

بررسی تأثیر جزر و مد بر الگوی جریان و انتقال رسوب در مصبها با استفاده از شبیه عددی

مایک ۲۱

علی کرمی خانیکی^{۱*}، فیروزه بخشنده^۲، کامران لاری^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲۳

چکیده

الگوی جریان و انتقال رسوب در مصبها از مهمترین فرایندهای ساحلی مؤثر بر ریخت‌شناسی خط ساحلند. این عوامل، خود متأثر از امواج و جزر و مد می‌باشند. اهمیت موضوع فوق باعث شده است که امروزه متخصصان در پی بهترین روش مطالعه و اجرای شبیه‌های عددی در مورد حوزه‌های آبی باشند. در این تحقیق، به کمک شبیه‌سازی عددی تأثیر جریان-های جزر و مدی بر انتقال رسوب و شکل عوارض رسوبی در مصبها مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، محل اتصال یک خلیج کوچک به دریای آزاد، به وسیله‌ی نرم افزار مایک ۲۱ مطالعه شده است. شبیه مورد نظر تحت شرایط مختلف جزر و مد (با دامنه‌های مختلف ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ متری) مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این تحقیق مؤید ایجاد جریان‌های گردابی در حالت تبدیل از جزر به مد و یا برعکس است. عملکرد این جریان‌های گردابی در حضور جریان‌های مدی (به سمت ساحل) و جریان‌های جزری (جریان‌های برگشتی)، باعث ایجاد کم عمقی‌هایی در بالادست و پایین دست مصب می‌گردد. شعاع گردابه‌های جزر و مدی، و عرض محدوده‌ی رسوبگذاری در طرفین دهانه، با دامنه‌ی جزر و مد رابطه‌ی مستقیم دارند. انتقال رسوب در دامنه‌های ۱/۵ و ۲/۵ متری در حالت مد غالب (انتقال رسوب به سمت خلیج)، در دامنه‌ی یک متری در حالت جزر غالب صورت می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، جریان جزر و مدی، مصب جزری، مصب مدی، مایک ۲۱، مصب.

^۱ - عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

^۲ - دانش آموخته‌ی فیزیک دریا

^۳ - عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

* - نویسنده مسئول مقاله: akk7239@yahoo.com

مقدمه

در محل اتصال رودخانه‌ها و خلیج‌ها به دریا، تداخل امواج، جزر و مد و جریانهای کرانه‌ای باعث رسوبگذاری در دهانه و کم عمق شدن آن می‌گردد. بطور کلی، مصب به آبراهه‌ای باریک و کوتاه اطلاق می‌شود که یک تالاب یا خلیج را به یک توده‌ی آب بزرگتر متصل می‌کند. شرایط آب‌پویایی در مصبهای جزر و مدی می‌توانند از یک حالت نسبتاً ساده تغییر تراز آب در سامانه‌ی جزر و مدی تا انواع بسیار پیچیده تغییر کنند، که در نوع پیچیده‌ی آنها، عوامل مختلف از جمله: جزر و مدی، تنش باد، ورودی آب شیرین و امواج ناشی از باد هر یک تأثیرات عمده‌ای بر آب‌پویایی مصبها می‌گذارند. سه جزء اصلی یک مصب عبارتند از: دهانه ۱، مصب مدی ۲، و مصب جزری ۳ (شکل ۱) (عطایی آشتیانی و جیلانی، ۱۳۸۴).

اولین گام جهت شناختن عوامل تأثیرگذار بر ریخت‌پویایی مصبها، تعیین الگوی امواج و جریانها در مصب می‌باشد. امواج و جریانها، دو عامل تأثیرگذار در شکل مصبها و فرایندهای رسوبی در دهانه محسوب می‌شوند (عطایی آشتیانی و جیلانی، ۱۳۸۴). تأثیر جریانهای جزر و مدی و کرانه‌ای بر شکل‌گیری مصبها به‌وسیله‌ی محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی از شبیه‌های عددی، نمونه‌های فیزیکی و اندازه‌گیریهای میدانی به عنوان ابزار تحقیق استفاده شده است.

