

بررسی تغییرات ریخت پویایی مصبهای جزرومدی مطلوب تحت اثر توأم جزر و مد و امواج عمود بر ساحل با استفاده از شبیه سازی عددی

منیره سادات کیایی^{۱*}، علی کرمی خانیکی^۲، عباسعلی علی اکبری بیدختی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱۲

چکیده

مصبها پهنه‌هایی تأثیرگذار بر مهار کردن حرکات رسوب و توزیع آن در سواحل می باشند. لذا، شناسایی عوامل مؤثر بر آب پویایی مصبها که به‌عنوان فرایندهای انتقال و از عوامل مهم در تعیین هندسه و شکل سواحل و مصبها محسوب می‌شوند، حائز اهمیت اند بسیارند. موج و جزر و مد از عوامل اصلی شکل دهنده‌ی مصبها می‌باشند. در این تحقیق، اثر هر دو عامل به صورت توأم، مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور، یک حوضچه‌ی ساحلی، که از طریق یک مصب به دریای باز متصل می‌شود، در محیط نرم افزار ۲۱ مایک همانندسازی شده است. در این شبیه، از یک شبکه‌ی مثلثی ساختار نیافته، با ابعاد ۱۰ تا ۵۰ متری، در یک شبیه تفاضل محدود با گام زمانی ۲ ثانیه استفاده شده است. بطور همزمان، موج و جزر و مد با ارتفاع‌های مختلف، به طرف دهانه فرستاده می‌شود. الگوی جریان نشان می‌دهد که با شبیه سازی در حالت توأم، ریخت‌شناسی مصب به گونه‌ای تغییر می‌کند که پس از گذشتن زمان، به حالت تعادل می‌رسد، که در این صورت، مصب، مطلوب خواهد بود. علاوه بر آن، به وسیله‌ی شاخص بدون بعد H_w/H_t فراسنج غالب در مصب را می‌توان تعیین کرد. برای محاسبه‌ی عوارض ته‌نشینی در مصب، ابتدا هر یک را بطور جداگانه، تحت موج تنها و جزر و مد تنها، تعیین کرده، سپس مجموع مقادیر را محاسبه می‌کنیم. مقادیر به دست آمده با مقادیر در حالت توأم، یکسان هستند.

واژه‌های کلیدی: مصب، آب پویایی، رسوبگذاری، مایک ۲۱.

۱- دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

۲- مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران و عضو هیأت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۳- مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

*- نویسنده مسئول: nahid_sadatkiaee@yahoo.com

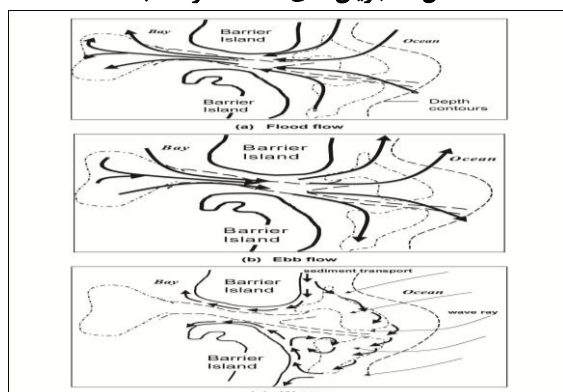
مقدمه

مصبها به عنوان محل اتصال آبراهه ها و خلیجها به دریای آزاد نقش مهمی را در بهره برداری از منابع دریایی ایفا می کنند. معمولاً به عنوان یکی از مهمترین معبرهای دریایی مورد استفاده‌ی شناورهای صیادی، تفریحی و تجاری قرار می گیرند. در این گونه موارد، وجود یک معبر پهن، ژرف و پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است. تداخل دائمی جریانهای و امواج در مصبها تأثیرات نامطلوبی بر ریخت شناسی مصبها دارند. انباشتن رسوب در دهانه‌ی مصب باعث ایجاد کم عمقی و مشکل در تردد شناورها می گردد، از این رو در بیشتر موارد، برای پایداری مصب نیاز به لایروبی دوره ای آن، و یا استفاده از سازه های محافظ نظیر باراندازها می باشد. شناختن دقیق فرایندهای رسوبی در مصبها نه تنها به استفاده‌ی بهینه از این گذرگاههای حیاتی کمک می کند، بلکه هزینه‌ی نگهداری آنها، و نیز هزینه طرح های حفاظتی را به شدت کاهش می دهد. شناسایی عوامل مؤثر بر آب پویایی مصبها، که به عنوان فرایندهای انتقال می باشند، از عوامل مهم و تأثیرگذار در تعیین هندسه و شکل سواحل و مصبها محسوب می شود. از جمله این عوامل می توان به اثر امواج و جزر و مد جریانهای دریایی اشاره کرد. در محل اتصال رود به دریا، و در دهانه هایی که جریان ورودی به دریا وجود دارند، تداخل آب ورودی با جریانهای کرانه ای سبب رسوب گذاری در دهانه و کم عمق شدن آن منطقه می گردد، که این امر، مشکلاتی را برای تردد شناورها در آبراهه های ورودی به وجود می آورد. برای جلوگیری از شکل گیری و ایجاد این پدیده ها، شناسایی مشخصه های امواج و جریانهای دریایی ناشی از باد، موج و جزر و مد و همچنین اثر متقابل آنها بر انتقال رسوب حائز اهمیت بسیار است، بنابراین، ضروری است که از طریق همانندسازی فرایندهای انتقال، آثار تغییرات ناشی از این پدیده، محقق و شناسایی گردد. نتیجه این تحقیق می تواند بطور مستقیم به وسیله‌ی مهندسين و پژوهشگران برای طراحی سازه های ساحلی مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۱ وضعیت جریانهای جزر و مدی، و جریانهای ناشی از امواج در مصبهای طبیعی (بدون حفاظ) را نشان می دهد. پیچیدگی جریان در مصب، باعث پیچیده شدن

الگوی رسوبگذاری و فرسایش نیز می گردد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، دو عارضه‌ی رسوبی مهم در مصبها دیده می شوند که عبارتند از: مصب رسوب برگشتی (ebb shoal) و مصب ناشی از جریان مدی (flood shoal).



شکل ۱- جریان های مختلف در مصب ها

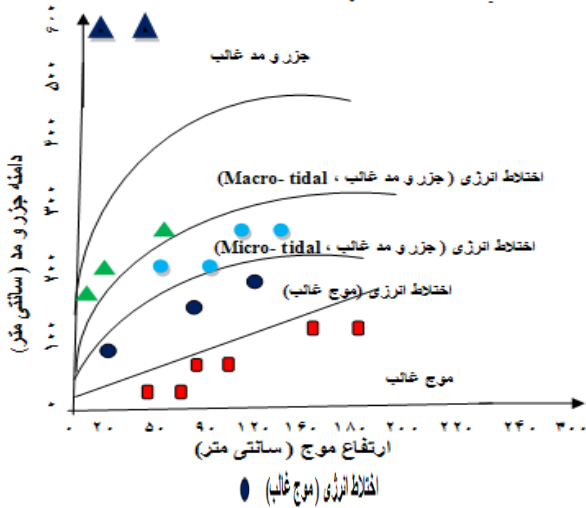


شکل ۲- عارضه های رسوبی در مصب ها

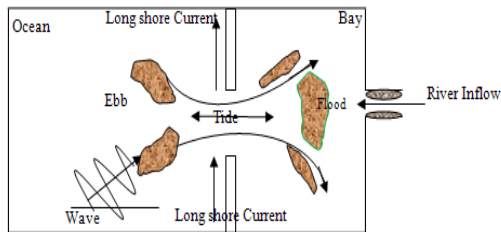
شکل ۲، عارضه های رسوبی تابع متغیرهای مختلف از جمله: دامنه‌ی جزر و مد، ارتفاع امواج، جریانهای کرانه-ای ناشی از موج و دانه بندی رسوبات می باشد. از نظر تأثیر جزر و مد، مصبها را می توان به سه گروه اصلی جزر کوچک^۱ (دامنه جزر و مد بین ۰ تا ۲ متر)، جزر میانی^۲ (دامنه جزر و مد بین ۲ تا ۴ متر) و جزر بزرگ^۳ (دامنه جزر و مد بین ۴ تا ۶ متر) تقسیم نمود. در شکل ۲ انواع مختلف عوارض رسوبی ناشی از جزر و مد نشان داده شده اند. مشخصات امواج در ساحل، شامل ارتفاع و جهت موج نیز تأثیر قابل ملاحظه ای بر عوارض رسوبی در مصبها دارد. این تأثیر از دو جهت قابل بررسی است؛ از

1-micro- tidal
2-meso- tidal
3-macro- tidal

از نظر شدت نسبی موج و جزر و مد، مصب‌ها را در سه گروه: جزر و مد غالب، موج غالب و ترکیبی می‌توان طبقه‌بندی کرد. شکل ۵، محدوده‌ی هر یک از این گروه‌ها را نشان می‌دهد (Davis and Hayes, 1979).



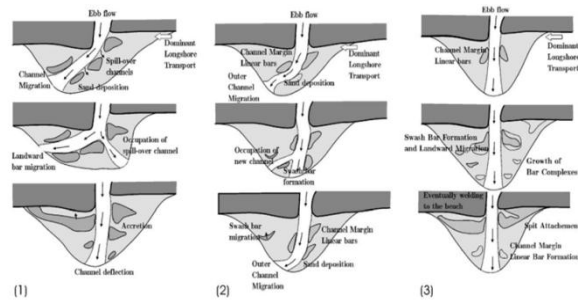
شکل ۵- طبقه‌بندی مصبها از نظر تأثیر امواج و جزر و مد (Davis and Hayes, 1980).



