پژوهش های آبخیزداری شماره ۱۰۴، پاییز ۱۳۹۳
(پژوهش و سازندگی)

بررسی رسوبگذاری و فرسایش درمصب‌ها تحت اثر توام جزرومد و امواج عمود بر ساحل با استفاده از مدل سازی عددی

• منیره سادات کیایی
دکترای فیزیک دریا، دانشگاه تربیت مدرس، پردیس منابع طبیعی نور، واحد بین الملل (نویسنده مسئول)
• علی کرمی خانیکی
عضو هیأت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: خرداد ماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۹۱

Email: nahid_sadatkiaee@yahoo.com

چکیده

مصب ها عناصری تاثیرگذار بر کنترل حرکات رسوب و توزیع آن در سواحل می‌باشند. لذا، شناسایی عوامل مؤثر بر هیدرودینامیک مصب‌ها که بعنوان فرآیندهای انتقال و از عوامل مهم در تعیین هندســـه و شکل سواحل و مصب‌ها محسوب می‌شوند، بسیار حائز اهمیت اند. موج و جزر و مد از عوامل اصلی شـــکل دهنده مصب ها هستند. شکست موج در آب های کم عمق دهانه مصب موجب شـــکل گیری جریان های کرانه‌ای و انتقال رسوب در این ناحیه می‌گردد.همچنین جزر و مد نقش مهمی در تغییر مورفولوژی مصب دارد. در این تحقیق در نظر اســـت که نقش هر دو عامل را بصورت توام، بر روی عوارض رسوبی در مصب، مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور، یک حوضچه ســـاحلی که از طریق یک مصب به دریای باز متصل می‌شود، در محیط نرم افزار مایک ۲۱، همانندسازی شده اســـت. در این مدل، از یک شبکه مثلثی ساختارنیافته، با ابعاد ۱۰ تا ۵۰ متری، در یک مدل تفاضل محدود باگام زمانی۱ ثانیه استفاده شده اســـت، به طور همزمان، موج و جزر و مد با ارتفاع مختلف، به طرف دهانه فرستاده می‌شود. الگوی جریان نشان می دهد که با شبیه‌سازی موج، جریان و انتقال رســـوب، به صورت توام، مورفولوژی مصب به گونه‌ای تغییر می‌کند که پس از گذشت زمان، به حالت تعادل می‌رســـد که در اینصورت، مصب، ایده‌آل خواهد بود. علاوه بر ان،به وسیله شاخص بدون بعد H_w/H_tپارامتر غالب در مصب را می‌توان تعیین نمود.

کلمات کلیدی: مصب، موج و جزر و مد، رسوبگذاری، فرسایش، مایک ۲۱/۳.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 104 pp: 62-74

The survey of sedimentation and erosion of ideal tidal inlets affected by both tide and cross-shore waves by numerical modeling

By: M. Sadat kiaei: PhD of physical oceanography, Marine Physics, Tarbiat Modares University (TMU), Faculty of Natural Resources & Marine Science (Corresponding Author). A. Karami Khaniki: Soil conservation and watershed management Research institute.

Inlets play an important role in controlling sediment movement and its distribution in coastal areas. Therefore, recognizing effective factors in the hydro-dynamicity of inlets known as transmission process and determining the geometry and formation of inlets are of paramount importance. The undulations of water and tidal waves are among the major factors shaping an inlet. Breaking of wave in shallow water in the mouth of inlets causes the formation of long shore current and sand transport in this area. Also tidal currents and waves play an important role in the change of morphology of both sides of inlets. The purpose of this study is to find out how these two factors can interactively affect the sediment. To this end, a coastal basin that is connected to the open sea through a mouth is simulated in Mike 21/3 software. For this simulation, a 10*50 meter un-structured triangular flexible mesh in a finite difference model at one second intervals was used; undulations and tidal waves were sent to the mouth of the inlet at varying heights. Simultaneously simulation results show that by simulation of flow and sedimentation patterns interactively change the morphology of the inlet so that with the passage of time it reaches equilibrium; hence, there would be an ideal inlet. Also, by means of characteristic non-dimension H_w/H_t, the dominated parameter can be determined in the inlet.

Keywords: Inlet, Wave and tidal current, Sedimentation, Erosion, Mike 21/3.

مقدمه

دخالت‌های انسان در اکوسیستم‌های طبیعی کاهش تنوع و غنا گونهمصب ها به عنوان محل اتصال آبراهه‌ها و خلیج‌ها به دریای آزاد نقش مهمی در بهره برداری از منابع دریایی ایفا می‌کنند. مصب ها معمولا به عنوان یکی از مهم ترین معبرهای دریایی مورد استفاده شناورهای صیادی، تفریحی و تجاری قرار می‌گیرند. در اینگونه موارد وجود یک معبر عریض، عمیق و پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است. تداخل دائمی جریان ها و امواج در مصب ها تاثیرات نامطلوبی بر مورفولوژی مصبها دارند. انباشت رسوب در دهانه مصب باعث ایجاد کم عمقی و مشکل در تردد شناورها می‌گردد. از اینرو در اکثر موارد برای پایداری مصب نیاز به لایروبی دوره‌ای آن و یا استفاده از سازه‌های محافظ نظیر جتی‌ها می‌باشد. شناخت دقیق فرآیندهای رسوبی در مصب ها نه تنها به استفاده بهینه از این گذرگاه‌های حیاتی کمک می‌کند، بلکه هزینه نگهداری آنها و نیز هزینه پروژه‌های حفاظتی را به شدت پایین می‌آورد. شناسایی عوامل مؤثر بر هیدرودینامیک مصب‌ها که به عنوان فرآیندهای انتقال می‌باشند. از عوامل مهم و تأثیرگذار در تعیین هندسه و شکل سواحل و مصب‌ها محسوب می‌شوند. از جمله این عوامل می‌توان اثر امواج و جزر و مد جریان های دریایی اشاره کرد. در محل اتصال رودخانه به دریا و در دهانه‌هایی که جریان ورودی به دریا وجود دارند، تداخل آب ورودی با جریان‌های کرانه‌ای سبب رسوب گذاری در دهانه و کم عمق شدن آن منطقه می‌گردد، که این امر، مشکلاتی برای تردد شناورها در کانال‌های ورودی به وجود می‌آورد. برای جلوگیری از شکل گیری و ایجاد این پدیده‌ها، شناسایی مشخصه‌های امواج و جریان های دریایی ناشی از باد،موج و جزر و مد و همچنین اثر متقابل آنها در انتقال رسوب بسیار حائز اهمیت است. بنابراین، ضروری است تا از طریق مدل سازی فرایندهای انتقال، آثار تغییرات ناشی از این پدیده، محقق و شناسایی گردد. نتیجه این تحقیق می‌تواند بطور مستقیم توسط مهندسین و محققین برای طراحی سازه‌های ساحلی مورد استفاده قرار گیرد.پیچیدگی جریان در مصب، باعث پیچیده شدن الگوی رسوبگذاری و فرسایش نیز می‌گردد. دو عارضه رسوبی مهم که در مصب ها دیده می‌شود که عبارتند از : دلتای رسوب برگشتی(Ebb shoal) و دلتای ناشی از جریان مدی(Flood shoal). این عارضه‌ها تابع متغیرهای مختلف از جمله: دامنه جزر و مد، ارتفاع امواج، جریانات کرانه‌ای ناشی از موج و دانه بندی رسوبات می‌باشد. از نظر تاثیر جزر و مد، مصبها را می‌توان به سه گروه اصلی tidal- micro (دامنه جزر و مد بین ۰ تا ۲ متر)، meso-tidal (دامنه جزر و مد بین ۲ تا ۴ متر) و macro-tidal (دامنه جزر و مد بین ۴ تا ۶ متر) تقسیم نمود. مشخصات امواج در ساحل، شامل ارتفاع و جهت موج نیز تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عوارض رسوبی در دلتاها دارد. این تاثیر از دو جهت قابل بررسی است. از یک طرف تداخل موج و جریانات جزر و مدی، بر شکل عارضه‌ها تاثیر گذار است، از طرف دیگر، جریان های کرانه‌ای ناشی از موج باعث تغییر شکل این عارضه‌ها می‌شود. محققین مختلفی در این راستا مطالعات و تحقیقات را انجام داده اند که برخی از آن ها به قرار زیر اند:

ارتش آمریکا، فرآیند فرسایش داخلی مصب ها را مورد بررسی قراردادند. بنابراین تحقیق، عامل اصلی فرسایش، امواج پریود کوتاه به همراه جریان جزرومدی است. دراین تحقیق، از مدل فیزیکی برای شرایط مختلف: موج تنها، جزرومد همراه با موج و تغییر تراز آب استفاده می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهدکه میزان فرسایش درحالت موج تنها نسبت به اثر توام جزرومد و موج، کمتر می‌باشد(US Army, 2001) .