تحقیق ویلیامز و همکاران (۲۰۰۱) بر اساس آزمایشهای سطح تعادلی مصب جزر و مدی در آزمایشگاه انجام گردید. در این تحقیق، نامبردگان با استفاده از نمونه‌سازی فیزیکی، و مقایسه‌ی نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی و میدانی، روابطی را برای تعیین سطح مقطع عرضی مصب ارائه نمودند.

اداره‌ی مهندسی ارتش امریکا^۴ (۲۰۰۲)، فرایند فرسایش داخلی مصب را مورد مطالعه قرار داد. در این تحقیق، نمونه‌ی فیزیکی یک مصب تحت شرایط

موج تنها، موج- جزر و مدی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که میزان فرسایش در حالت موج تنها، نسبت به حالت آزمایش در موج - جزر و مد، کمتر بوده است، ولی در سایر موارد، افزایش فرسایش داخلی مشاهده می‌گردد (میلیتو و کراس، ۲۰۰۳)

تحقیق میلیتو و کراس (۲۰۰۳) نشان داد که در مصب مورد بررسی، کم عمقی ناشی از میانبری جزر^۴، اتفاق می‌افتد. برای بررسی این اثر میانبری^۵ مسیر انتقال رسوب در یک مصب مطلوب با یک جزر و مدی و موج، و نیز تغییرات ریخت‌شناسی- انتقال رسوب را با شبیه‌سازی عددی مورد بررسی قرار دادند. مصب، نهر، کم عمق شدگی جزری و نیز ابعاد خلیج تقریباً با مصب Cockshine یکی است. شبیه‌سازی شامل: واداشتی جزر و مدی، واداشتی موج (هوای خوب و طوفان)، و نیز ترکیبی از موج و جریان جزر و مدی انجام شد. نتایج این تحقیق نشان دادند که الگوی تغییرات ریخت‌شناسی به‌دست آمده در آن، در طبیعت یافت شده است. شبیه‌سازی یا امواج تنها نشان داد که شنها در بالا دست اسکله ۶ نگه داشته شده و بستر را نزدیک ساحل در پایین دست مصب فرسایش می‌دهد. شکست امواج بر کم عمق‌شدگی جزری مواد را به طرف بالا دست مصب حرکت می‌دهد، همچنین کم عمقی به‌وسیله‌ی فرسایش در بالا و رسوبگذاری مواد در اطراف آن هموار می‌شود. ریخت‌شناسی اولیه در ورودی مصب (بالادست) در اطراف کم عمق شدگی جزری با حرکت مخالف جریانهای مدی تغییر می‌یابد.

در تحقیقی، فیجر جرومه و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی انتقال رسوب در جنوب شرقی مصب جزر و مدی فلوریدا پرداختند. نتایج حاصل از مطالعات میدانی و آزمایشگاهی این محققین نشان دادند که اندازه‌ی رسوبها در محل مصب با فاصله از مصب نسبت عکس دارد، به‌طوری‌که درشت‌ترین دانه‌ها در دهانه‌ی مصب قرار می‌گیرند، و هر چه در طرفین از

1- channel

2- ebb shoal

3- flow shoal

4- US Army Corps of Engineers

5- Bypassing

6- Jetty

مکان از منطقه بررسی کرد. این شبیه‌جریانهای را در یک سیال تک لایه (به طور عمودی همگن) شبیه‌سازی می‌کند. مدول انتقال رسوب مایک ۲۱ (ST) برای مطالعه‌ی میزان انتقال رسوبات غیرچسبیده تحت اثر جریان و موج به‌کار می‌روند. جریان‌ها شامل: جریان ناشی از باد، جریان جزر و مدی، جریان ناشی از موج یا ترکیبی از این سه می‌باشد. دو رابطه‌ی مختلف انتقال رسوب در مدول ST قابل دسترس، و عبارتند از: روش انتقال بار کلی بایکر و شبیه ST، انتقال رسوب. داده‌های موج و جریان به‌وسیله‌ی سایر مدولهای نرم افزار مایک ۲۱ محاسبه می‌شود (دستورالعمل ال مایک ۲۱، ۲۰۰۷)