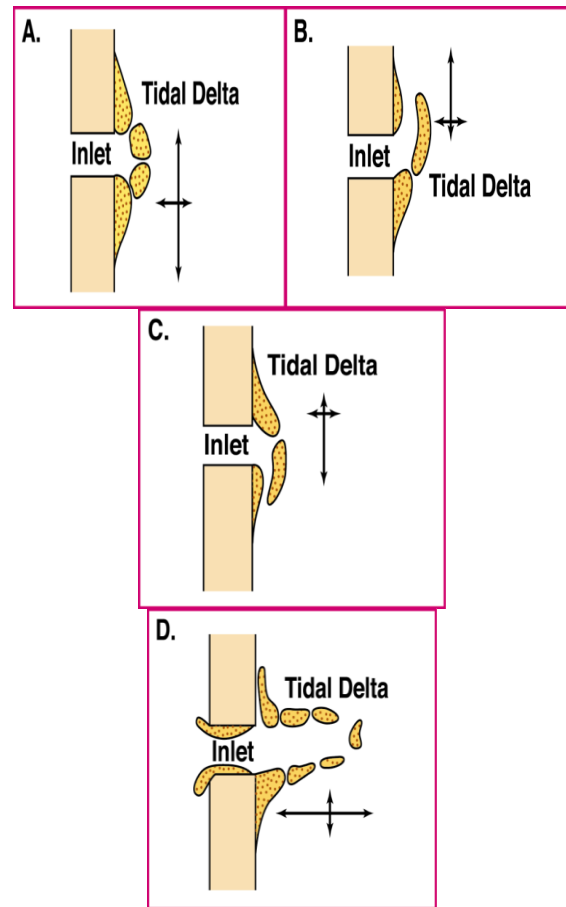
شکل ۶- بر همکنش موج - جریان در یک مصب جزر و مدی (Ding et al., 2010)

با توجه به شکل ۶، برخورد امواج با جریان در مصبهای جزر و مدی، منجر به تیزی موج و کاهش طول آن می‌شود که این امر در کشتیرانی بسیار خطرناک است. بر همکنش قوی میان جریان و امواج باعث تغییر ریخت شناسی مصب و نهرهای نوابری می‌شود. در حالت توأم، با

یک طرف تداخل موج و جریانهای جزر و مدی بر شکل عارضه‌ها تأثیر گذار است، از طرف دیگر، جریانهای کرانه‌ای ناشی از موج باعث تغییر در شکل این عارضه‌ها می‌شود. در شکل‌های ۳ و ۴ تأثیر امواج و جریانهای کرانه‌ای بر عوارض رسوبی در مصب‌ها به صورت خلاصه ارائه شده است.



شکل ۳- تأثیر جریانهای کرانه‌ای ناشی از موج بر عارضه‌های رسوبی (Fitz Gerald et al., 2000)



شکل ۴ - تأثیر موج و مصبهای جزر و مد غالب بر روی مصب.

- 1 - tide dominated
- 2- wave dominated
- 3- Mixed Energy

روی ناحیه‌ی رسوب برگشتی^۲ مواد بالادست را حرکت داده و این ناحیه را با فرسایش تپه‌ها و مواد ته نشین شده مسطح می‌کند. برای شرایط واداشت، امواج غالب می‌باشند و جریانهای جزرومدی، با تغییر جهت جریان-های روزانه‌ی مدی، ریخت شناسی ورودی مصب و کناره-های بالادست رسوب برگشتی را تغییر می‌دهند. بنابراین، شبیه سازی موج و جریان جزرومدی و انتقال رسوب، به صورت توأم، یک مصب مطلوب را می‌سازد.

موریس و همکاران (۲۰۰۱) به اندازه گیری کیفی و کمی ریخت شناسی مصب Barranova در پرتقال تحت تأثیر جزر و مد و موج با استفاده از عکسبرداری که طی ۷ ماه انجامید، اقدام نمودند. نتایج، تحت تأثیر فراسنج-های موجی، حالت مختلط، امواج و تغییر تراز آب ناشی از جزر و مد به دست آمدند. آنها دریافتند که وقتی توفان وجود دارد، زبانه‌های سدی در غرب و کناره های پایین دست مصب، فرسایش می‌یافته، و آهنگ فرسایش آن ۳ متر در روز می‌باشد. این در حالی است که میانگین فرسایش برای حالت توأم، ۰.۴۷ متر در روز است، که تقریباً ۸۰ درصد فرسایش آن ناشی از توفان می‌باشد. هنگام فرسایش، پهنای مصب در مدت ۷ ماه، ۶۰ متر افزایش می‌یابد. موقعیت و مکان مصب مستقیماً به شرایط موج مربوط است. موقعیت نهر در جهت جنوب شرقی به طرف جزیره Ihada Barreta در آمریکا است که به اندازه‌ی ۷۵ متر (۰.۳۵ متر در روز) با تغییر جهت جریان کرانه ای تغییر می‌کند. این منطقه تحت اثر موج کوچک و جریانهای جزر و مدی (نیروهای غالب در منطقه) که از جنوب شرقی می‌آیند، به صورت پایدار باقی می‌مانند.

Cayoca (۲۰۰۱) مصب Arcachon را تحت شرایط جزر و مد، موج و حالت توأم، با استفاده از شبیه دو بعدی افقی، ریخت شناسی مصب را که شامل آب پویایی، انتقال رسوب، موج و تغییرات بستر بود، همانند سازی نمود. عمق مصب ۳ متر و ابعاد آن از طرف ساحل ۲۰ کیلومتر طول و ۸ کیلومتر عرض است وقتی که یک یا دو نهر در بین مصب و اقیانوس تشکیل می‌شود. اجرای شبیه از سال ۱۹۹۳ شروع گردید و نشان داد که باز کردن یک نهر جدید در انتهای زبانه‌های شنی sand spit در شرایط

ایجاد گودالهای غیر عادی در نهرها باعث افزایش کم عمقی در خارج از مصب می‌گردد.

دینگ و وانگ (۲۰۱۰) انتقال و تغییر شکل موج را در مصبهای جزر و مدی را در چنین جریانهای با استفاده از شبیه CCHE2D-coast در مدت ۱ ساعت همانند سازی نمودند. از معادلات موج برای محاسبه‌ی فرایندهای ناشی از موج، مانند تفرق، شکستن، کم عمقی و اصطکاک بستر بهره بردند. سپس، شبیه را با شبیه آب پویایی جفت نموده و برای چند ماه شبیه سازی کردند. پس از آن با داده های میدانی سال ۱۹۹۹ در بندر Gray مقایسه و واسنجی کردند. نتایج، بیانگر آن است که شبیه موج توأم، به خوبی، تغییرات تناوبی ارتفاع موج را در ایستگاههای مختلف داخل نهر، و نیز اثرات نوسانهای امواج را که تابع دوره های جزر و مدی در حوضچه است، به خوبی نشان می‌دهند. بدون در نظر گرفتن شرایط توأم جزر و مد و موج، نمی‌توان مؤلفه های تناوبی دراز مدت امواج را در مصبها لحاظ نمود.

فیتز جرالند و همکاران (۲۰۰۱) فرایند فرسایش داخلی مصبها را مورد بررسی قرار دادند. بنابر این تحقیق، عامل اصلی فرسایش، امواج دوره کوتاه به همراه جریان جزرومدی است. در این تحقیق، از شبیه فیزیکی برای شرایط مختلف: موج تنها، جزرومد همراه با موج و تغییر تراز آب استفاده می‌شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که میزان فرسایش در حالت موج تنها نسبت به اثر توأم جزرومد و موج، کمتر می‌باشد.

میلیتو و کراس (۲۰۰۳) نسبت به همانندسازی یک مصب ۱۵ km و ۵ km و عمق ۵ m اقدام کردند. برای شبیه سازی این منطقه‌ی ساحلی ابعاد حوضچه ۵ km×۱/۵km در نظر گرفته شد. ابعاد مصب، خلیج و نهر تقریباً همان ابعاد مصب Shineock در نیویورک، می‌باشد. شبیه سازی برای موج و جزر و مد به تنهایی و در حالت توأم با استفاده از شبیه ST WAVE(2D) انجام شده است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که امواج، رسوبات را در مقابل قسمت بالادست بارانداز ته نشین کرده، و بستر را در نزدیک ساحل، در لبه های پایین دست، فرسایش^۱ می‌دهند. همچنین، شکستن امواج، بر

یک سامانه‌ی همانند سازی پویا برای کاربردهای ساحلی در مصبها و محیط‌های رودخانه‌ای می‌باشد. برای شبیه‌سازی انتقال رسوب ناشی از موج و جزر و مد، از زیر مجموعه‌های شبیه برنامه اصلی Couple Model FM که شامل برنامه آب پویایی یا جریان (Hydrodynamic, HD)، انتقال رسوب (Sand transport, ST) و طیفی موج (Spectral wave, SW) استفاده شده است. همچنین، از طریق ایجاد یک رابطه بین این سه مدول، همانندسازی نحوه‌ی بازخورد کامل بین تغییرات تراز بستر بر اثر گردشهای ناشی از موج و جریان را به صورت توأم ارائه می‌دهد. در این تحقیق، از این شبیه دو بعدی استفاده شده است.

طراحی و نحوه‌ی اجرای شبیه

برای بررسی اثر توأم موج و جریان جزر و مدی بر الگوی جریان ناشی از موج و تأثیر آن بر رسوب گذاری و فرسایش در مصب، از حوضچه‌ای که به‌وسیله‌ی شبیه سازی فیزیکی مطالعه شده، بهره‌وری می‌گردد. این مصب تحت اثر موج با ارتفاع‌های مختلف ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۲ متر و دوره‌ی ثابت ۸ ثانیه، جزر و مد با طول‌های ۱ متر (ریزمقیاس) و ۲/۵ متر (میان مقیاس) و ۴/۵ متر (بزرگ مقیاس) با دوره‌ی نیم روزانه (۴۴۷۵ ثانیه) به صورت جداگانه و توأم، مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابعاد حوضچه و مصب در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. شکل ۷ پستی و بلندی بستر و شبکه بندی آن جهت استفاده در شبیه سازی عددی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- فراسنجهای شبیه سازی

مقادیر	فراسنجها
۱۶۰۰۰۰۰۰۰۰ متر	طول، عرض، عمق مصب
۲۰۱۸۳۴۵۰۸۹۸۷	گره ها، جزء ها، تعداد لایه
۲ روز، ۲ ثانیه	زمان شبیه سازی، گام زمانی
Cold start، رجوع به جدول ۲	شرایط اولیه
طول جزر و مد 1,2.5, 4.5m, T= 12hr	شرایط مرز باز
۰.۲mm	(D ₅₀) قطر رسوب
۲۶۵۰ kg/m ^۳	چگالی آب
۰.۰۶m/s	سرعت سقوط ذرات
۰.۰۸	تنش بحرانی
۰.۰۵	تخلخل
۳۲ (m ^{۱/۲} /s)	زبری بستر
۰.۲۸ (m ^{۱/۲} /s)	گرانروی افقی گردابه (ضریب لزجت افقی گردابه)
۰.۰۰۴۴	شیب بستر
۰.۰۸	حد بیشتر عدد جریان

بزرگترین دامنه‌ی جزر و مدی به همراه جریان کرانه‌ای بهترین نتایج را می‌دهد. موج و جزر و مد بهترین نقش را در مدت زمان طولانی، برای تغییر ریخت شناسی مصب بازی می‌کنند. همچنین، نشان می‌دهد که تولید نهر و سامانه‌های بارگذاری با مشاهدات قبلی قابل مقایسه است، بخصوص وقتی که حوضچه به اقیانوس متصل نشود. در این حالت، جزر و مد و موج در اجرای شبیه، در یک دوره‌ی ده ساله، ثابت در نظر گرفته می‌شود.

