۴	۱۰۴۹/۸	۱۰۷۴/۱	۱۲۷۲/۴
مترمکعب بر ثانیه	۰/۰۰۷۶۶	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۰۰۷۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۱۵۶۱۱	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۲۴	۰/۰۱۴۷
نسبت	۱/۰۰۰۰	۰/۹۷۳۱	۰/۰۰۹۳	۰/۷۸۵۵	۰/۱۵۰۸	۰/۲۸۳۰	۱/۵۸۵۳	۱/۶۲۱۹	۱/۹۲۱۳



شکل ۲- مقایسه نتایج روش های تجربی در برآورد انتقال رسوبات خور ریگ

انتقال رسوب با روش های VanderMeer, Komar, Kraus, Valle و Galvin میزان رسوب سالانه را به ترتیب ۱/۱۵-۰/۲۸-۱/۵۸-۱/۶۲-۱/۹۲ مقدار اندازه گیری شده نشان می دهد.

بحث و نتیجه گیری

در این پروژه با استفاده از روابط تجربی به بررسی خصوصیات امواج منطقه خور ریگ پرداخته شد. همچنین با استفاده از روابط تجربی، انتقال رسوب ناشی از امواج محاسبه و کارایی روابط مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این تحقیق نشان داده شده است که تعیین صحیح جهت موج و احتمال وقوع موج با جهت های متفاوت در تعیین درست نرخ رسوبات ساحلی بسیار مؤثر است. نتیجه این که استفاده از فرمول تغییر یافته C.E.R.C با یک توزیع آماری مناسب از جهت موج در آب عمیق طراحان را برای به دست آوردن یک عبارت تحلیلی برای نرخ انتقال رسوب خالص سالانه، قادر می سازد. این بیان یک وابستگی بسیار عمیق از نرخ انتقال رسوب ساحلی بر روی مشخصه های جهت موج و آزیموت خط ساحلی را نشان می دهد.

لازم به ذکر است که ارقام جدول ۳ در واقع نشان دهنده پتانسیل انتقال رسوب می باشند. این بدان معنی است که در صورتی که منابع رسوب منطقه قادر به تأمین این حجم باشند، امواج منطقه قادر هستند که این حجم رسوب را جابجا نمایند. با توجه به جدول ۳ می توان دریافت که فرمول C.E.R.C به طور تقریب ۰/۹۷ مقدار اندازه گیری شده رسوب منطقه را برآورد نموده و تقریباً نتیجه ای نزدیک به حقیقت (مقدار اندازه گیری شده) ارائه نموده است. این رابطه تقریباً برای منطقه ریگ جواب مناسبی می دهد و مقدار اختلاف می تواند مربوط به خطا در محاسبه گلموج منطقه و یا اندازه گیری (هیدروگرافی) رسوب باشد. همان طور که جدول نشان می دهد، مقدار رسوب سالانه مطابق روش Kamphuis، سال ۱۹۸۶، برابر ۰/۰۰۹ مقدار اندازه گیری شده رسوب منطقه را برآورد نموده است. بنابراین به توجه به یک برآورد دست پایین از نرخ انتقال رسوب منطقه بهتر است از این فرمول استفاده نشود. مقدار رسوب خالص سالانه به روش Kamphuis، سال ۱۹۹۱، برابر ۰/۷۸ مقدار اندازه گیری شده رسوب منطقه را برآورد نموده است. این میزان خطا می تواند مربوط به عدم قرارگیری شرایط ساحل مورد نظر در محدوده کالیبراسیون این فرمول باشد. نرخ

مشخصات جریان ساحلی اشاره‌ای نشده است و اثر جریان (سرعت) ساحلی نادیده گرفته شده است.

۳- این فرمول در حالت ایده‌آل میزان نرخ انتقال خالص رسوب ساحلی را ارائه می‌کند و از اظهارنظر در مورد نحوه توزیع انتقال رسوب ساحلی در منطقه شکست عاجز است.

۴- هر گونه تغییر در خط ساحل، نظیر خورها یا دماغه‌ها و یا ورود جریان رودخانه‌های بزرگ به دریا می‌تواند شدیداً نرخ انتقال رسوب ساحلی را در یک ناحیه تحت تأثیر قرار دهد، به طوری که ارقام به دست آمده از فرمول C.E.R.C دیگر قابل اعتماد نباشد. به عنوان مثال وجود خلیج‌های بوشهر و هلیله در شمال غرب و جنوب شرق بوشهر مانع رسیدن رسوبات زیاد به داخل این محدوده می‌شوند، در حالی که معادله C.E.R.C ارقام بسیار بزرگی را به دست می‌دهد.