مراحل اجرای شبیه

برای بررسی تأثیر جزر و مد بر فرایند رسوبگذاری و فرسایش در دهانه‌ی مصب، شبیه عددی حوضچه‌ی شکل ۲ تحت تأثیر سه مقدار مختلف دامنه‌های جزر و مدی با مقادیر ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ متری اجرا گردید. جدول ۱ مقادیر متغیرها را در هر یک از حالت‌های اجرا نشان می‌دهد.

واسنجی شبیه

به کمک نتایج حاصل از تحلیل حساسیت می‌توان شبیه‌ی را با دقت بالا برپا نمود. این کار بطور کلی نشان می‌دهد که کدام یک از ضرایب ورودی بیشترین تأثیر را بر تغییرات نتایج خروجی دارد. براساس نتایج این قسمت، واسنجی بر پایه‌ی تعداد ضرایب ورودی شبیه انجام می‌گیرد. در این مرحله از نتایج یک گروه اجراهای اولیه جهت سنجش میزان حساسیت تراز و سرعت جزرومد نسبت به ضرایب ورودی شبیه نظیر عدد کورانت تحقق می‌یابد.

ضریب گرانروی گردابه‌ای

به منظور بررسی اثر عدد کورانت بر تراز جزر و مد بر نتایج شبیه‌سازی، شبیه حاضر با ضرایب گرانروی مختلف (۰/۲، ۰/۲۸، ۰/۴ و ۰/۸) برای یک دوره‌ی مشخص اجرا گردیده و نتایج به دست آمده در مناطق مختلف با یکدیگر مورد مقایسه واقع شدند. مقایسه‌ی ترازهای آب در شبیه‌سازی نشان می‌دهد که نسبت به ضریب گرانروی حساسیت ندارند. از

دهانه‌ی مصب دور می‌شویم، اندازه‌ی رسوبها کاهش می‌یابد.

در این تحقیق، به کمک شبیه سازی عددی تأثیر جریان‌های جزر و مدی بر انتقال رسوب، شکل عوارض رسوبی و الگوی جریان‌های جزر و مدی در دهانه‌ی مصبها مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روشها

تشریح حوضه و ابعاد

در این تحقیق حوضچه‌ای برای بررسی‌های عددی مورد استفاده قرار گرفت که ابعاد آن: طول ۳ کیلومتر، عرض ۲/۲ کیلومتر، شیب بستر ۰/۰۱۵، و عرض دهانه‌ی مصب ۱۷۰ متر بود (شکل ۲). برای شبیه‌سازی از یک شبکه‌ی مثلثی ساختار نیافته^۱، با ابعاد ۱۰ تا ۵۰ متری، در یک شبیه تفاضل محدود با گام زمانی ۱ ثانیه‌ای استفاده گردید (شکل ۳). شکل ۳، پستی و بلندی بستر و شبکه بندی آن جهت استفاده در شبیه سازی عددی را نشان می‌دهد. ویژگیهای رسوب مورد استفاده در این مدول به این صورت است که میزان نفوذپذیری دانه‌های ماسه ۰/۴ و قطر دانه‌های رسوبی مقدار ثابت ۰/۲ میلی‌متر می‌باشد.

شبیه آب پویایی و انتقال رسوب بسته‌ی نرم

افزاری مایک ۲۱

نرم‌افزار رایانه‌ای مایک ۲۱ که به‌وسیله‌ی موسسه‌ی هیدرولیک و کیفیت آب دانمارک^۲ توسعه یافته است، دارای قابلیت‌های محاسباتی و نموداری زیادی در زمینه شبیه‌سازی پدیده‌ی مربوط به خورها، دریاچه‌ها، نواحی کم‌عمق ساحلی، خلیجها و دریاهاست. مدول آب پویایی، مدول محاسباتی اصلی نرم‌افزار مایک ۲۱ به حساب می‌آید که بسیاری از مدولهای دیگر این شبیه بر اساس نتایج حاصل از اجرای مدول HD پی‌ریزی شده‌اند. مدول COUPLED MODEL FM ترکیبی از مدول آب پویایی و انتقال رسوب می‌باشد. با به‌کارگیری این مدول می‌توان تغییرات سطح آب و جریانها را در هر