چن و همکاران (۲۰۱۲) الگوی جریان و رسوبگذاری تحت اثر جزر و مد تنها، موج تنها و حالت توأم، برای دو نوع مصب مطلوب و طبیعی را با استفاده از شبیه عددی Near CoM-TVD مورد بررسی قرار دادند. الگوی جریان و رسوبگذاری نشان داد که، در حالت جزر و مد تنها، برای مصب مطلوب و هم مصب طبیعی، دو گردابه در طرفین نهر به وجود می‌آید. همچنین، در حالت موج تنها، ناپایداری بستر فقط در مصب طبیعی اتفاق می‌افتد و در حالت توأم، دو گردابه با چرخش معکوس را در نزدیکی نهر برای مصب طبیعی و مطلوب مشاهده کردند.

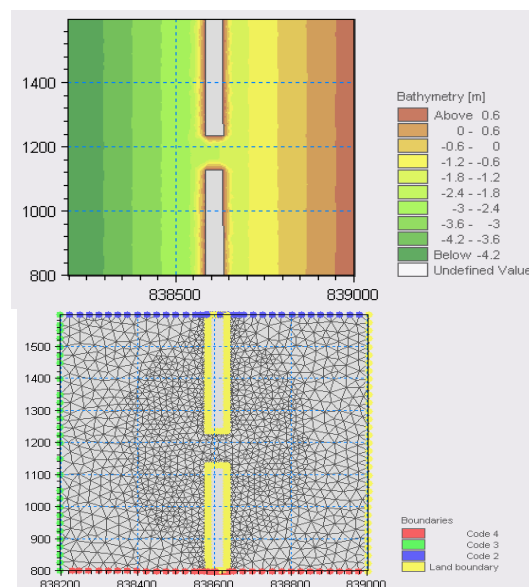
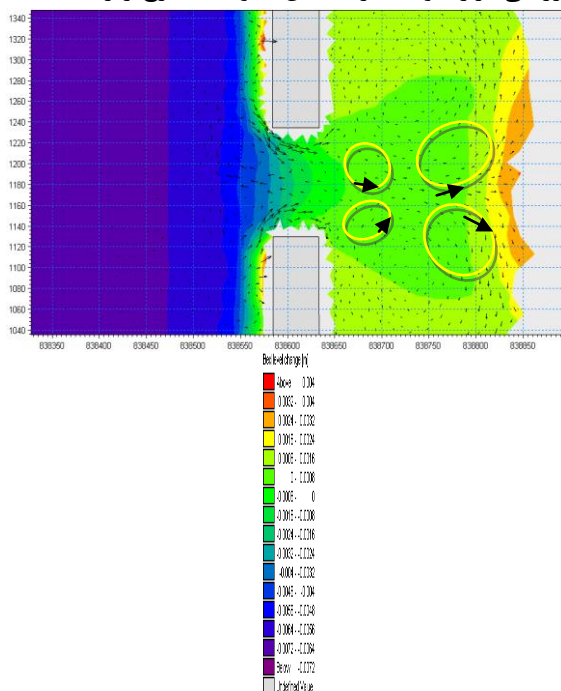
در این تحقیق، ضمن بررسی مطالعات سایر محققین، اثر موج و جریان جزر و مدی را بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری در مصب را با استفاده از نرم‌افزار Mike 21/3 مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور یک نهر جزر و مدی، که از یک طرف به یک حوضچه و از طرف دیگر به دریا مشرف است، جهت مطالعه‌ی الگوی جریان و رسوبگذاری تحت جریان جزر و مدی و امواج عمود بر ساحل، همانند سازی می‌شود.

مواد و روشها

شبیه عددی مورد استفاده

برای دستیابی به اهداف تحقیق از نرم‌افزار همانند سازی Mike 21 که به‌وسیله‌ی مؤسسه‌ی هیدرولیک دانمارک با همکاری مؤسسه‌ی کیفیت آب پایه‌ریزی و توسعه یافته، استفاده شده است. این نرم‌افزار از قابلیت‌های محاسباتی و نموداری بالایی در زمینه همانند سازی فرایندهای پیچیده‌ی ساحلی در نواحی کم‌عمق، خلیجها و دریاها برخوردار است. برنامه مورد استفاده در این تحقیق، Mike 21/3 Coupled از جعبه نرم‌افزاری می‌باشد که

ناشی از موج و تغییرات تراز بستر تحت تأثیر جزر و مد با ارتفاع ۲/۵ متر نشان می‌دهد. برای بررسی اثر توأم بر الگوی جریان و رسوبگذاری و فرسایش در مصبها، الگوی جریان (از حالت مد به جزر) و نیمرخ آن را در امتداد مصب برای جزر و مد با ارتفاع ۲/۵ متر با تناوب ۱۲ ساعت و موج با ارتفاع ۱/۵ متر با تناوب ۸ ثانیه رسم نمودیم که در شکل ۱۰ آورده شده است. شکل‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳، به ترتیب، نیم رخیهای تغییرات سرعت جریان و تغییر تراز بستر را در مقطع ۱ برای موج، جزر و مد و حالت توأم نشان می‌دهند. ابتدا به بررسی اثر هر یک از عوامل موج تنها، جزر و مد تنها بر الگوی جریان، و رسوبگذاری و فرسایش پرداخته، سپس حالت توأم را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در انتها، تأثیر عامل ارتفاع بر روی الگوها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. این الگوها به شرح زیرند :



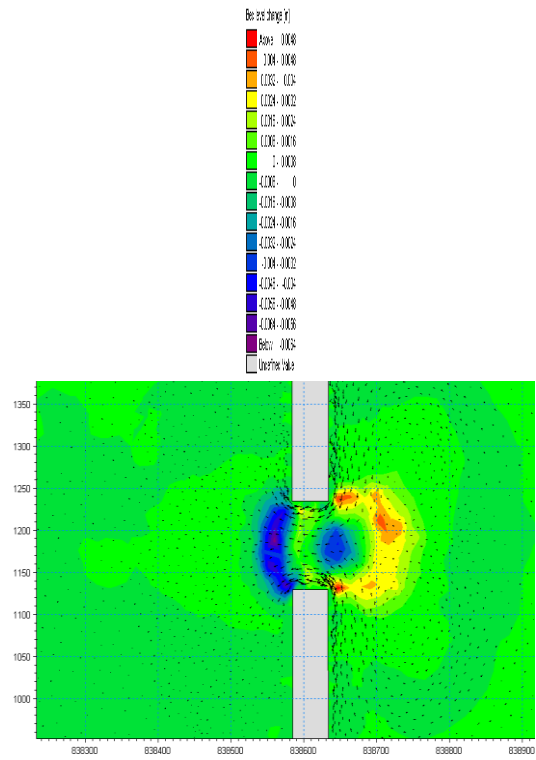
شکل ۷- الف، شبکه بندی شبیه (مقطع ۱)
شکل ۷- ب، مصب مورد مطالعه

جدول ۲- مشخصات موج و جزرومد در هر یک از مراحل اجرا بر اساس شبیه Hayes, 1976

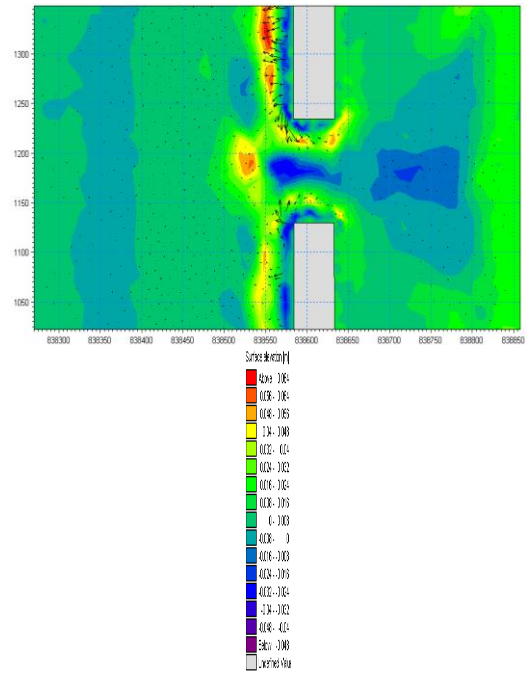
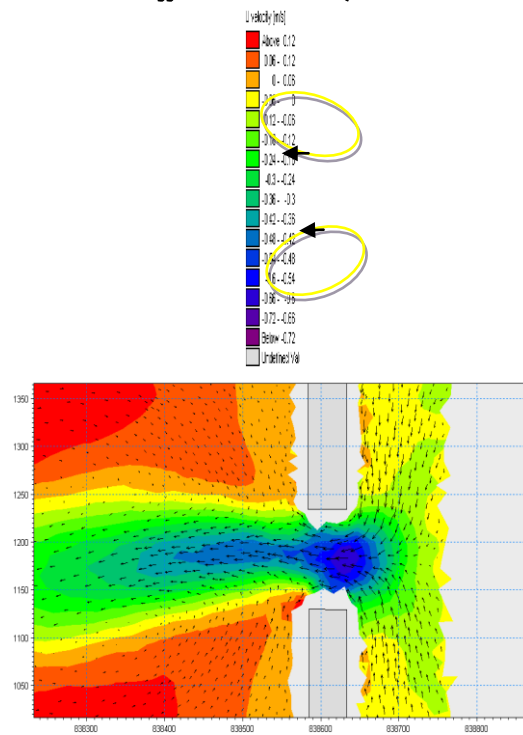
شماره‌ی اجرا (ترکیب)	طول جزر و مدی (متر)	ارتفاع موج (متر)	دوره‌ی جزر و مد (ساعت)	تناوب موج (ثانیه)	زاویه تابش موج
۱	۰	۰.۷۵	۱۲	۸	۹۰
۲	۰	۱.۵	۱۲	۸	۹۰
۳	۰	۲.۲	۱۲	۸	۹۰
۴	۱	۰	۱۲	۸	۹۰
۵	۱	۰.۷۵	۱۲	۸	۹۰
۶	۱	۱.۵	۱۲	۸	۹۰
۷	۱	۲.۲	۱۲	۸	۹۰
۸	۲.۵	۰	۱۲	۸	۹۰
۹	۲.۵	۰.۷۵	۱۲	۸	۹۰
۱۰	۲.۵	۱.۵	۱۲	۸	۹۰
۱۱	۲.۵	۲.۲	۱۲	۸	۹۰
۱۲	۴.۵	۰	۱۲	۸	۹۰
۱۳	۴.۵	۰.۷۵	۱۲	۸	۹۰
۱۴	۴.۵	۱.۵	۱۲	۸	۹۰
۱۵	۴.۵	۲.۲	۱۲	۸	۹۰