میتلو۲ و همکاران، نسبت به مدلسازی یک مصب ۱۵km و ۵ km و عمق ۵m اقدام نمودند. برای مدل‌سازی این منطقه ساحلی ابعاد حوضچه ۵km× ۱/۵km درنظرگرفته شد. ابعاد مصب،خلیج وکانال تقریبا همان ابعاد مصب Shineock درنیویورک، می‌باشد. شبیه‌سازی برای موج و جزرومدبه تنهایی وحالت توأم با استفاده از مدلST WAVE(2D) انجام شده است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که امواج، رسوبات را درمقابل قسمت بالادست جتی ته نشین نموده و بستررا درنزدیک ساحل،درلبه‌های پایین دست فرسایش می‌دهند.همچنین شکست امواج،برروی ناحیه‌ی Ebb shoal مواد بالادست راحرکت دادهواین ناحیه را با فرسایش تپه‌ها و مواد ته نشین شده مسطح می کند.برای شرایط واداشت، امواج غالب می‌باشدو جریان های جزرومدی، با تغییر جهت جریان های روزانه‌ی مدی،مورفولوژی ورودی مصب وکناره‌های بالادست Ebb shoal را تغییر می‌دهد. بنابراین،شبیه‌سازی موج وجریان جزرومدی وانتقال رسوب،به صورت توأم،یک مصب ایده‌آل را می‌سازد(Martello, 2003)

موریس۴ و همکارانش در سال ۲۰۰۱ به اندازه گیری کیفی و کمی مورفولوژی مصب Barranova در پرتقال تحت تاثیر جزر و مد و موج با استفاده از عکس‌برداری که در طی ۷ ماه انجامید، اقدام نمودند. نتایج تحت تاثیر پارامترهای مزوتایدال، حالت مختلط، امواج و تغییر تراز آب ناشی از جزر و مدبه دست آمد. آنها دریافتند که وقتی طوفان وجود دارد، زبانه‌های سدی در غرب و کناره‌های پایین دست مصب، فرسایش می‌یابند و اهنگ فرسایش آن ۳ متر در روز می‌باشد. این در حالی است که متوسط فرسایش در روز برای حالت توام، ۰,۴۷ متر در روز است که تقریبا ۸۰ درصد فرسایش آن ناشی از طوفان است. در هنگام فرسایش پهنای مصب در مدت ۷ ماه، ۶۰ متر افزایش می‌یابد. موقعیت و مکان مصب مستقیما به شرایط موج مربوط است. موقعیت کانال در جهت جنوب شرقی به طرفIlhada Barreta به اندازه ۷۵ متر (۰,۳۵ متر در روز) با تغییر جهت جریان کرانه‌ای تغییر می‌کند. این منطقه تحت اثر موج کوچک و جریانات جزر و مدی (نیروهای غالب در منطقه) که از جنوب شرقی می‌آیند، به صورت پایدار باقی می‌مانند(Moriss, 2001).

لین چن۶ و همکارانش در سال ۲۰۱۲الگوی جریان و رسوب گذاری تحت اثر جزر و مد تنها، موج تنها و حالت توام،برای دو نوع مصب ایده‌آل و طبیعی با استفاده از مدل عددی NearCoM-TVD را مورد بررسی قرار دادند. الگوی جریان و رسوبگذاری نشان داد که، در حالت جزر و مد تنها، برای مصب ایده‌آل و هم مصب طبیعی، دوگردابه (vortices) در طرفین کانال بوجود می‌آید.همچنین،در حالت موج تنها، ناپایداری بستر فقط در مصب طبیعی اتفاق می‌افتد و در حالت توام، دو گردابه با تاوایی معکوس،در نزدیک کانال برای مصب طبیعی و ایده‌آل مشاهده کردند(Chen, 2012).

در این تحقیق ضمن بررسی مطالعات سایر محققین، اثر موج و جریان جزر و مدی بر روی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در مصب را با استفاده از نرم افزار Mike 21.3 مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور یک کانال جزر و مدی که از یک طرف به یک حوضچه و از طرف دیگر به دریا مشرف است،جهت مطالعه الگوی فرسایش و رسوبگذاری تحت جریان جزر و مدی و امواج عمود بر ساحل، مدل می‌شود.

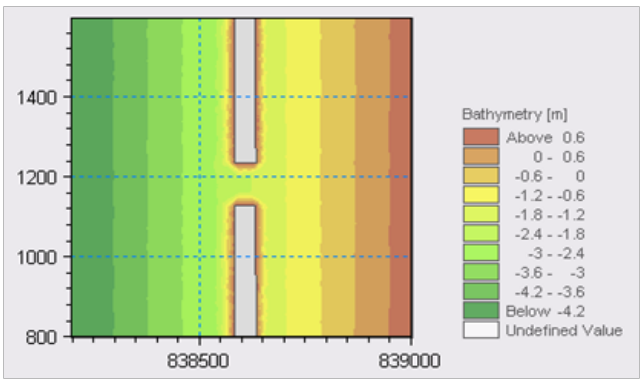
مواد و روش ها

مدل عددی مورد استفاده: برای دستیابی به اهداف تحقیق از نرمافزار مدلسازی Mike 21 که توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک با همکاری انستیتو کیفیت آب۳ پایهریزی و توسعه یافته، استفاده شده است. این نرمافزار از قابلیتهای محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینهٔ مدل کردن فرایندهای پیچیدهٔ ساحلی در نواحی کمعمق، خلیجها و دریاها برخوردار است. ماژول مورد استفاده در این تحقیق، ماژول CoupledMike 3/21 از جعبهٔ نرمافزاری میباشد که یک سیستم مدلینگ دینامیکی برای کاربردهای ساحلی در مصبها و محیطهای رودخانهای میباشد. برای مدلسازی انتقال رسوب ناشی از موج، از زیر مجموعه‌های مدل ماژول اصلی Couple Model FM که شامل ماژول هیدرودینامیکی یا جریان (Hydrodynamic, HD)، انتقال رسوب (Sand transport, ST) و طیفی موج (Spectral wave, SW) استفاده شده است. مدل هیدرودینامیک یا جریان (HD)، جزرومد، رودخانه، باد، جریان های ناشی ازموج، برکشند طوفان و جریانات مدی و جزری را شامل میشود. با بکارگیری این مدول میتوان، تغییرات سطح آب و جریانات را در هر مکان از منطقه مورد مطالعه، بررسی نمود. لازم به ذکر است که این مدول، جریانات را در یک سیال تک لایه (به طور عمودی همگن) شبیه‌سازی میکند. جریانها شامل جریان کشندی، جریان ناشی از موج یا ترکیبی ازاین دو میباشند. در واقع این نرمافزار روشی برای تحلیل برهمکنش متقابل بین امواج و جریانها با استفاده از یک رابطه دینامیکی بین مدول‌های HD و SW ارائه میدهد. همچنین از طریق ایجاد یک رابطه بین سه مدول HD،ST و SW قادر به مدلسازی نحوه‌ی بازخورد کامل بین تغییرات تراز بستر در اثر گردشهای ناشی از موج و جریان به صورت توام ارائه می‌دهد. در این تحقیق از مدل دوبعدی جریان در مدول HD استفاده شده است که بر اساس معادلات آب کمعمق و ممنتوم میباشد، که در واقع در آن از معادلات میانگین گیری شده ناویراستوکس در یک شاره تراکمناپذیر انتگرالگیری میشود. مدلST برای بررسی میزان انتقال رسوبات غیرچسبنده تحت اثرجریان وموج به کار می‌روند این مدل برای محاسبه تغییرات انتقال رسوب غیر چسبنده در دو بعد تحت تاثیر موج و جریان به کار گرفته می‌شود. مدول موج یا SW، قادر است که نرخ رشد، کاهش و انتقال امواج را از دور از ساحل تا نزدیک آن، امواج دورا ۱ با در نظر گرفتن کم عمقی، انعکاس و تفرق شبیه‌سازی کند.