¹ - unstructured flexible mesh

² - Danish Hydraulic Institute & Water Quality institute

افتاده و مصب مدی در بالادست دهانه شکل می‌گیرد (شکل ۸، د). افزایش دامنه‌ی جزر و مد تأثیری بر ماهیت این پدیده نگذاشته و تنها شدت آن را تغییر می‌دهد. بطور کلی می‌توان گفت:

۱- در الگوی جریان ناشی از جزر و مد، چهارگردابه در دو طرف دهانه‌ی مصب ایجاد می‌شود که منجر به رسوبگذاری در دیواره‌های عرضی مصب، و فرسایش در قسمت‌های میانی دهانه می‌گردد.

۲- بر طبق الگوی جریان و فرسایش، گردابه‌ها، آب و رسوب قسمت میانی نهر را به بالا و پایین دست مصب منتقل کرده و تشکیل مصبهای مدی و جزری را می‌دهند.

۳- گردابه‌های ایجاد شده در بالا دست و پایین دست مصب (بدون انتقال رسوب ناشی از جزر و مد) باعث کم عمقی دهانه می‌گردند.

۴- کم عمقی^۱ کناره‌های دهانه از نظر حجم و ابعاد، اهمیتی بسیار دارند. ایجاد مصبهای جزر و مد نیز یک پدیده‌ی مهم می‌باشد.

۵- برای جلوگیری از کم عمقی دهانه می‌توان به احداث اسکله پرداخت، بایستی این جتی در سمت خشکی نیز مقداری به داخل حوضچه ادامه یابد.

ب: ابعاد و موقعیت عوارض رسوبی ایجاد شده به وسیله‌ی جزر و مد

ابعاد ناحیه‌ی رسوبگذاری قبل و بعد از دهانه، و نیز ناحیه‌ی فرسایشی دهانه‌ی مصب در پایان مدت اجرای شبیه‌سازی، در جدول ۲ ارائه شده‌اند. این مقادیر در شکل‌های ۹ و ۱۰ به صورت تابعی از دامنه‌ی جزر و مد رسم شده‌اند. مطابق این شکل‌ها، با افزایش دامنه‌ی جزر و مد، ابعاد عوارض رسوبی در مصب افزایش می‌یابد، هر چند نرخ رشد مصبهای جزری با مدی متفاوتند. تفاوت نرخ رشد مصبهای جزری و مدی را نیز می‌توان از تحلیل Keulegan به دست آورد. طبق این تحلیل هر چقدر تأخیر حالت بین جریان و تراز آب در مصب بیشتر باشد (ضریب پراکندگی کمتر باشد)، اندازه‌ی تفاوت ابعاد مصبهای جزری و مدی بیشتر خواهد بود. باتوجه به شکل ۱۱،

آنجایی که شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان دادند که ضریب گرانروی بر نتایج ترازهای آب ناشی از جزر و مد، تأثیری نداشته، لذا مقدار ثابت ۰/۲۸، که در آیین‌نامه‌ی نرم‌افزار پیشنهاد شده، جهت استفاده در شبیه‌سازی این مطالعات به‌کار گرفته شده است (شکل ۴).

نتایج

شبیه مورد نظر برای دامنه‌ی های ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ متری جزر و مد با تناوب ۶ ساعته اجرا گردید، که نتایج آن در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده‌اند. در شکل‌های ۶ و ۷ توزیع مکانی سرعت و تغییرات بستر در نقشه مسطح و در مقطع طولی حوضچه، و نیز توزیع زمانی آنها برای ۳ نقطه مشخص شده، تحت دامنه‌های مختلف جزر و مد ارائه گردیده‌اند (شکل ۵).