نتایج اجرای شبیه

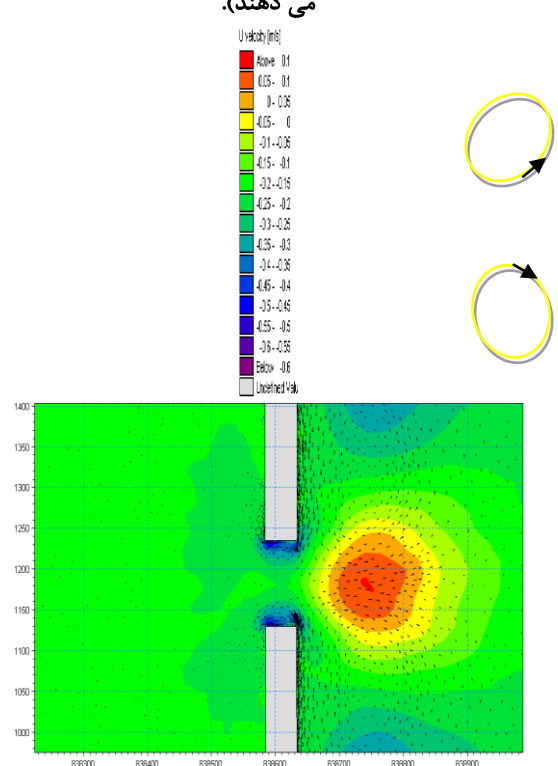
شکل ۸، توزیع تغییرات بستر (شکل ۸- الف) و سرعت جریان (شکل ۸- ب) را تحت تأثیر موج تنها با ارتفاع ۱/۵ متر، نمودار ۹- الف و ب، توزیع سرعت جریان

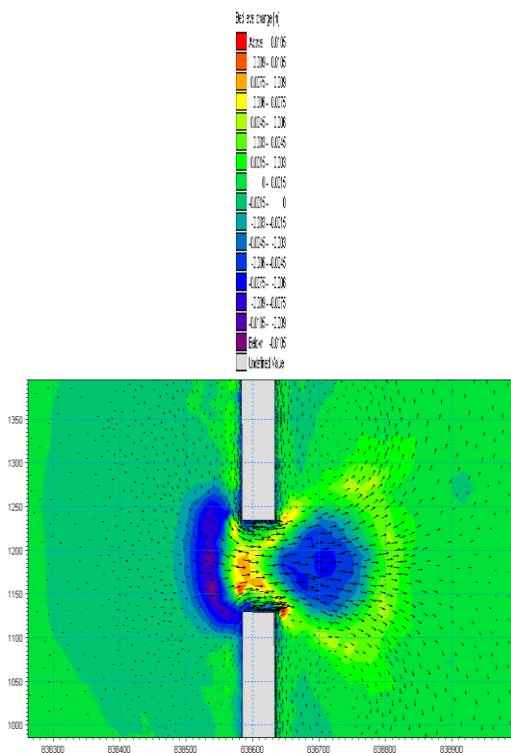


الف - توزیع تغییرات بستر تحت تأثیر جزر و مد تنها
 ب - توزیع تغییرات سرعت و جهت جریان، تحت تأثیر جزر و مد تنها (حالت مد به جزر).

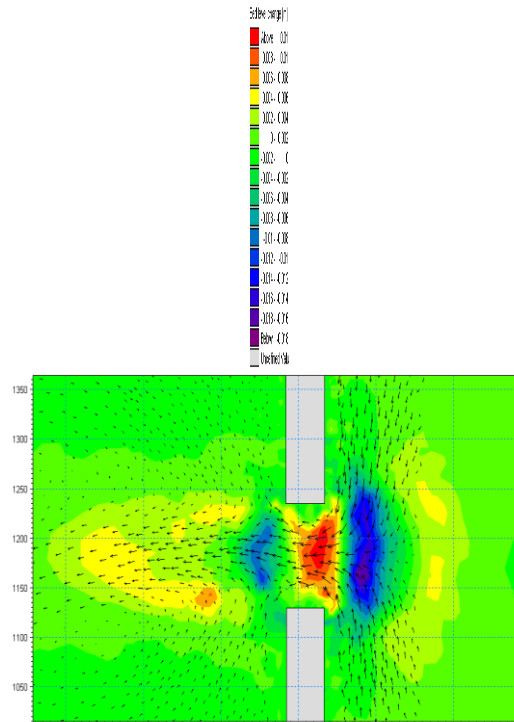


الف- توزیع تغییرات بستر تحت تأثیر موج تنها
 ب- توزیع تغییرات سرعت جریان تحت تأثیر موج تنها
 شکل ۸- توزیع تغییرات بستر و سرعت جریان تحت تأثیر موج تنها با ارتفاع ۱/۵ متر (بردارها جهت و سرعت جریان را نشان می دهند).

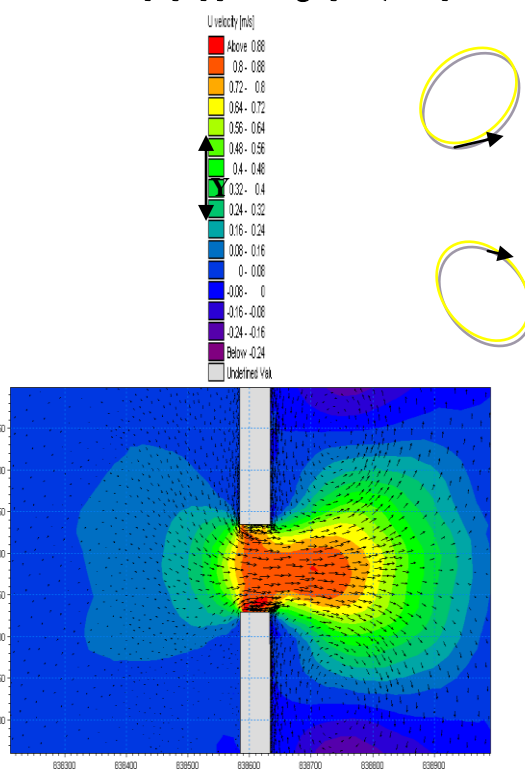
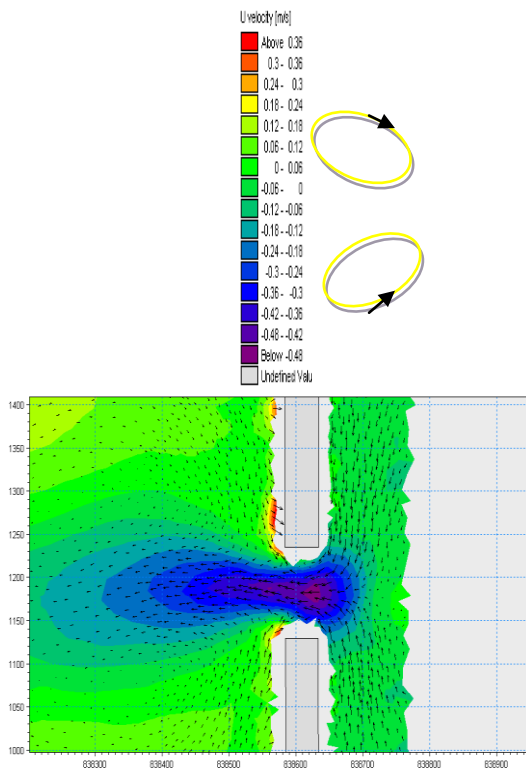


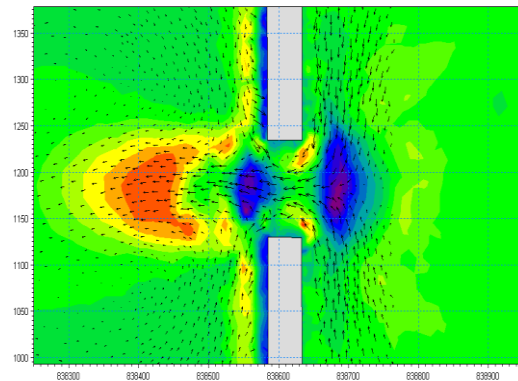
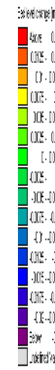
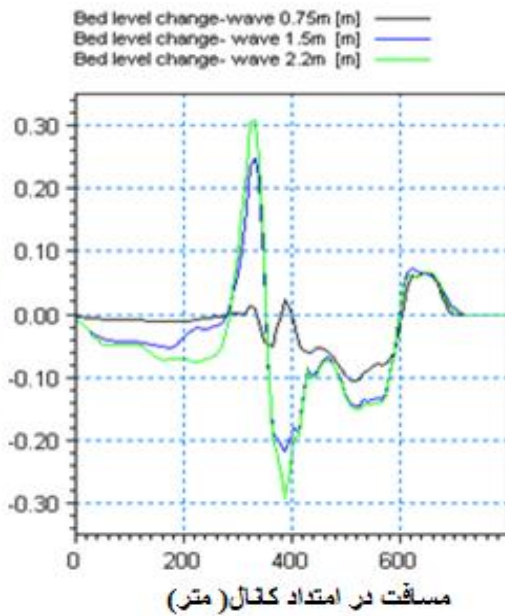
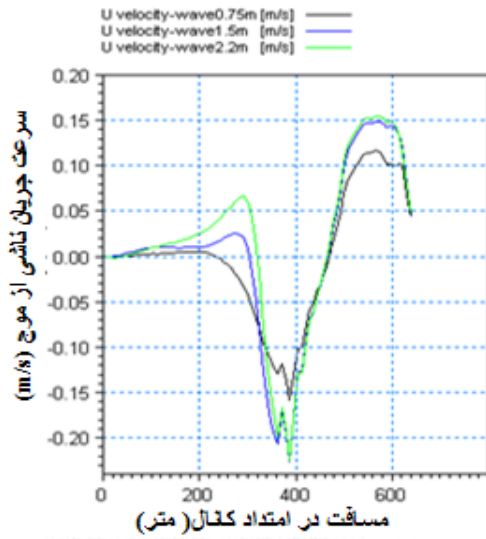


الف- توزیع تغییرات بستر تحت تأثیر موج و جریان
 ب- توزیع سرعت و جهت جریان، تحت تأثیر موج و جزر و مد
 (حالت مد به جزر که تا جزر نیز ادامه دارد اما گردابه ها کوچکتر گردیده سپس حذف می شوند).