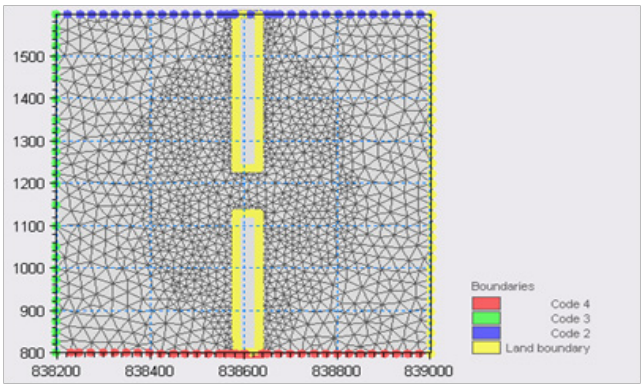
طراحی و نحوه اجرای مدل: برای بررسی اثر توام موج و جریان جزر و مدی برروی الگوی جریان ناشی ازموج و تاثیرآن بر رسوبگذاری و فرسایش درمصب، ازحوضچه‌ای که برای مدل‌سازی فیزیکی مطالعه شده، استفاده می‌شود. این مصب تحت اثرموج با ارتفاعات مختلف ۰,۷۵،۱,۵و۲,۲متر و پریود ثابت ۸ ثانیه، جزر و مد با رنج‌های مختلف ۱ متر(میکرو تایدال) و ۲,۵ متر (مزو تایدال) و ۴,۵ متر (ماکرو تایدال) با پریود نیم روزانه پریود ۴۴۷۵۰ ثانیه بصورت جداگانه و توام، مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابعاد حوضچه و مصب درشکل۱نشان داده شده است. شکل۲توپوگرافی بستر و شبکه بندی آن جهت استفاده در شبیه‌سازی عددی را نشان می‌دهد.جدول۱، پارامترهای مدل و جدول ۲ مشخصات موج و جزرومد در هر یک از مراحل اجرا بر اساس مدل 1976, Hayes را نشان می‌دهد.

جدول ۱- پارامترهای مدل

پارامترها	مقادیر
طول، عرضو عمق مصب	800،800 ،1.6 متر
گره ها، المان ها، تعداد لایه	8987 ،18345 ،2
زمان شبیه سازی، گام زمانی	2 روز، 1 ثانیه
شرایط اولیه	Cold start ، رجوع به جدول 2
شرایط مرز باز	رنج جزر و مد 12hr =4.5m T ,1,2.5
قطر رسوب (D_{50})	0.2 mm
چگالی آب	2650 kg/m^3
سرعت سقوط ذرات	0.06 m/s
استرس بحرانی	0.08
تخلخل	0.05
زبری بستر	32 $(m^{\frac{1}{3}}/s)$
ادی ویسکوزیته افقی (ضریب لزجت افقی ادی)	0.28 $(\frac{m^{\frac{1}{3}}}{s})$
شیب بستر	0.0044
حد اکثر عدد کورانت	0.8



شکل ۱: مصب مورد مطالعه

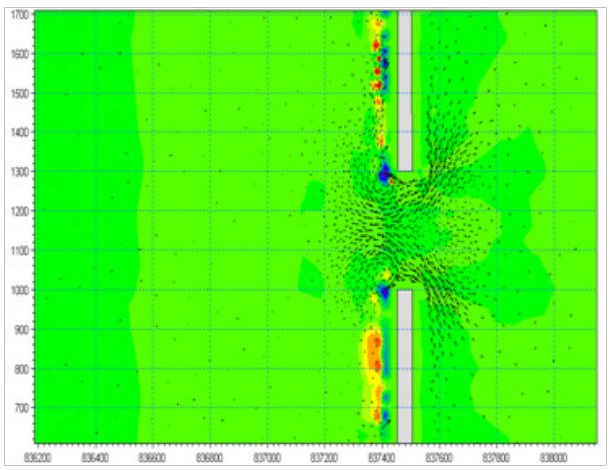


شکل ۲: شبکه بندی مدل

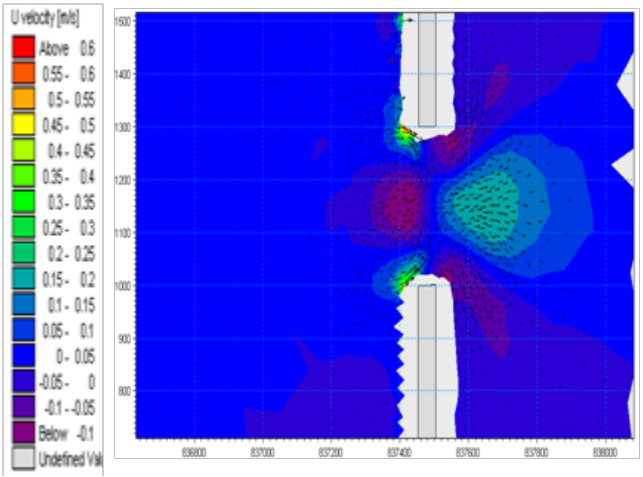
جدول۲- مشخصات موج و جزرومد در هر یک از مراحل اجرا بر اساس مدل Hayes, 1976

شماره اجرا (ترکیب)	Tide height(m)	Wave height(m)	Ttide(h)	Twave(s)	Wave angle
۱	0	0.75	12	8	90
۲	0	1.50	12	8	90
۳	0	2.20	12	8	90
۴	1	0	12	8	90
۵	1	0.75	12	8	90
۶	1	1.50	12	8	90
۷	1	2.20	12	8	90
۸	2.5	0	12	8	90
۹	2.5	0.75	12	8	90
۱۰	2.5	1.50	12	8	90
۱۱	2.5	2.20	12	8	90
۱۲	4.5	0	12	8	90
۱۳	4.5	0.75	12	8	90
۱۴	4.5	1.50	12	8	90
۱۵	4.5	2.20	12	8	90

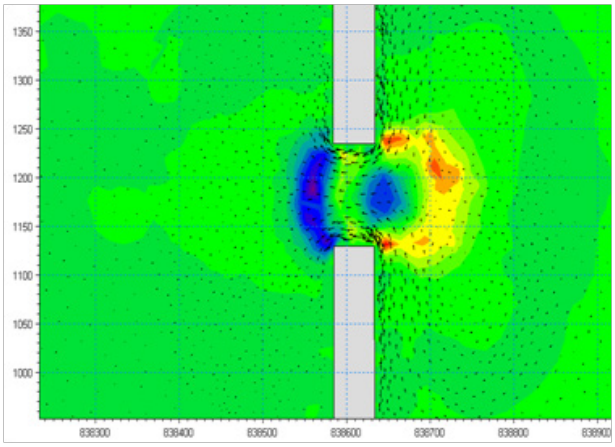
نتایج اجرای مدل: شکل‌های۳ الف و ب، به ترتیب، نحوه‌ی توزیع تغییرات بستر و سرعت جریان و جهت جریان تحت تاثیر موج تنها با ارتفاع ۱/۵ متر و شکل ۴الف و ب، توزیع تغییرات بستر و سرعت و جهت جریان تحت تاثیر جزر و مد تنها با ارتفاع ۲/۵ متر و پریود ۱۲ ساعت و شکل ب، توزیع سرعت و جهت جریان، تحت تاثیرجزر و مد تنها با ارتفاع ۲/۵ متر و شکل‌های ۵ تحت تاثیر موج با ارتفاع ۱/۵ متر و جزر و مد با ارتفاع ۲/۵ متر برای بررسی اثر توام موج و جزر و مد بر الگوی جریان و رسوبگذاری و فرسایش در مصب (از حالت مد به جزر) را نشان می‌دهد. همچنین، تغییرات سرعت جریان و تراز بستر در امتداد کانال، حالت توام، به ترتیب، در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ آورده شده است. در این تحقیق، ابتدا به بررسی اثر هر یک از عوامل هیدرودینامیکی شامل موج تنها، جزر و مد تنها بر روی الگوی جریان، رسوبگذاری و فرسایش پرداخته می شود و پس از آن حالت توام مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. در انتها تاثیر عامل ارتفاع بر روی الگوها موردارزیابی قرار خواهد گرفت. این الگوها به شرح زیر است:



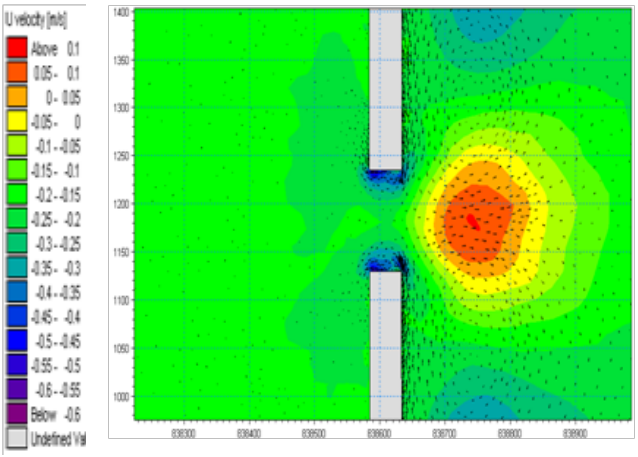
شکل ۳-الف،توزیع تغییرات بستر تحت تاثیرموج تنها