بحث و نتیجه‌گیری

الف: الگوی جریان جزر و مدی در مصب و انتقال رسوب ناشی از آن

با توجه به شکل‌های ۸، می‌توان الگوی جریان و رسوبگذاری در مصب را در چهار وضعیت مختلف تشریح کرد. در زمانهای مد و جزر، جریان قبل از رسیدن به محل دهانه همگرا گردیده، و ضمن عبور از دهانه بر سرعت آن افزوده شده، و پس از عبور از دهانه‌ی مصب جریان مجدداً واگرا شده و به وضعیت قبل از مصب برمی‌گردد (شکل ۸، الف و ج). در این مراحل، دهانه دچار فرسایش شده و در طرفین مصب، مصبهای مدی و جزری شکل می‌گیرند. هنگام تغییر وضعیت از مد به جزر، و یا برعکس، 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. جهت این جریانها طوری است که رسوب را به داخل مصب هدایت کرده و باعث کم عمقی مصب، بخصوص در کناره‌ها می‌شود (شکل ۸ ب). رسوبی که در این مرحله در دهانه ته‌نشین گردیده، پس از تکامل جریان جزری به سمت دریا رانده شده و در سمت دریا، مصب جزری را تشکیل می‌دهد. هنگام تبدیل وضعیت از جزر به مد، دقیقاً عکس این پدیده اتفاق

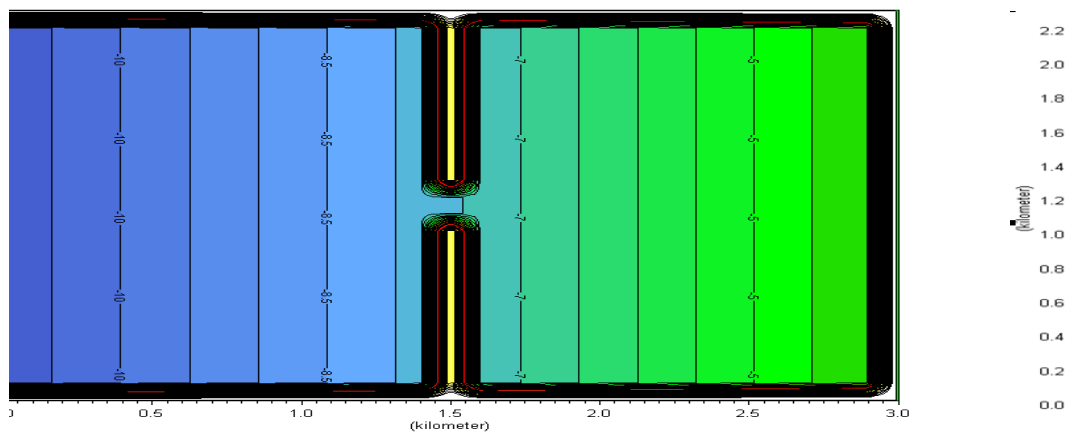
¹ - shoaling

بزرگتر از ۰/۸ است، انتقال رسوب در حالت مد غالب بوده و خالص انتقال رسوب به سمت خلیج است. در دامنه‌ی نیم متری که k کمتر از ۰/۶ می باشد، انتقال رسوب در حالت جزر غالب است.