ج- توزیع تغییرات بستر تحت تأثیر جزر و مد تنها
 د- توزیع سرعت و جهت جریان، تحت تأثیر جزر و مد تنها
 (حالت جزر به مد)
 شکل ۹- توزیع تغییرات بستر و سرعت جریان تحت تأثیر جزر و مد تنها با ارتفاع ۲/۵ متر و در دو حالت میانه .





ج- توزیع تغییرات بستر تحت تأثیر جزر و مد و موج.

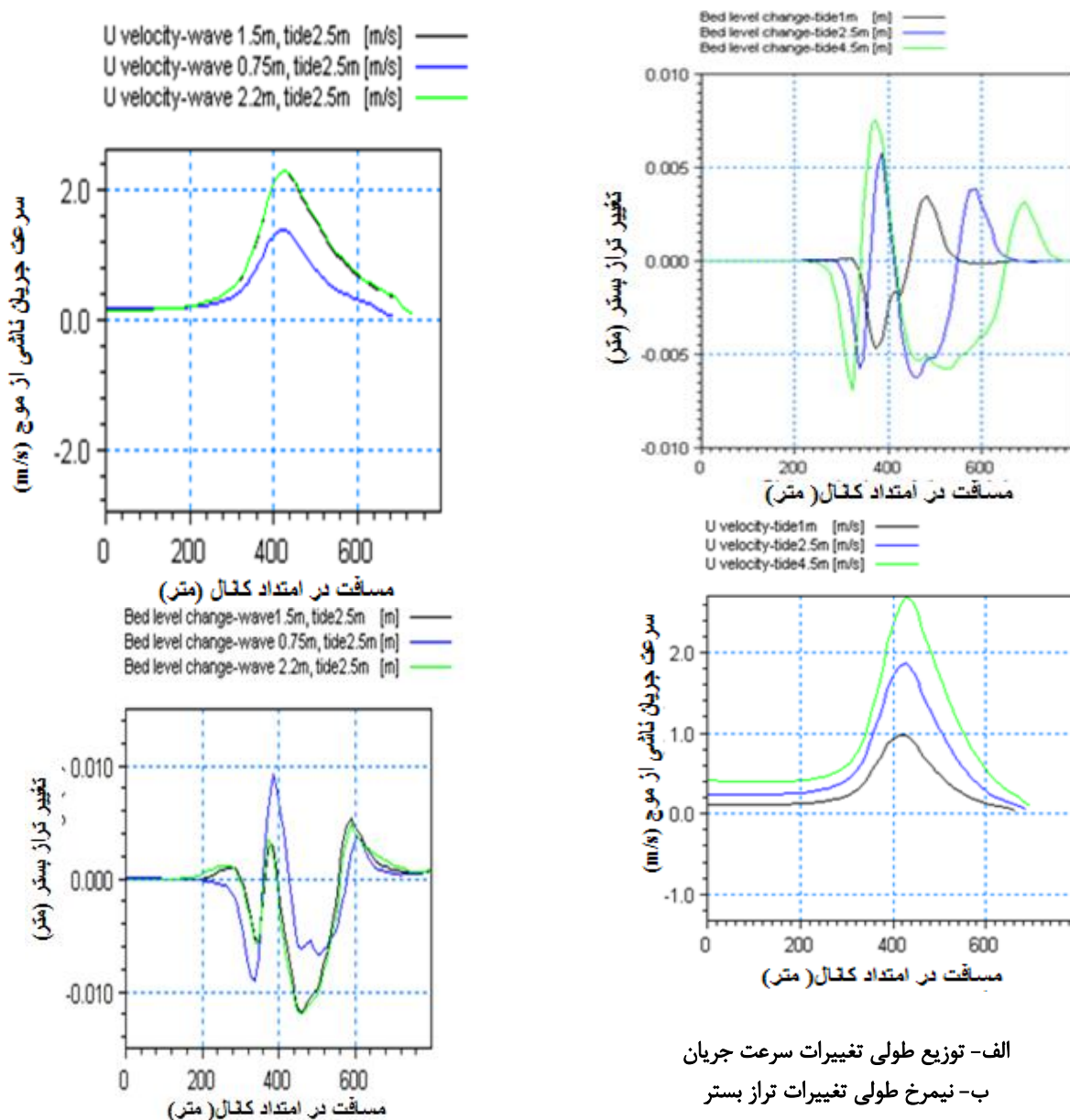
د- توزیع سرعت و جهت جریان، تحت تأثیر جزر و مد و موج (حالت جزر به مد که تا مد نیز ادامه دارد اما گردابه‌ها کوچکتر گردیده، سپس حذف می‌شوند).

شکل ۱۰- توزیع تغییرات بستر و سرعت جریان تحت تأثیر موج با ارتفاع ۱/۵ متر و جزر و مد با ارتفاع ۲/۵ متر در دو حالت میانه

الف- تغییرات سرعت جریان.

ب- نیمرخ تغییرات تراز بستر.

شکل ۱۱- تغییرات سرعت جریان و تغییرات بستر ناشی از موج در مقطع ۱.

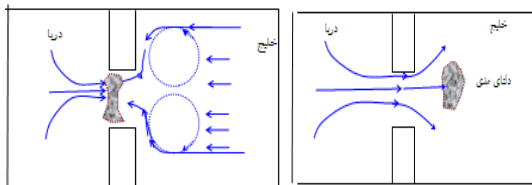


الف- توزیع طولی تغییرات سرعت جریان
 ب- نیمرخ طولی تغییرات تراز بستر
 شکل ۱۲- تغییرات سرعت جریان و تغییرات بستر ناشی از جزر و مد با ارتفاع های مختلف در مقطع ۱.

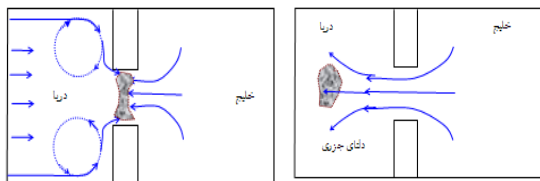
شکل ۱۳- نمونه ای از الگوی جریان و رسوبگذاری جزر و مد با ارتفاع ۲/۵ متر با تناوب ۱۲ ساعت و موج با ارتفاع ۱/۵ متر با تناوب ۸ ثانیه در مقطع ۱.

دریا نسبت به ساحل بیشتر می‌شود. (نقاط ۱، ۲ و ۳ در شکل ۸). با افزایش ارتفاع موج، میزان ارتفاع مصب‌های بالادست و پایین دست مصب افزایش یافته، و قله آنها به سمت آب عمیق پیشروی می‌کند، در حالی که چاله‌ی ایجاد شده در وسط دهانه نیز ژرف تر شده و به سوی آب عمیق متمایل می‌گردد؛ به عبارت ساده تر، فرسایش در وسط آبراهه افزایش می‌یابد. با هجوم امواج مرتفع سرعت جریان ناشی از موج افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش انتقال رسوب و رشد نرخ تراز بستر در مناطق ساحلی (تحت موج عمود بر ساحل) می‌شود Wu, (2011).

ب- بررسی الگوی جریان و رسوبگذاری در مصب تحت اثر جزر و مد را می‌توان در چهار وضعیت مختلف، تشریح کرد.



۱- حالت مد ۲- تبدیل از مد به جزر



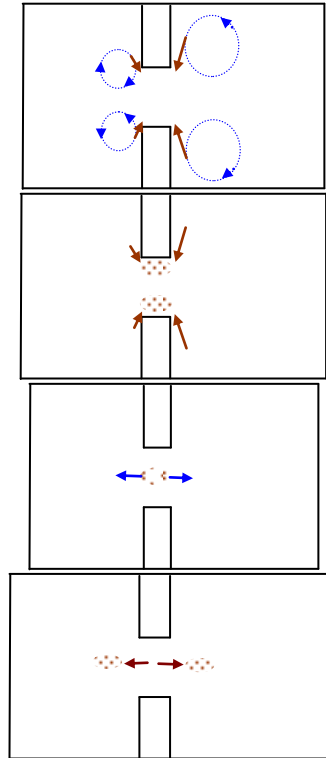
۳- حالت جزر ۴- تبدیل از جزر به مد

شکل ۱۵- الگوی جریان و رسوبگذاری ناشی از جزر و مد تنهادر مصب (کرمی خانیکی و همکاران، ۱۳۹۰)

هنگام مد و در زمان جزر، جریان قبل از رسیدن به دهانه همگرا گردیده و ضمن عبور از آن بر سرعتش افزوده شده، و پس از عبور از دهانه‌ی مصب جریان مجدداً واگرا گشته و به وضعیت قبل از مصب برمی‌گردد (شکل ۱۵). در این مراحل، دهانه دچار فرسایش شده و دلتاهای مدی و جزری در طرفین مصب، شکل می‌گیرند. هنگام تغییر وضعیت از مد به جزر و یا بر عکس، تغییر جهت جریان با فرایند بسیار جالبی همراه است، بطوری که در مرحله‌ی انتقال از مد به جزر، گردابه‌هایی در بالادست دهانه، و در طرفین آن، تشکیل می‌شود، که در حالت جزری نیز ادامه