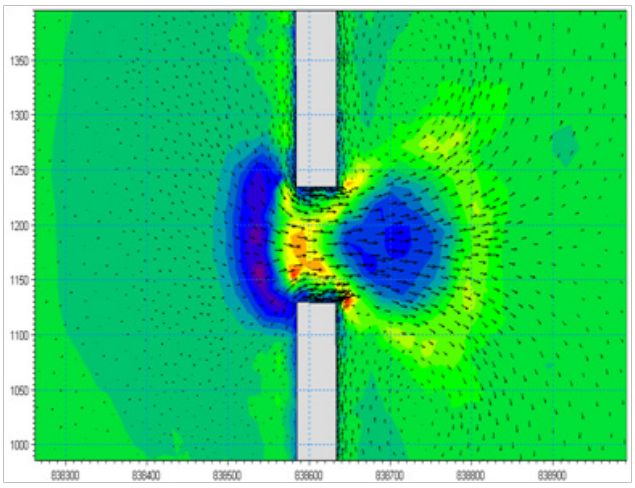
شکل ۳-ب،توزیع تغییرات سرعت جریان وجهت جریان تحت تاثیرموج



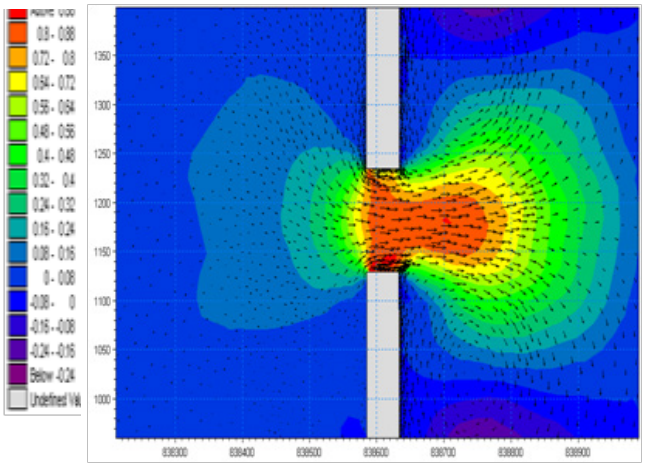
شکل۴-الف توزیع تغییرات بستروجهت جریان تحت تاثیرجزرو مدتنها



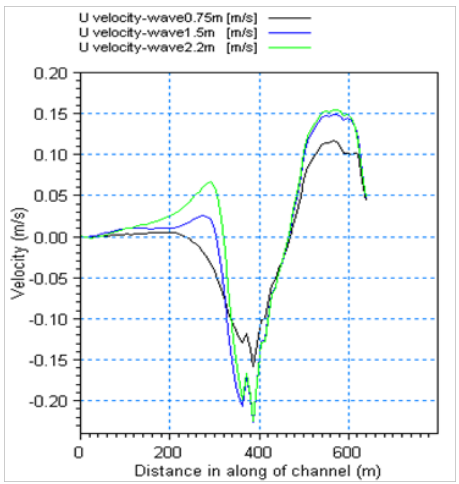
شکل ۴-ب، توزیع سرعت وجهت جریان،تحت تاثیرجزر و مد تنها با ارتفاع ۲/۵ مترتنها با ارتفاع ۱/۵ متر



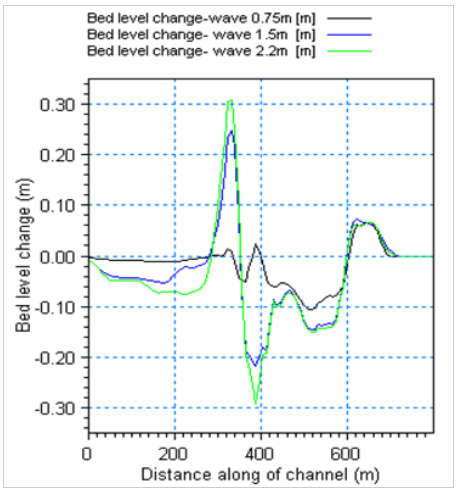
شکل۵-الف،توزیع تغییرات بستروجهت جریان تحت تاثیرموج و جریان



شکل ۵-ب، توزیع سرعت وجهت جریان،تحت تاثیر موج با ارتفاع ۱/۵ متر و جزر و مد با ارتفاع ۲/۵ متر

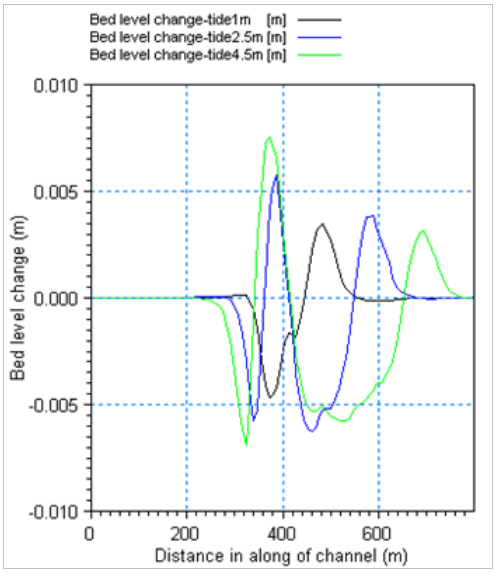


الف- توزیع طولی تغییرات سرعت جریان

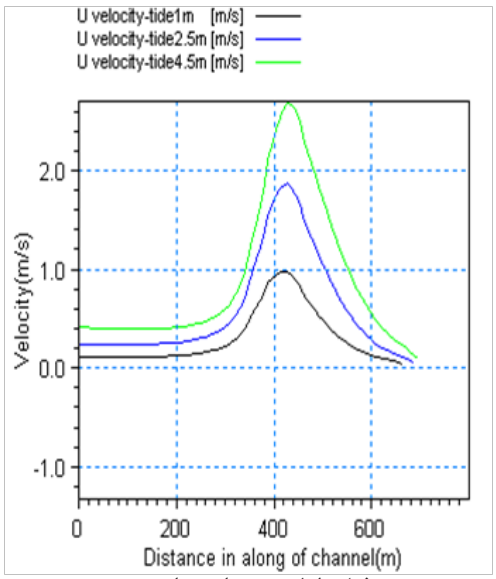


ب- پروفیل طولی تغییرات تراز بستر

شکل۶- تغییرات سرعت جریان و تغییرات بستر(محور عمودی) در امتداد کانال(محور افقی) ناشی از موج تنها

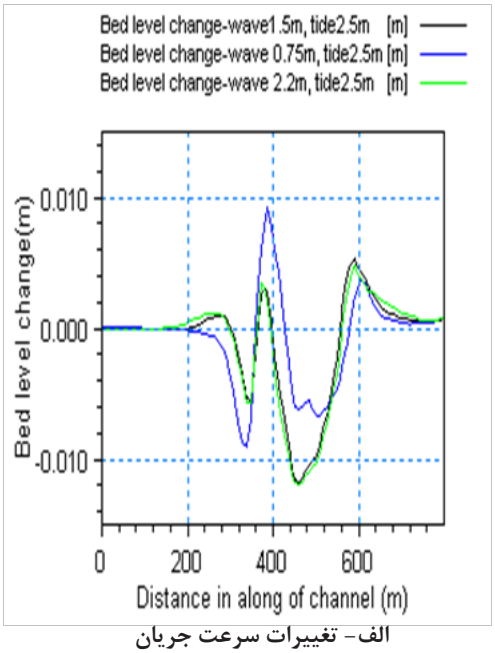


الف- توزیع طولی تغییرات سرعت جریان

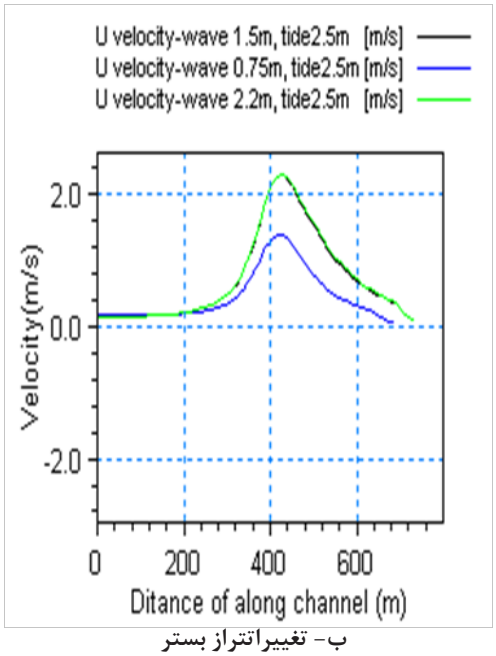


ب- پروفیل طولی تغییرات تراز بستر

شکل۷- تغییرات سرعت جریان و تغییرات بستر(محور عمودی)در امتداد کانال(محور افقی) ناشی از جزر و مد تنها