۵- در استفاده از سرعت باد برای محاسبه ارتفاع موج باید دقت کرد که از سرعت متوسط باد برای تعیین ارتفاع موج استفاده نمود، نه از سرعت‌های بیشینه باد که براساس آن، طرح سازه‌های موج‌شکن انجام می‌شود.

فرمول C.E.R.C با توجه به ساده بودن آن از ویژگی‌های خاصی برخوردار است و شاید در اکثر سواحل ماسه‌ای دنیا قابل استفاده بوده و با توجه به قدمت آن، کارشناسان سواحل و بنادر آشنایی کامل با آن دارند، ولی این فرمول در عین سادگی دارای ضعف‌های اساسی به قرار ذیل است:

۱- در این فرمول انتقال رسوب ساحلی به صورت مستقل از اندازه دانه‌های رسوبی بیان شده و به اندازه مواد رسوبی در ساحل و دانسیته آن‌ها هیچ‌گونه اشاره‌ای نشده است. با توجه به این فرمول اندازه ذرات می‌تواند به هر اندازه و مقدار باشد، هر چند کاربرد آن فقط در خصوص سواحل ماسه کوارتزی با دانه‌های رسوبی در حدود $D_{50}=0/02$ میلی‌متر صدق می‌کند.

۲- اثر شیب ساحل در فرمول گنجانده نشده است و اشاره‌ای به نیروهای محرک انتقال رسوب ناشی از موج و جریانات دریایی ندارد. نیروهای رانشی از امواج نتیجه می‌شوند، حال اگر نیروهای رانش دیگری (مانند جزر و مد) وارد مسأله شود، این فرمول کاربرد خود را از دست می‌دهد. همچنین در این فرمول به

منابع

- غریب‌رضا، م.ر.، رحیمی پورانارکی، ح. و جعفری، م. ۱۳۷۹. گزارش نهایی طرح پژوهشی مطالعات رسوب‌گذاری بندر ریگ. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، ۲۰۶ صفحه.
- حیبی، م.، ایمانی، م. و غریب‌رضا، م.ر.، ۱۳۸۰. گزارش نهایی طرح پژوهشی بررسی نظریه‌های انتقال رسوب ساحلی. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری. ۲۷۵ صفحه.
- Bodge, K.R., 2005. Sediment Management at Inlets. In: Coastal Engineering Manual (Pope, J. and Lockhart, J.H., ed.). Coastal Engineering Research Center, 209p.
- Soulsby, R. L. and Damgaard, J.S., 2005. Bedload sediment transport in coastal waters. Coastal Engineering 52(8), 673-689.
- US Army Corps of Engineers, 1984. Shore Protection Manual. US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 640p.

**Evaluation of non-cohesive sediment transport formulas in
Rig port coastal area (Boushehr province)**

**M. Ahmadi Nejad¹, A. Karami Khaniki², K. Lari³,
M. Torabi Azad³ and M. Ezam¹**

¹Dept. of Physical Oceanography, Islamic Azad University, Tehran Science and Research, ²Soil Conservation and Watershed Management Institute, Agricultural Research and Education Organization, Ministry of Jihad-E-Agriculture, ³ Islamic Azad University, North Tehran Branch

Abstract

Nowadays empirical methods as an effective tool for considering coastal process are the best for technical and engineering problems. According to different abilities of empirical methods Because of complexity of sediment transport phenomenon, sufficient studies for choosing the best method in coastal areas appear essential. In this research, wave models, current, sediment transport in the Rig port is examined by different empirical methods. First wind statistics analysis is done and then wind turned to a wave statistics based on SMB method which registered in last 30 years. On coastal weather station of Boushehr in 8 directions and 3-6-9 hours intervals of different speed classes and predicted periods up to 100 last years. Then sediment transport range is calculated by empirical methods. In this research CERC method is selected as sufficient method in this area. This method shows the best compatibility to residential data.

Keywords: Sediment transport; Rig estuary; Empirical methods; SMB method

* Corresponding Author; Email: mahyar_ahmadinejad@yahoo.com