بحث و نتیجه‌گیری

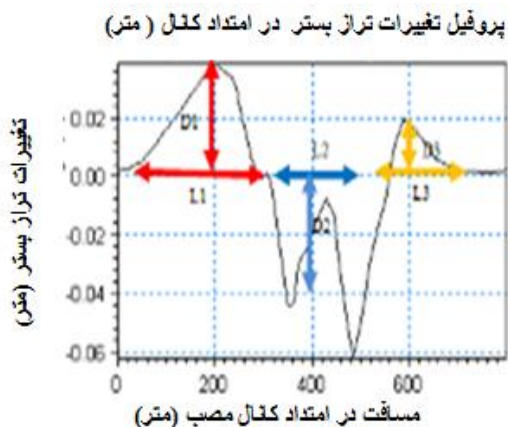
الف- بررسی الگوی جریان و رسوبگذاری تحت اثر موج و تأثیر ارتفاع موج:



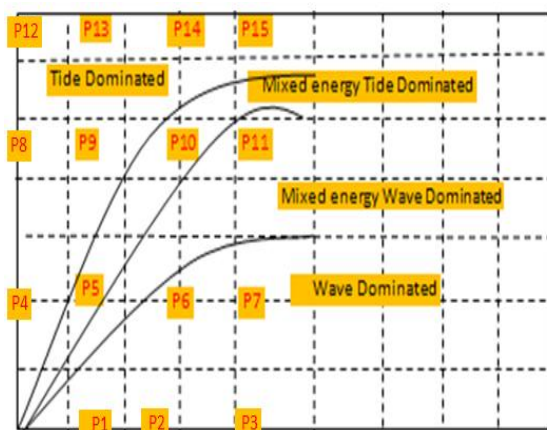
- ۱- انتقال رسوب به کناره‌های دهانه به وسیله‌ی جریانهای گردابی
- ۲- رسوبگذاری در کناره‌های عرضی آبراهه
- ۳- تخلیه‌ی دهانه به بالادست و پایین دست
- ۴- تشکیل مصبهای جزری و مدی

شکل ۱۴- الگوی جریان و انتقال رسوب در مصب تحت اثر عملکرد امواج عمود بر ساحل (کرمی خانیکی و همکاران، ۱۳۹۰).

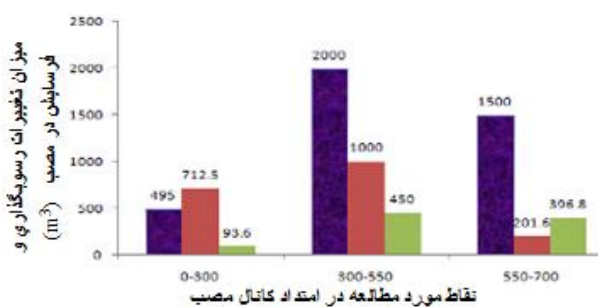
چهار گردابه در دو طرف دهانه‌ی مصب ایجاد می‌شود که منجر به انباشتن رسوب در دیواره‌های عرضی مصب، و فرسایش در قسمت‌های میانی و کم عمقی دهانه آبراهه گردد. گردابه‌ها آب و رسوب قسمت میانی آبراهه را به بالادست و پایین دست مصب منتقل کرده و تشکیل مصب مدی و جزری را می‌دهند (شکل ۹). با افزایش ارتفاع موج، الگوی جریان تغییری نمی‌کند، هر چند سرعت و شعاع گردابه‌ها افزایش می‌یابد. در حین افزایش شعاع گردابه‌ها، نفوذ آنها به داخل دهانه نیز افزایش می‌یابد، این در حالی است که سرعت گردابه‌های سمت



شکل ۱۶، نیمرخ طول فرسایش در دهانه (L_2) و رسوبگذاری قبل از دهانه (L_1) و طول رسوبگذاری بعد از دهانه (L_3) فرسایش در دهانه و ارتفاع رسوبگذاری قبل (D_1) و بعد از دهانه (D_3) و فرسایش در دهانه (D_2) بر حسب متر



شکل ۱۷، تغییرات سرعت و تغییرات بستر ناشی از موج و جریان جزرومدی به صورت توأم (Hayes, 1979)



شکل ۱۸- مقایسه‌ی میزان تغییرات رسوبگذاری قبل $(300-0)$ و بعد از دهانه $(550-700)$ و فرسایش در دهانه $(550-300)$ برای موج تنها (ستون سبز)، جزر و مد تنها (ستون قرمز) و توأم (ستون آبی)

نتایج همانندسازی، الگوی جریان را به صورت دو گردابه در پایین دست مصب در حالت جزری و مدی نشان

دارد. جهت این گردابه‌ها طوری است که رسوب را به داخل مصب هدایت کرده و باعث کم عمقی مصب، بخصوص در کناره‌ها می‌شود (نقاط ۴، ۸ و ۱۲ در شکل ۱۶). رسوبی که در این مرحله در دهانه تجمع می‌کند، پس از تکامل جریان جزری به سمت دریا رانده شده و در سمت دریا، دلتای جزری را تشکیل می‌دهد. هنگام تبدیل وضعیت از جزر به مد، دقیقاً عکس این پدیده اتفاق افتاده و مصب مدی در بالادست دهانه شکل می‌گیرد. افزایش دامنه‌ی جزر و مد تأثیری بر ماهیت این پدیده نگذاشته و تنها شدت آن را تغییر می‌دهد. با افزایش دامنه‌ی جزر و مد، ابعاد عوارض رسوبی در مصب افزایش می‌یابد، هر چند نرخ رشد مصب جزری با مصب مدی متفاوت است (Castelle, et al., 2004).

ج- الگوی جریان و رسوبگذاری تحت اثر جزر و مد و موج به صورت توأم

برای بررسی الگوی جریان ناشی از تأثیر همزمان موج و جزر و مد، تأثیر آن بر رسوبگذاری و فرسایش در مصب، شبیه عددی حوضچه (شکل ۶)، برای ترکیب‌های مختلف موج و جزر و مد (جمعاً ۱۵ ترکیب) مطابق شکل ۱۶ و جدول (۱) اجرا شد. نتایج همانند سازی برای هر یک از ترکیب‌های فوق، در چهار حالت مد، جزر، تبدیل مد به جزر و تبدیل جزر به مد (شکل ۱۸)، اجرا گردید. بررسی الگوی جریان و انتقال رسوب تحت تأثیر موج و جزر و مد در مصبها، میزان رسوبگذاری و فرسایش قبل بعد از آبراهه و در داخل آن که شامل طول فرسایش در دهانه (L_2) و طول رسوبگذاری قبل از دهانه (L_1) و طول رسوبگذاری بعد از دهانه (L_3) و ارتفاع رسوبگذاری قبل (D_1) و بعد از دهانه (D_3) و فرسایش در دهانه (D_2) بر حسب متر، تعیین نموده، سپس، نمودار میزان تغییرات رسوبگذاری و فرسایش، برای سه حالت موج تنها، جزر و مد تنها، و توأم رسم شد. شکل ۱۸ الگوها را در حالت‌های مختلف جزر و مدی به نمایش می‌گذارد.

جزری، و حالت توأم باعث افزایش حجم مصب مدی می‌شود؛ بنابراین، جزر و مد نقش موثری در تغییر عوارض رسوبی در بالادست دهانه و آبراهه را دارد، و امواج تناوب کوتاه و توأم نقش بسزایی را تغییر ریخت‌شناسی و انتقال رسوب در سمت ساحل دارند.

تأثیر فراسنج ارتفاع موج در انتقال رسوب و تغییر میزان رسوبگذاری و فرسایش بسیار حائز اهمیت است؛ به همین منظور، الگوی جریان و رسوبگذاری تحت اثر جزر و مد و موج به صورت توأم، بر اساس این فراسنج یعنی ارتفاع موج، (نقاط ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۳ و ۱۵ در شکل ۱۷)، را می‌توان در سه گروه مختلف به شکل زیر بیان کرد:

۱- در نقاط ۵، ۶، ۷ و ۱۱، که اندازه‌ی دامنه‌ی جزر و مد کم، و میزان ارتفاع موج نسبتاً زیاد است، عملکرد توأم موج و جزر و مد، تقریباً مشابه الگوی موج تنها (شکل ۱۴) می‌باشد. این حالت را اصطلاحاً حالت موج غالب (wave dominated) می‌نامیم. در این حالت عموماً چهار گردابه در طرفین مصب تشکیل گردیده و در بالادست و پایین دست و طرفین آبراهه، مصب کم عمقی داریم.

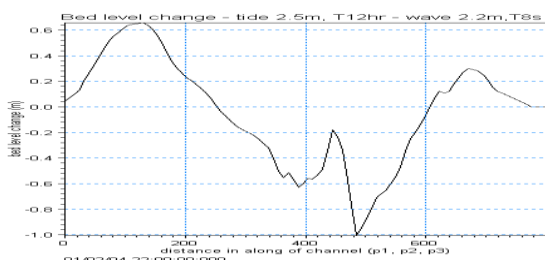
۲- در نقاط ۱۳، ۱۴ و ۱۵، که میزان دامنه‌ی جزر و مد زیاد و اندازه‌ی ارتفاع موج نسبتاً کم (امواج کوتاه که ارتفاع آن از ۱.۵ متر کم تر است) است، عملکرد توأم موج و جزر و مد، تقریباً مشابه الگوی جزر و مد تنها (شکل ۱۵) می‌باشد. این حالت را اصطلاحاً حالت کشند غالب (Tide dominated) می‌نامیم. در این حالت عموماً دو گردابه در طرفین مصب بسته به وضعیت کشند تشکیل می‌شود؛ که به نوبه خود باعث ایجاد کم عمقی سمت ساحل در حالت مد (سیل کم ژرفا) و کم عمقی سمت دریا در حالت جزر (گردابه کم ژرفا) می‌گردد.