الف- تغییرات سرعت جریان



ب- تغییراتتراز بستر

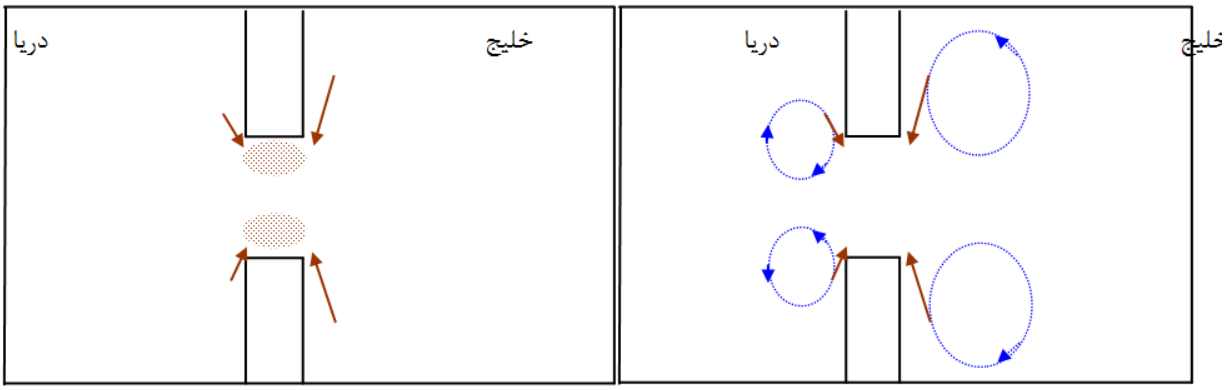
شکل ۸- نمونه‌ای از الگوی جریان و رسوب گذاری جزر و مد با ارتفاع ۲,۵ متر با پریود۱۲ ساعت و موج با ارتفاع ۱,۵ متر با پریود ۸ ثانیه در امتداد کانال (اثر توام)

بحث و نتیجه گیری

از نظر شـــدت نســـبی موج و جزر و مد، مصب‌ها را در سه گروه: جـــزر و مـــد غالـــب *(Tide dominated)*، مـــوج غالب *(Wave dominated)* و ترکیبی *(Mix)*، می‌توان طبقه بندی کرد. شـــکل ۱۵ محـــدوده هر یک از این گروهها را نشـــان می‌دهد*(Davis and Hayes, 1980)*. در این تحقیق، به منظور بررسی تغییرات سرعت جریان و تغییرات تراز بستر ناشی از موج و جریان جزرومدی بصورت توام، از ۱۵ نقطه بر اساس شکل ۱۵، مشخص شده است، مورد بررسی قرار می گیرد.

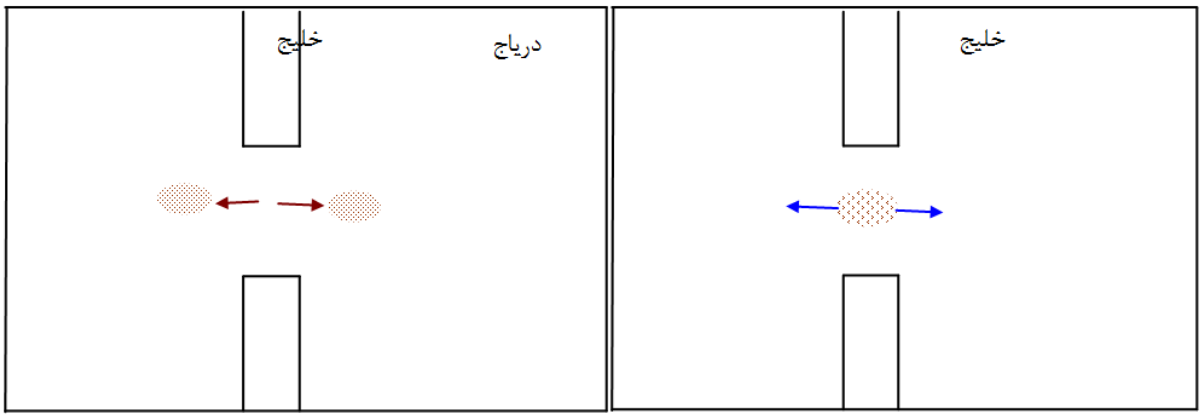
الف- بررســـی الگوی جریان و رسوبگذاری تحت اثر موجتنها و تاثیر ارتفاع موج: شـــکل ۹، الگوی جریان و انتقال رســـوب در مصب تحت اثر عملکرد امواج عمود بر ساحل چهارگردابه دردو طرف دهانه مصب ایجاد می‌شـــودکه منجر به انباشت رسوب دردیواره‌های عرضی مصب و فرســـایش در قســـمت‌های میانی و کم عمقی دهانه

کانال می‌شود.گردابه‌ها آب ورسوب قسمت میانی کانال را به بالادست وپایین دست مصب منتقل می‌کنند وتشکیل دلتای مدی وجزری را می‌دهند(شکل ۴).با افزایش ارتفاع موج، الگوی جریان تغییری نمی‌کند، هرچند میزان سرعت وشعاع گردابه‌ها افزایش می‌یابد. درحین افزایش شعاع گردابه‌ها، نفوذ آنها به داخل دهانه‌ها افزایش می‌یابد. این در حالیست که سرعت گردابه‌های سمت دریا نسبت به ساحل بیشتر می‌شود(نقاط ۱، ۲ و ۳ در شکل ۳). با افزایش ارتفاع موج، میزان ارتفاع دلتاهای بالادست و پایین دست مصب افزایش یافته و قله آنها به سمت آب عمیق پیشروی می‌کند، در حالی که چاله ایجاد شده در وسط دهانه نیز عمیق‌تر شده و به سمت آب عمیق متمایل می‌گردد بعبارت ساده تر، فرسایش در وسط کانال افزایش می‌یابد. با هجوم امواج مرتفع سرعت جریان ناشی از موج افزایش می‌یابد. که این باعث افزایش انتقال رسوب و رشد نرخ تراز بستر در ناطق ساحلی (تحت موج عمود بر ساحل) شود (WU,



۱- انتقال رسوب به کناره‌های دهانه توسط جریان‌های گردابی

۲- رسوب گذاری در کناره‌های عرضی

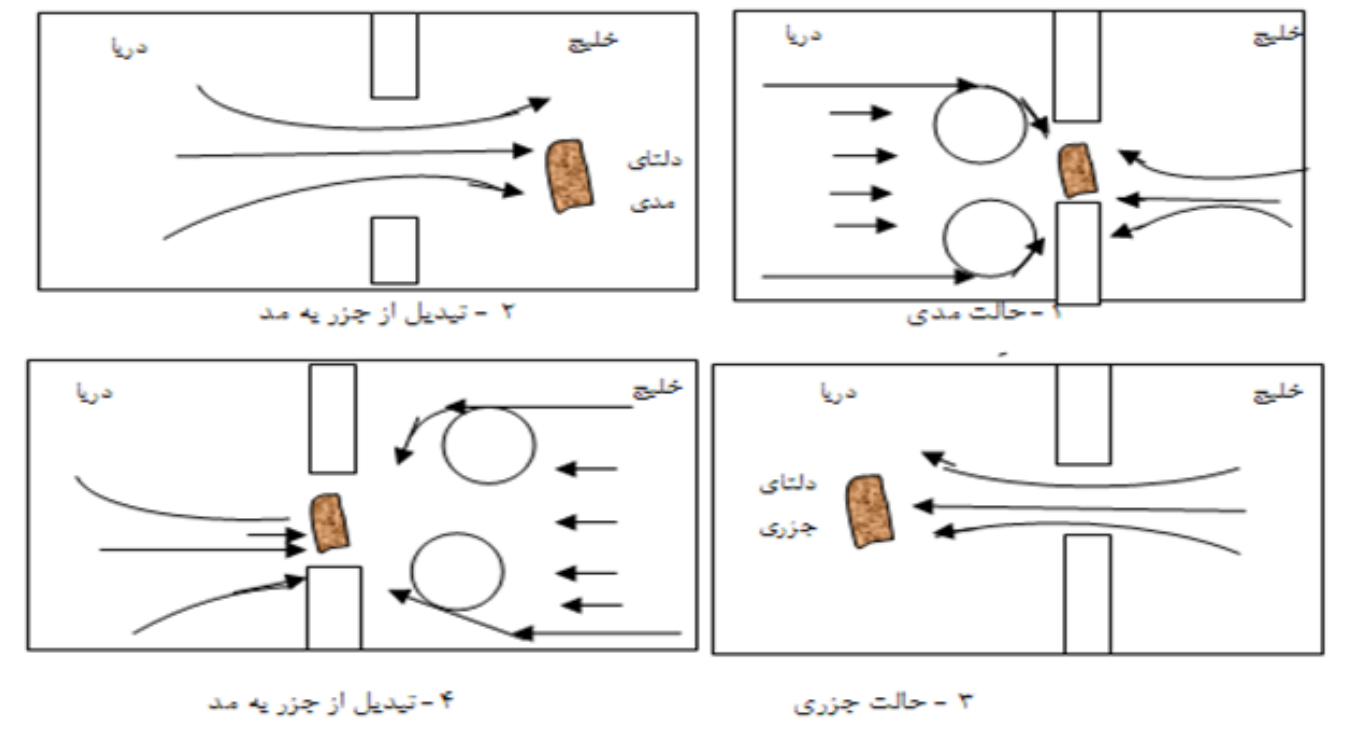


۳ - تخلیه دهانه به بالادست و پایین دست

۴-تشکیل دلتاهای Flood, Ebb

ب- بررسی الگوی جریان و رسوبگذاری در مصب تحت اثر جزر ومد تنهارامی‌توان در چهار وضعیت مختلف، مطابق زیر تشریح کرد:

در زمان مد و در زمان جزر، جریان قبل از رسیدن به محل دهانه همگرا شده و ضمن عبور از دهانه بر سرعت آن افزوده شده و پس از عبور از دهانه مصب جریان مجددا واگرا و به وضعیت قبل از مصب برمی گردد(شکل۶ (. در این مراحل، دهانه دچار فرسایش شده و در طرفین مصب، دلتاهای مدی و جزری شکل می‌گیرند. در هنگام تغییر وضعیت از مد به جزر و یا بر عکس، تغییر جهت جریان با فرآیند بسیار جالبی همراه است؛ طوریکه در مرحله انتقال از مد به جزر، گردابه‌هایی در بالادست دهانه، در طرفین آن تشکیل می‌شود و در حالت جزری نیز ادامه دارد. جهت این گردابه‌ها طوری است که رسوب را به داخل مصب هدایت می‌کند و باعث کم عمقی مصب، بخصوص در کناره‌ها می‌شود(نقاط ۴، ۸ و ۱۲ در شکل ۳). رسوبی که در این مرحله در دهانه تجمع کرده، پس از تکامل جریان جزری به سمت دریا رانده شده و در سمت دریا، دلتای جزری را تشکیل می‌دهد. در هنگام تبدیل وضعیت از جزر به مد، دقیقا عکس این پدیده اتفاق می‌افتد و دلتای مدی در بالادست دهانه شکل می‌گیرد. افزایش دامنه جزر و مد تاثیری بر ماهیت این پدیده نمی‌گذارد و فقط شدت آن را تغییر می‌دهد. باافزایش دامنه جزر و مد، ابعاد عوارض رسوبی در مصب افزایش می‌یابد، هر چند نرخ رشد دلتای جزری با دلتای مدی متفاوت است (Castelle, 2004).

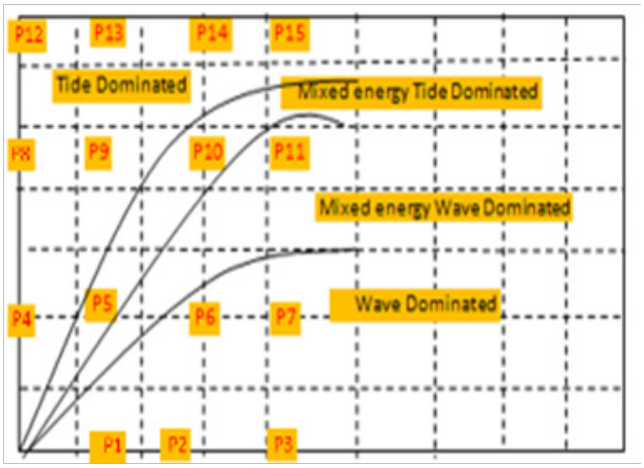


شکل۱۰- الگوی جریان و رسوبگذاری ناشی از جزر و مد در مصب

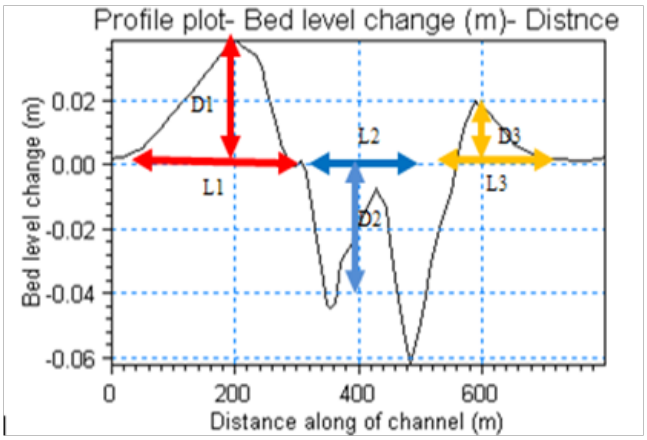
ج- الگوی جریان و رســـوب گذاری تحت اثر جزر و مد و موج به صورت توام:

برای بررســـی الگوی جریان ناشـــی از تاثیر همزمان موج و جزر و مد وتاثیرآن بررسوب گذاری وفرسایش درمصب، مدل عددی حوضچه شـــکل۱، برای ترکیبهای مختلف موج و جزر و مد (جمعا ۱۵ ترکیب) مطابق شـــکل ۱۵ و جدول(۲) اجرا شـــد. نتایج شبیه‌سازی برای هر یـــک از ترکیبهای فوق، در قبل و بعد از دهانه و نیز در دهانه(شـــکل ۱۳)،اجرا شد. بررسی الگوی جریان و انتقال رسوب تحت تاثیر موج و جزر و مد در مصب ها، میزان رسوبگذاری و فرسایش قبل، بعد کانال و در داخل کانال که شامل طول فرسایش در دهانه(L2) و رسوبگذاری قبل(L1) و بعد از دهانه طول(L3) و ارتفاع رسوبگذاری قبل(D1) و بعد از دهانه (D3) و فرسایش در دهانه(D2) بر حسب متر، تعیین نمودهو ســـپس، نمودار میزان تغییرات رسوبگذاری و فرسایش، برای سه حالت موج تنها، جزر و مد تنها و توام رسم شد. شکل ۱۳تغییرات تراز بستر را نشان می‌دهد. شـــکل۱۵، تغییرات سرعت (برای تعیین الگوی جریان) و تغییرات تراز بســـتر (به منظور تعیین الگوی انتقال رســـوب) ناشـــی از موج و جریان جزرومدی بصورت توام را برای ۱۵ نقطه بر اساس Hayes (1975) را نشان می‌دهد.

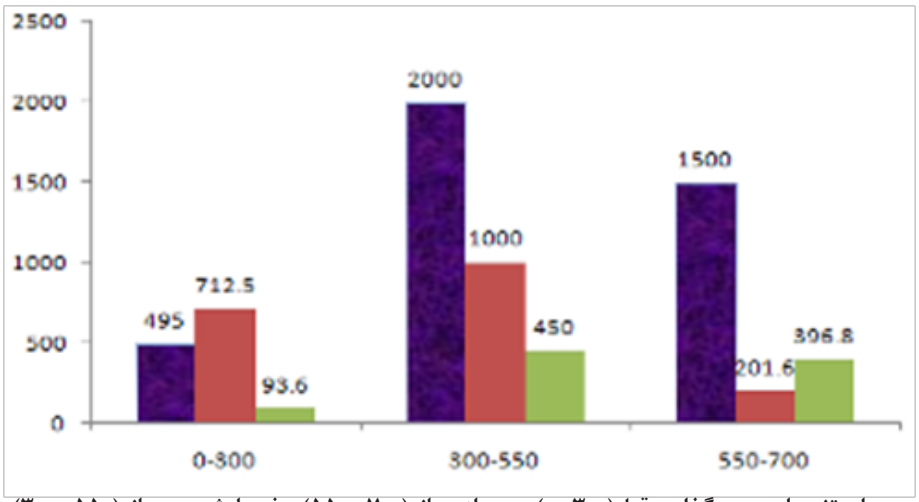
نتایج شبیه‌سازی، الگوی جریان را به صورت دو گردابه) (eddy در پایین و بالا دســـت مصب را در حالت جزری و مدینشان می‌دهد. این گردابه‌ها در مقایسه با گردابه‌های ایجاد شده در حالت جریان تنها، کوچکتر و دورتر می‌باشد. این حالت، با نتایج WU, 2011 مطابقت دارد. عملکرد رسوبی نشان می‌دهد که با هجوم امواج به طرف کانال، در نزدیک دهانه ورودی، بر روی ناحیهEbb shoal شکســـته شده و مواد بالادســـت را حرکت می‌دهد و پس از فرسایش کانال، رسوبات را در نزدیک ساحل انباشـــته می‌کند کهبا گذشت زمان و با شکست مجدد موج در نزدیک ســـاحل،حجم رسوبات را در ناحیه پایین دست مصـــب(Flood shoal افزایش می‌دهد. در این میان، جریان های جزر و مدی، در هنگام تبدیل مـــد به جزر، مورفولوژی دهانه ورودی مصب را چنان تغییر می‌دهند که رســـوبات پایین دســـت را در ناحیه Ebb shoal انباشـــته نموده و حجـــم آن را افزایش می‌دهند (نقاط 5، 6، 7، 9، 10، 12، 23، 14، 15). با شکســـت امواج بعدیدر دهانه مصب (روی دلتای جزری) رســـوبات، حرکت داده شـــده و به طرف داخل کانال هدایت می‌شـــوند و باعث مســـطح شدن و کاهش ارتفاع دلتای جزری می‌شوند.در حالت جزری و مدی،این رسوبات به طرفین دهانههدایت می‌شوند (شـــکل ۱۲). ذکراین نکته حائز اهمیت است کهدر این میان، میزان فرســـایش در دهانه با حجم رسوبات ته نشین شده در دو طرف دهانه برای هر سه حالت یکسان است بعبارت دیگر، انتقال رسوب خالص تحت نیروی ثابت، صفر است. این درحالی است کهانتقال رســـوب همچنان وجود دارد(نمودار 13). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند انتقال رسوب فعال است و با شبیه‌سازی موج، جریان و انتقال رســـوب، بصورت توام، مورفولـــوژی مصب به گونه‌ای تغییر می‌کند که پس از گذشت زمان طولانی،به حالت تعادل می‌رسد که در اینصورت مصب،ایده‌آل خواهد بود. این موضوع با نتایج حاصل از تحقیقات ارتش آمریکا که در سال 2002 فرایند فرسایش مصب‌ها را مورد مطالعه قرار دادند مطابقت دارد. (US Army, 2001).