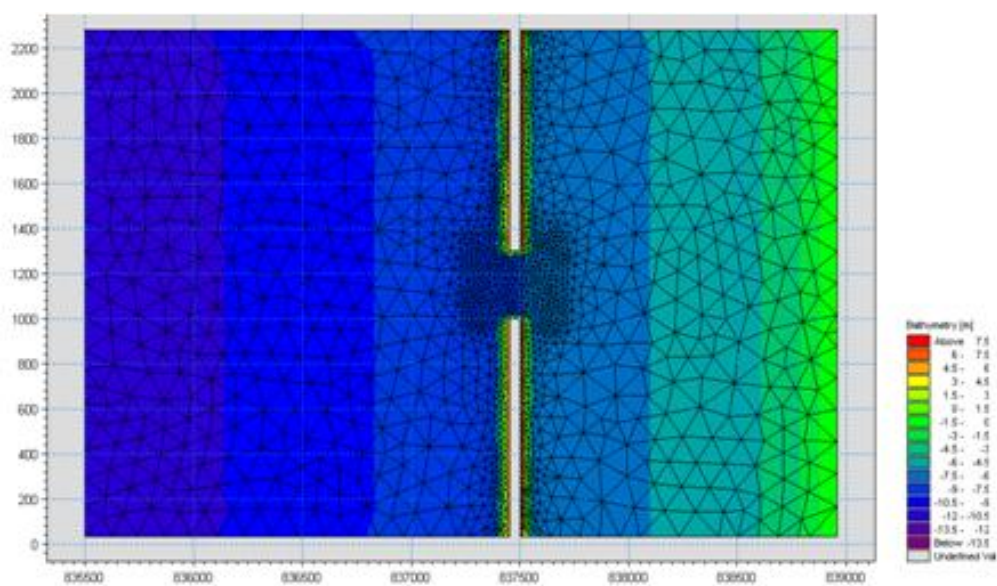
مقادیر تأخیر حالت برای هر دامنه‌ی جزر و مد به‌دست آمده، و به همراه مقادیر ضریب پراکندگی در جدول ۳ ارائه شده‌اند. مطابق با تحلیل Keulegan می‌توان گفت که در دامنه‌ی های ۱ و ۳ متری که k



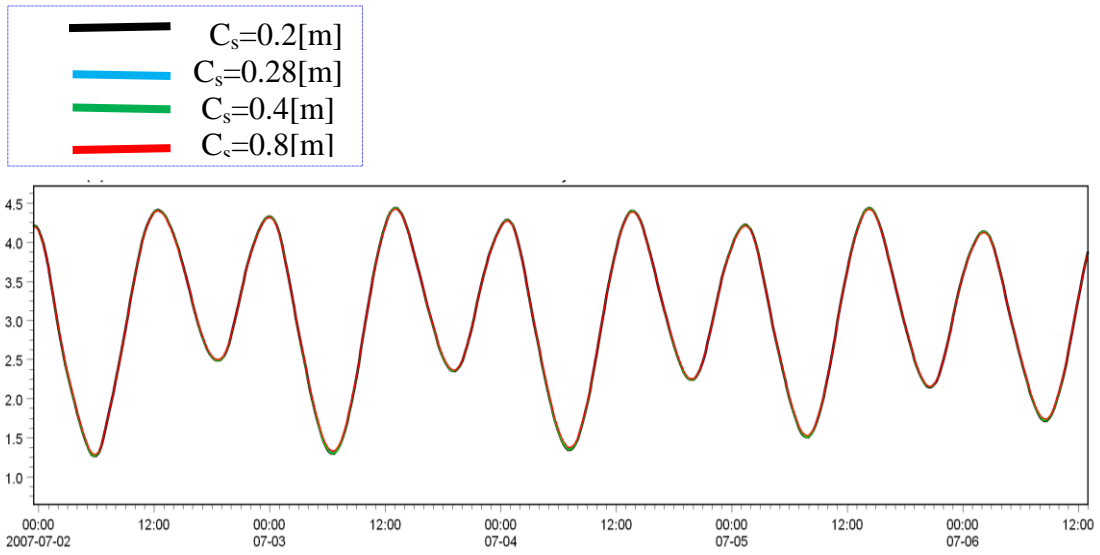
شکل ۱: اجزاء یک مصب جزر و مدی (برگرفته از Seaberg, William)