۳- در نقاط ۹ و ۱۰، که دامنه‌ی جزر و مد و ارتفاع موج حالت متعادلی دارند (هیچ کدام غالب نیستند)، عملکرد توأم موج و جزر و مد، با هر یک از الگوهای ۱۴ و ۱۵ فوق متفاوت خواهد بود. این حالت را اصطلاحاً حالت مختلط یا اختلاطی (Mixed Energy) می‌نامیم.

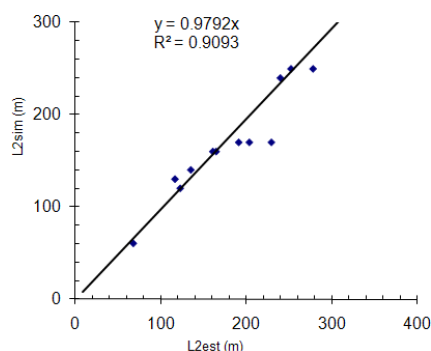
می‌دهد. این گردابه‌ها در مقایسه با گردابه‌های ایجاد شده در حالت جریان تنها، کوچکتر و دورتر می‌باشند. این نتایج با نتایج Wu, 2011 مطابقت دارند. عملکرد رسوبی نشان می‌دهد که با هجوم امواج به طرف آبراهه، در نزدیک دهانه‌ی ورودی، روی ناحیه‌ی گرداب کم ژرفا، شکسته شده و مواد بالادست را حرکت می‌دهد و پس از فرسایش آبراهه، ته‌نشستها را در نزدیک ساحل انباشته می‌کند، که با گذشت زمان و با شکست مجدد موج در نزدیک ساحل، حجم رسوبها را در ناحیه‌ی پایین دست دهانه (flood shoal) افزایش می‌دهد. اما در این میان، جریانهای جزر و مدی، هنگام تبدیل مد به جزر، ریخت‌شناسی دهانه‌ی ورودی مصب را تغییر می‌دهند، به این ترتیب که رسوبهای پایین دست را در ناحیه گرداب کم ژرفا انباشته می‌کنند و حجم آن را افزایش می‌دهند. (نقاط ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۲۳، ۱۴، ۱۵). با شکست امواج بعدی در دهانه‌ی مصب (روی مصب جزری) رسوب‌ها، حرکت داده شده، به طرف داخل آبراهه هدایت گردیده، و باعث مسطح شدن و کاهش ارتفاع مصب جزری می‌شوند. در حالت جزری و مدی، این ته‌نشستها به طرفین دهانه هدایت می‌شوند (شکل ۱۲). ذکر این نکته حائز اهمیت است که در این میان، میزان فرسایش در دهانه با حجم رسوبهای ته نشین شده در دو طرف دهانه برای هر سه حالت یکسان است؛ به عبارت دیگر، انتقال رسوب خالص تحت نیروی ثابت، صفر است. این در حالی است که انتقال رسوب همچنان وجود دارد (نمودار ۱۸)؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند انتقال رسوب فعال بوده و با شبیه سازی موج، جریان و انتقال رسوب، به صورت توأم، ریخت‌شناسی مصب به گونه‌ای تغییر می‌کند که پس از گذشتن زمان طولانی، به حالت تعادل می‌رسد که در این صورت، مصب، مطلوب خواهد بود. این موضوع با نتایج حاصل از تحقیقات ارتش آمریکا که در سال ۲۰۰۲ فرایند فرسایش مصبها را مورد مطالعه قرار دادند، مطابقت دارد.

با مقایسه‌ی نمودارهای جزر و مد تنها، موج تنها و توأم، و با توجه به شکل ۱۲ می‌توان گفت که فرسایش در دهانه‌ی مربوط به حالت موج تنها از فرسایش ناشی از حالت توأم کمتر است (Militello., 2003). این در حالی است که عامل جزر و مد باعث افزایش حجم مصب

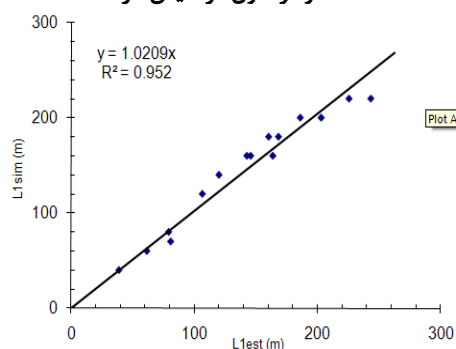
فرسایش در مصب، بر حسب متر، می‌باشند. شکل ۱۷، نمونه‌ای از تغییرات بستر ناشی از جزر و مد با ارتفاع ۲/۵ متر و موج با ارتفاع ۲/۲ متر است که نیمرخ آن در امتداد آبراهه رسم شده است. شکل‌های ۱۸، ۱۹ و ۲۰ نمودار مقادیر تخمینی و نتایج حاصل از همانند سازی را مقایسه می‌کنند. معادلات هر یک از مقادیر عوارض رسوبی در زیر نمودارها آمده است.



شکل ۲۰ - نیمرخ تغییرات رسوبگذاری و فرسایش در امتداد آبراهه (خطوط سیاه، محدوده نهر را نشان می‌دهد).



الف- نمودار طول فرسایش در دهانه

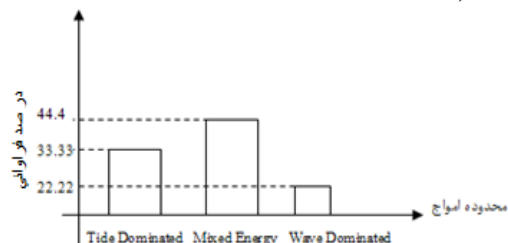


ب- نمودار طول رسوبگذاری قبل از دهانه

بنابر نتایج این تحقیق، چهار محدوده مختلف از نظر مقادیر نسبی ارتفاع موج و دامنه جزر و مد می‌توان تعریف نمود که عبارتند از:

$$\begin{aligned} H_w/H_t > 1.5 & \text{ wave dominated} \\ 1 < H_w/H_t < 1.5 & \text{ mixed energy (Tide Dominated)} \\ H_w/H_t > 0.5 & \text{ mixed energy (Wave Dominated)} \\ H_w/H_t < 0.5 & \text{ Tide dominated} \end{aligned}$$

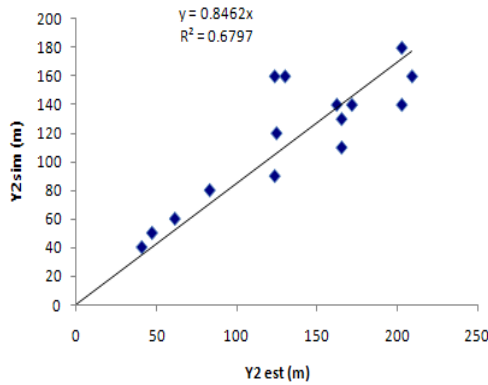
ارتفاع جزر و مد بر حسب متر است. محدوده‌ی جزر و مد غالب، موج غالب، کارمایه توأم (موج غالب) ارتفاع موج و H_w, H_t در روابط بالا و کارمایه توأم (جزر و مد غالب) برای ۱۵ نقطه در نمودار ۱۹ نشان داده شده‌اند. با توجه به این شکل، بیشترین فراوانی مربوط به حالت جزر و مد غالب، و سپس موج غالب، پس از آن حالت مختلط - جزر و مد غالب، و در نهایت مختلط - موج غالب خواهد بود. درصد فراوانی امواج در نمودار فراوانی (نمودار ستونی) شکل (۱۹) آورده شده است (Castelle et al., 2004).



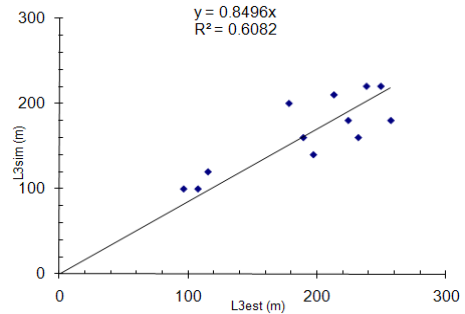
شکل ۱۹- نمودار فراوانی محدوده‌ی امواج

محاسبه‌ی عوارض رسوبی ناشی اثر موج و جزر و مد به صورت توأم

همان طوری که در قسمت قبل دیدیم، مشخصه‌های امواج (ارتفاع و تناوب بخصوص ارتفاع) نقش مؤثری را در تغییر عوارض رسوبی در دارند. برای بررسی این عوامل، تغییرات بستر حاصل از همانند سازی را برای ۱۵ نقطه محاسبه کرده و پس از آن، معادلات عوارض رسوبی را بر حسب این دو فراسنج با استفاده از نرم افزار به‌دست آوردیم. در نهایت، نمودار هر یک را در امتداد آبراهه رسم کردیم. این نمودارها شامل L, D (در شکل ۱۷) و Y (در شکل ۱۲) به ترتیب، طول، ارتفاع و عرض رسوبگذاری و

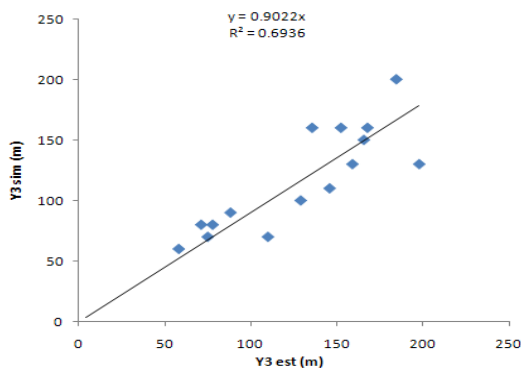


ب- نمودار رسوبگذاری قبل از دهانه.



ج- نمودار طول رسوبگذاری بعد از دهانه.

شکل ۲۱- نمودار طول رسوبگذاری و فرسایش در مصب.



ج - نمودار عرض رسوبگذاری بعد از دهانه

شکل ۲۲- نمودار عرض رسوبگذاری و فرسایش در مصب.