شکل۱۱- تغییرات سرعت و تغییرات بستر ناشی از موج و جریان جزر و مدی بصورت توام (Hayes, 1976)



شکل ۱۲- پروفیل طول فرسایش در دهانه (L2) و رسوبگذاری قبل (L1) و بعد از دهانه طول (L3) فرسایش در دهانه و ارتفاع رسوبگذاری قبل (D1) و بعد از دهانه (D3) و فرسایش در دهانه (D2) بر حسب متر



شکل ۱۳- مقایسه میزان تغییرات رسوبگذاری قبل(۳۰۰- ۰) و بعد از دهانه(۷۰۰- ۵۵۰) و فرسایش در دهانه(۵۵۰- ۳۰۰)برای موج تنها (ستون سبز)، جزر و مد تنها (ستون قرمز) و توام (ستون آبی)

نتایج شبیه سازی، الگوی جریان را به صورت دو گردابه (eddy) در پایین و بالا دست مصب را در حالت جزری و مدی نشان می‌دهد. این گردابه‌ها در مقایسه با گردابه‌های ایجاد شده در حالت جریان تنها، کوچکتر و دورتر می‌باشد. این حالت، با نتایج WU, 2011 مطابقت دارد. عملکرد رسوبی نشان می‌دهد که با هجوم امواج به طرف کانال، در نزدیک دهانه ورودی، بر روی ناحیه Ebb shoal شکسته شده و مواد بالادست را حرکت می‌دهد و پس از فرسایش کانال، رسوبات را در نزدیک ساحل انباشته می‌کند کهبا گذشت زمان و با شکست مجدد موج در نزدیک ساحل،حجم رسوبات را در ناحیه پایین دست مصب (Flood shoal) افزایش می‌دهد. در این میان، جریان های جزر و مدی، در هنگام تبدیل مد به جزر، مورفولوژی دهانه ورودی مصب را چنان تغییر می‌دهند که رسوبات پایین دست را در ناحیه Ebb shoal انباشته نموده و حجم آن را افزایش می‌دهند (نقاط ۵،۶،۷،۹،۱۰،۱۲،۱۴،۱۵،۲۳). با شکست امواج بعدی در دهانه مصب (روی دلتای جزری) رسوبات، حرکت داده شده و به طرف داخل کانال هدایت می‌شوند و باعث مسطح شدن و کاهش ارتفاع دلتای جزری می‌شوند.در حالت جزری و مدی،این رسوبات به طرفین دهانه هدایت می‌شوند (شکل ۱۲). ذکر این نکته حائز اهمیت است که در این میان، میزان فرسایش در دهانه با حجم رسوبات ته‌نشین شده در دو طرف دهانه برای هر سه حالت یکسان است بعبارت دیگر، انتقال رسوب خالص تحت نیروی ثابت، صفر است. این درحالی است کهانتقال رسوب همچنان وجود دارد (نمودار ۱۳). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که فرایند انتقال رسوب فعال است و با شبیه‌سازی موج، جریان و انتقال رسوب، بصورت توام، مورفولوژی مصب به گونه‌ای

تغییر می‌کند که پس از گذشت زمان طولانی،به حالت تعادل می‌رسد که در اینصورت مصب،ایده‌آل 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. (US Army, 2001)

با مقایسه نمودارهای جزر و مد تنها، موج تنها و توام و با توجه به شکل ۷ می‌توان گفت که فرسایش در دهانه مربوط به حالت موج تنها از فرسایش ناشی از حالت توام کمتر است(Militello, 2003).این در حالی است که عامل جزر و مد باعث افزایش حجم دلتای جزری و حالت توام باعث افزایش حجم دلتای مدی می‌شود. بنابراین، جزر و مد نقش موثری در تغییر عوارض رسوبی در بالادست دهانه و کانال را دارد و امواج پریود کوتاه و توام نقش بسزایی تغییر مورفولوژی و انتقال رسوب درسمت ساحل را دارند.

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

ج۱- در نقاط ۵، ۶، ۷ و ۱۱ که میزان دامنه جزر و مد کم و میزان ارتفاع موج نسبتا زیاد است، عملکرد توام موج و جزر و مد، تقریبا مشابه الگوی موج تنها (الگوی الف فوق) می‌باشد. این حالت را اصطلاحا حالت موج غالب (wave dominated) می‌نامیم. در این حالت عموما چهار گردابه در طرفین مصب تشکیل می‌شود و در بالادست و پایین دست و طرفین کانال مصب کم عمقی داریم.

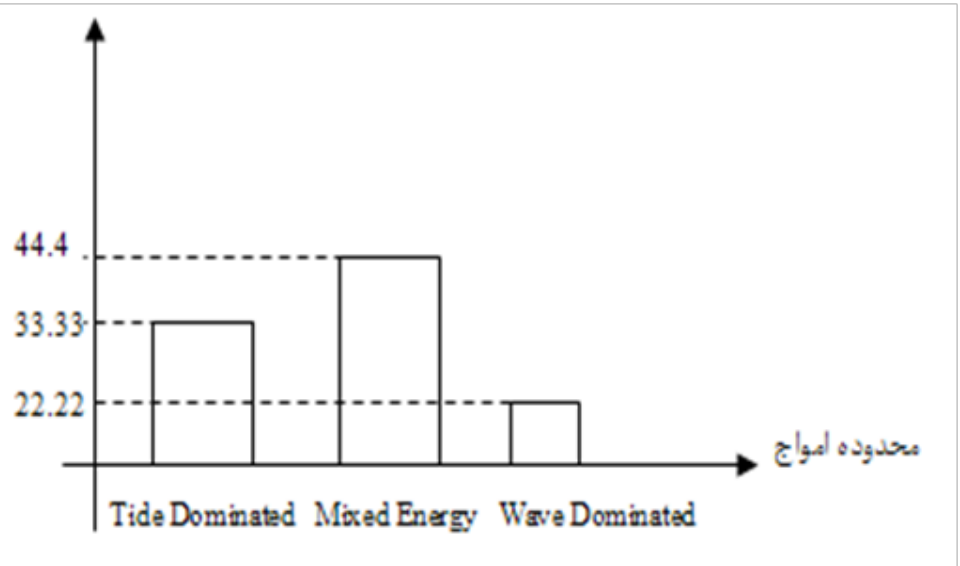
ج۲- در نقاط ۱۳، ۱۴ و ۱۵ که میزان دامنه جزر و مد زیاد و میزان ارتفاع موج نسبتا کم است، عملکرد توام موج و جزر و مد، تقریبا مشابه الگوی جزرومد تنها(الگوی ب فوق) می‌باشد. این حالت را اصطلاحا حالت کشند غالب (tide dominated) می‌نامیم. در این حالت عموما دو گردابه در طرفین مصب بسته به وضعیت کشند تشکیل می‌شود (در بالادست یا پایین دست مصب)؛ که به نوبه خود باعث ایجاد کم عمقی سمت ساحل در حالت مد (Flood Shoal) و کم عمقی سمت دریا در حالت جزر (Ebb shoal) میگردد.

ج۳- در نقاط ۹ و ۱۰ که دامنه جزر و مد و ارتفاع موج حالت متعادلی دارند (هیچ کدام غالب نیستند)، عملکرد توام موج و جزر و مد، با هر یک از الگوهای الف و ب فوق متفاوت خواهد بود. این حالت را اصطلاحاً حالت مختلط(Mixed) نامیده می شود.