(۴)

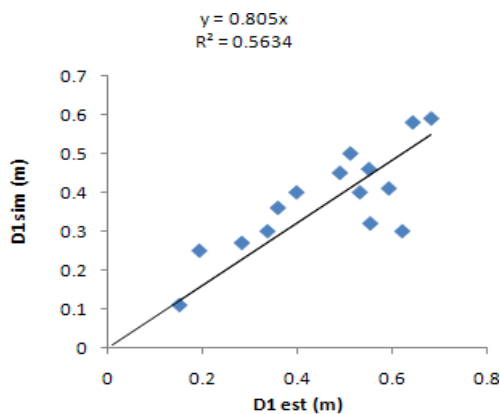
$$Y_1 est = Y_1 tide + Y_1 wave = 1.093H_t^{-0.045} \times T_t^{0.538} + 6.488H_w^{0.656} \times T_w^{0.955}$$

(۵)

$$Y_2 est = Y_2 tide + Y_2 wave = 0.392H_t^{-0.446} \times T_t^{0.654} + 5.186H_w^{-0.384} \times T_w^{1.135}$$

(۶)

$$Y_3 est = Y_3 tide + Y_3 wave = 0.393H_t^{0.029} \times T_t^{0.699} + 14.012H_w^{0.605} \times T_w^{0.9}$$



الف- نمودار ارتفاع رسوبگذاری قبل از دهانه.

(۱)

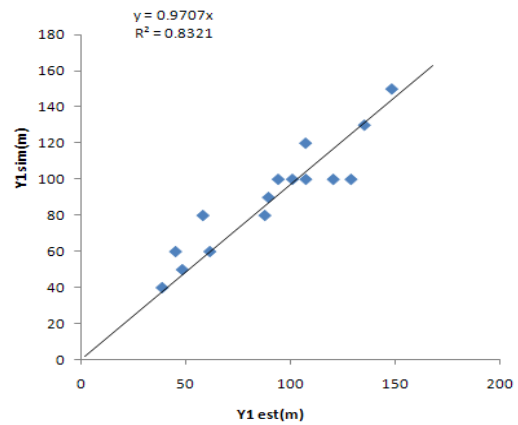
$$L_1 est = L_1 tide + L_1 wave = 0.968H_t^{-0.314} \times T_t^{0.625} + 6.488H_w^{0.656} \times T_w^{0.955}$$

(۲)

$$L_2 est = L_2 tide + L_2 wave = 0.922H_t^{0.586} \times T_t^{0.526} + 1.01H_w^{-0.183} \times T_w^{0.619}$$

(۳)

$$L_3 est = L_3 tide + L_3 wave = 0.951H_t^{0.119} \times T_t^{0.654} + 14.318H_w^{0.512} \times T_w^{0.909}$$



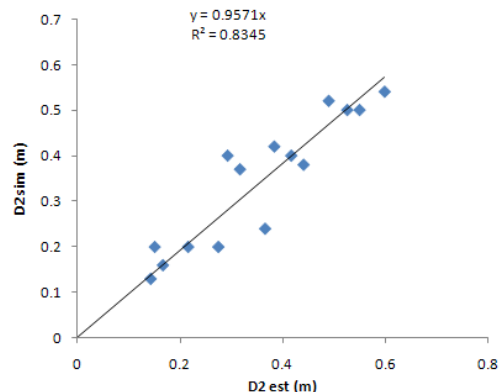
الف - نمودار عرض فرسایش در دهانه.

رسوبگذاری و فرسایش با مقادیر شبیه سازی مطابقت دارند.

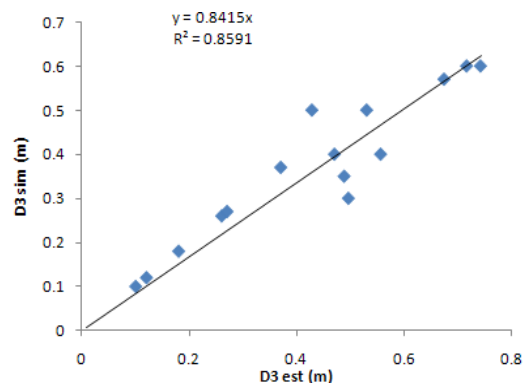
با توجه به مطالب یاد شده در بالا، می توان گفت که به علت پیچیده بودن الگوی جریان و رسوبگذاری در حالت توأم، برای محاسبه ی عوارض رسوبی در مصب، ابتدا هر یک را بطور جداگانه، تحت موج تنها و جزر و مد تنها، تعیین کرده، سپس مجموع مقادیر را محاسبه می نماییم. مقادیر به دست آمده با مقادیر در حالت توأم، یکسانند. لازم به ذکر است که با توجه به ضرایب وایازی، مقادیر توأم و حالت تنها با خطا همراهند. پیش بینی می شود که جمله های غیر خطی، و عواملی نظیر بر همکنش موج و جریان، و همچنین جزر و مد، جریانهای برگشتی از ساحل یا زبانه های سدی، جریان امواج بازگشتی، شکست موج در منطقه ی خیزاب ساحلی نقش موثری را در این باره داشته باشد، که باید در نظر گرفته شده، و در نهایت محاسبه و در روابط لحاظ گردد، که در این جا در نظر گرفته نشد.

منابع

۱. کرمی خانیکی، ع، م. سادات کیایی و ع. علی اکبری بیدختی، ع، ۱۳۹۰، بررسی الگوی جریان و انتقال رسوب در مصبها تحت اثر امواج عمود بر ساحل با استفاده از یک شبیه عددی، دوازدهمین همایش صنایع دریایی بین المللی ایران، کیش.
2. Castle B., Bourge, J., Molnar, Strauss, N. D., Deschamps, S. and Tomlinson, R. 2004. Dynamics of a wave-dominated tidal inlet and influence on adjacent beaches, Currumbin Creek, Gold Coast, Australia, Coastal Engineering 54 (2004) 77-90.
3. Cayocca, F. 2001, Long-term morphological modeling of a tidal inlet: The arcachon basin, France, Coastal Eng 42: 115-142.
4. Chen J. L., Hsu, T., and Fachin Shi. 2012. Numerical modeling of hydrodynamics and sediment transport of New River Inlet (NC) using Near COM-TVD, Center for Applied Coastal Research, Civil & Environmental Engineering University of Delaware, and Newark, DE 19716, USA.



ب- نمودار ارتفاع فرسایش در دهانه.



ج- نمودار ارتفاع رسوبگذاری بعد از دهانه.

شکل ۲۳- نمودار ارتفاع رسوبگذاری و فرسایش در مصب.

(۷)

$$D_1 \text{ est} = D_1 \text{ tide} + D_1 \text{ wave} = 0.203H_t^{-0.414} \times T_t^{0.041} + 0.261H_w^{0.267} \times T_w^{0.103}$$

(۸)

$$D_2 \text{ est} = D_2 \text{ tide} + D_2 \text{ wave} = 0.139H_t^{0.243} \times T_t^{0.07} + 0.261H_w^{0.294} \times T_w^{0.294}$$

معادلات نشان می دهند که با کاهش ارتفاع موج و جزر و مد، تنها، حالت توأم حجم مصب جزری کاهش خواهد یافت. همچنین، با افزایش ارتفاع، طول و عرض فرسایش در دهانه کاستی خواهد پذیرفت. در سمت ساحل، افزایش ارتفاع موج، موجب کاهش طول رسوبگذاری، و افزایش ارتفاع و عرض رسوبگذاری می شود. بنابراین، هجوم امواج مرتفع باعث کاهش حجم مصب جزری و افزایش فرسایش در آبراهه می گردد. همچنین، تغییر ارتفاع امواج موجب تغییر عوارض رسوبی در مصب خواهد شد، به گونه ای که در هر حالت، میزان فرسایش در آبراهه، با رسوبگذاری در طرفین دهانه یکسان می باشد. علاوه بر آن، نمودارها نشان می دهند که مقادیر تخمینی

14. Sorensen, O. R., Hansen, H. K. and Oliver, J. P. 2006. Numerical modeling of wave-current interaction in tidal areas using an unstructured finite volume technique. Proc. 30 th Int Conf Coastal Eng 2006, San Diego, California, USA. 1: 653-665.
15. US Army Corps of Engineers, 2001. Coastal Engineering Manual.
16. Warner, J. C., C. R., Sherwood, R.P., Signell, C., Harris, and H.G., Arango, 2008. Development of a three-dimensional, regional, coupled wave, current, and sediment-transport model. Comput. Geosci, 34: 1284-1306.
17. Wu L., Changsheng, C., Peifang, G., Maochong, S., Jianhua, Q.I. and Jianzhong, G.E. 2011. A FVCOM-Based unstructured grid wave, current, sediment. *J. Ocean Univ. China* (Oceanic and Coastal Sea Research). Transport Model, I. Model Description and Validation. 1:1212-124
5. Davis, R.A., and Hayes, M.O. 1979. What is a wave-dominated coast? Mar. Geol. 60: 313 329.
6. DHI. 2007. Mike21's User Manual; Danish Hydraulics Institute, Denmark.
7. Ding Y., Wang Sam, S.Y. 2010, Modeling of wave- current interaction using a multi directional wave action balance equations. Coastal.67:, 145-158.
8. Fiechter J., Kelly, L., Christopher, S., Mooers, N.K. and Kraus, B. 2006. Hydrodynamics and sediment transport in a Florida tidal inlet. Estuarine, Coastal and Shelf Sci 70:, 297-304
9. FitzGerald, D. M., Kraus, N.C., and Hands, E. B. 2001. "Natural mechanisms of sediment bypassing at tidal inlets," ERDC/CHL CHETN-IV-30, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
10. Grant, W. D., and Madsen, O. S. 1979. Combined wave and current interaction with a rough bottom. J. Geophys. Res. 84 (C4): 1797-1808.
11. Hayes, M.O. 1979. Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. p. 1-28 In: S.P. Leatherman, S.P. (ed.), Barrier Islands, from the Gulf of St Lawrence to the Gulf of Mexico. Academic Press, N.Y.
12. Militello, A. C., Kraus, N. N. 2003 "Numerical simulation of sediment pathways at an Idealized Inlet and ebb shoal" Proc Coastal Sediments 03.CD –ROM published by World Scientific Publishing Crop , and East Meets West Productions. Corpus Christi ,Texas, USA.ISBN 981-238-422-7.
13. Morris B D., Davidson, M. A. and Huntley, D. A. 2001, Estimates of the seasonal morphological evolution of the Barra Nova Inlet using video techniques. Continental Shelf Research 263–278.