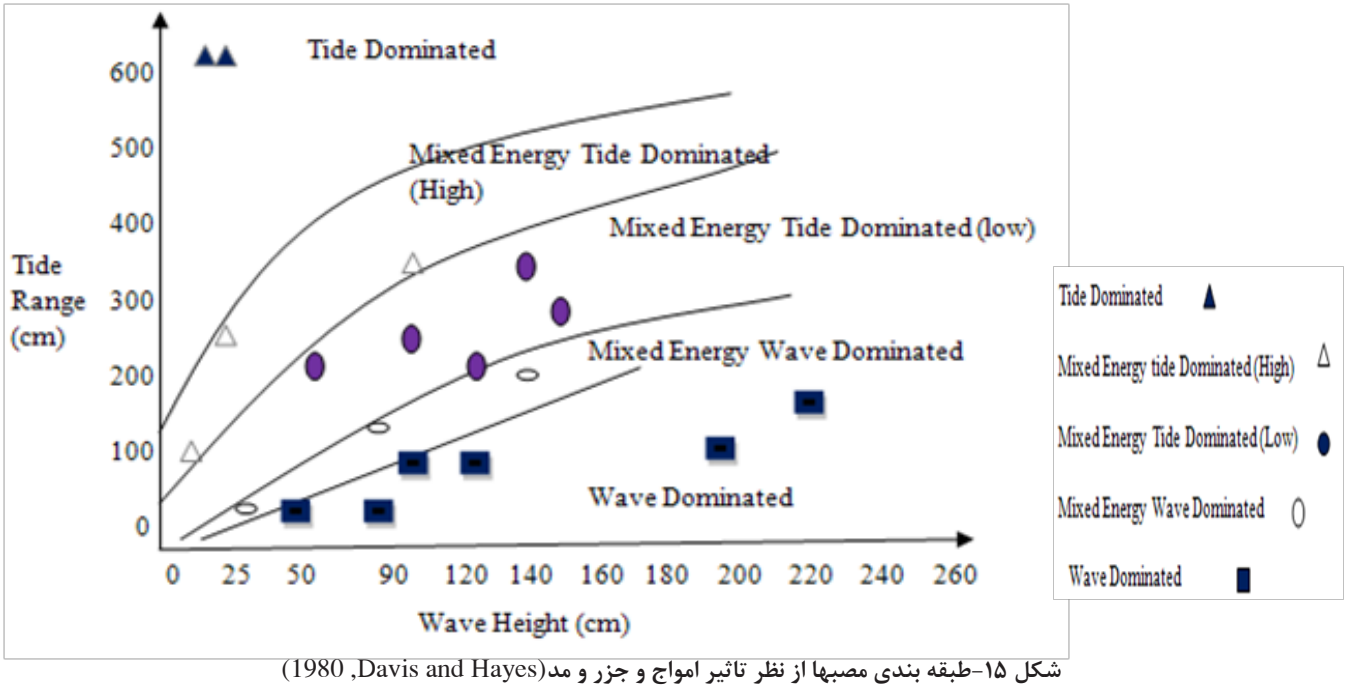
بنابر نتایج این تحقیق، چهار محدوده مختلف از نظر مقادیر نسبی ارتفاع موج و دامنه جزر و مد می‌توان تعریف نمود که عبارتند از:

$H_w / H_t \geq 1.5$	Wave Dominated
$1 \leq H_w / H_t < 1.5$	Mixed Energy (Tide Dominated)
$H_w / H_w \geq 0.5$	Mixed Energy (Wave Dominated)
$H_w / H_t < 0.5$	Tide Dominated

در روابط بالا ارتفاع موج و ارتفاع جزر و مد بر حسب متر می‌باشد. محدوده جزر و مد غالب، موج غالب، انرژی توام(موج غالب) و انرژی توام (جزر و مد غالب) برای ۱۵ نقطه در نمودار ۱۱ نشان داده شده است. برای هریک از سه محدوده فوق، الگوی جریان و رسوبگذاری مطابق آنچه قبلا گفته شد، متفاوت است. با توجه به شکل ۱۳، بیشترین فراوانی مربوط به حالت جزر و مد غالب و سپس موج غالب و پس از آن حالت مختلط – جزر و مد غالب و در نهایت مختلط – موج غالب خواهد. درصد فراوانی امواج در نمودار فراوانی (هیستوگرام) شکل۱۴ آورده شده است(Castelle, 2004).



شکل ۱۴، نمودار فراوانی محدوده امواج



شکل ۱۵-طبقه بندی مصبها از نظر تاثیر امواج و جزر و مد(Davis and Hayes, 1980)

از نظر شـــدت نســـبی موج و جزر و مد، مصبها را در ســـه گروه: جـــزر و مـــد غالـــب (Tide dominated)، مـــوج غالب (Wave dominated) و ترکیبـــی (Mix)، می‌توان طبقه بندی کرد. نتایج حاصل از مدل عـــددی در این تحقیق، مطابـــق نتایج Davis and Hayes 1980(شکل ۱۵) می باشد.

برای بررسی الگوی جریان ناشی از تاثیر همزمان موج و جزر و مد وتاثیرآن بر رسوب‌گذاری وفرسایش درمصب، می‌توان ابتدا هر یک از پارامترها را بصورت جداگانه مورد بررسی قرار داد سپس الگوی توام رااز براورد ترکیب این دو پارامتر نتیجه گرفت. لازم به ذکر است که باید عواملی مانند شکست، تفرق و اثرات غیر خطی را باید در نظر گرفت.

منابع مورد استفاده

۱- کرمـــی خانیکی، ع، ســـادات کیایی، م، علی اکبـــری بیدختی، ع، ۱۳۹۰، بررســـی الگوی جریان و انتقال رسوب درمصبهاتحت اثر امواج عمود بر ســـاحلبا اســـتفادهاز یک مدل عددی، دوازدهمین همایش صنایع دریایی بین المللی کیش.

2. B. D Morris,MarkA Davidson,A. Huntley David., 2001, Estimates of the seasonal morphological evolution of the Barra Nova Inlet using video techniques. Continental Shelf Research (2004) 24 278–263.

3. Castelle Bruno, Bourge Julient, Molnar Nathalie, Strauss Darrell,Deschamps Sophie, Tomlinson Rodger,.2004. Dynamics of a wave-dominated tidal inlet and influence on adjacent beaches, Currumbin Creek, Gold Coast, Australia, Coastal Engineering 90–77 (2004) 54.

4. Chen Jia-Lin, Tian-Jian Hsu and Fengyan 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.

5. Davis, R.A., Hayes, M.O., 1980. What is a wave-dominated coast? Mar. Geol. 329^313 ,60.

6. DHI, 2007, Mike21‘s User Manual; Danish Hydraulics Institute, Denmark.

7. Fiechter Jermo ., Kelly L .Steffen, Christopher N.k.Mooers,Brian K.haus,Hydrodynamics and sediment transport in a Florida tidal inlet, 2006, Estuarine , Coastal and shelf Science -297,(2006)70

8. Grant, W. D., Madsen, O. S., 1979. Combined wave and current interaction with a rough bottom. Journal of Geophysical Research, 84 (C-1797 4 1808.

9. Hayes, M.O., 1979. Barrier island morphology as a function of tidal and wave regime. In: Leatherman, S.P. (Ed.), Barrier Islands, from the Gulf of StLaurence to the Gulf of Mexico. Academic Press, N.Y., pp. 28–1.

10. Militello, A., C. Kraus, N. (2003) "Numerical simulation ofsediment pathways at an Idealized Inlet and Ebb shoal", Proceedings coastal sediments 03.CD –ROM by published by World scientific publishing crop .and East Meets west productions, Croups Christi ,Texas, USA.ISBN 7-422-238-981.

11. SorensenOle R., Henrik Kofoed-Hansenl, Oliver P. Jones, 2004, Numerical modeling of wave- current interaction in tidal Areas using an unstructured finite volume technique.

12. Tang, H. S., Keenb, T. R., and Khanbilvardi, R., 2009. A model coupling framework for near shore waves, currents, sediment transport, and seabed morphology. Communications inNonlinear Science and Numerical Simulation, -2935 :(7) 14 2947.

13. Us army corps of Engineering, 2001. Coastal Engineering manual.

14. Warner, J. C., Sherwood, C. R., Signell, R. P., Harris, C., and Arango, H. G., 2008. Development of a three-dimensional, regional, coupled wave, current, and sediment-transport model. Computers and Geosciences, 1306-1284 :34.

15. WU Lunyu1, CHEN Changsheng,GUO Peifang, SHI Maochong, QI Jianhua, GE Jianzhong., 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.