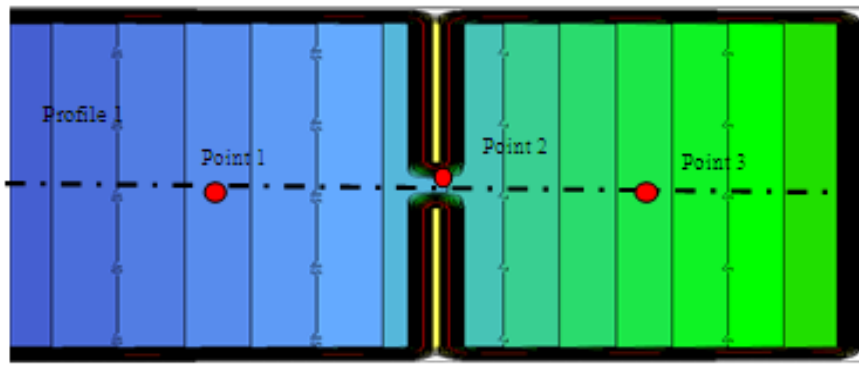
شکل ۲: ابعاد حوضچه‌ی مورد استفاده در شبیه‌سازی.



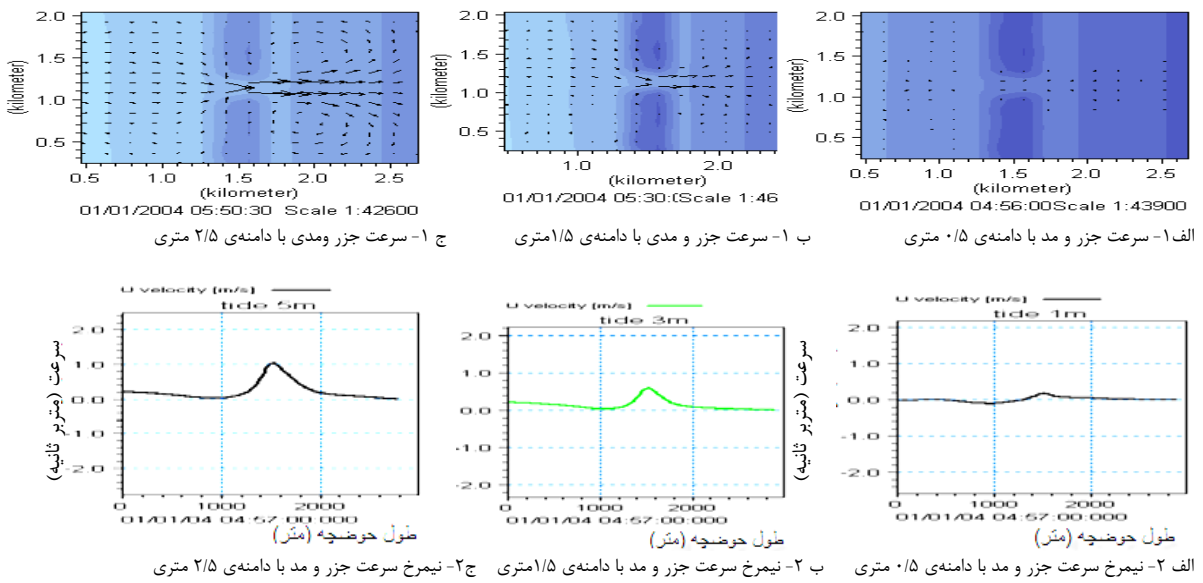
شکل ۳: شبکه بندی مثلثی شبیه



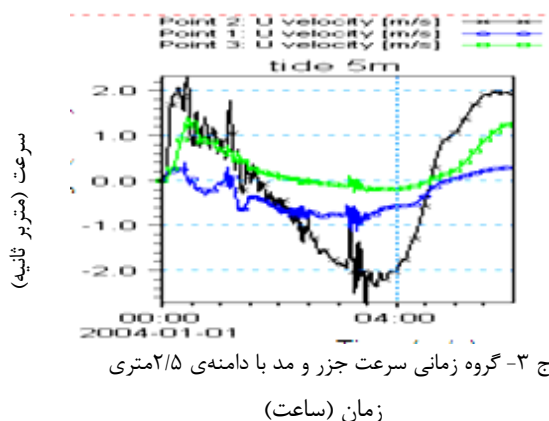
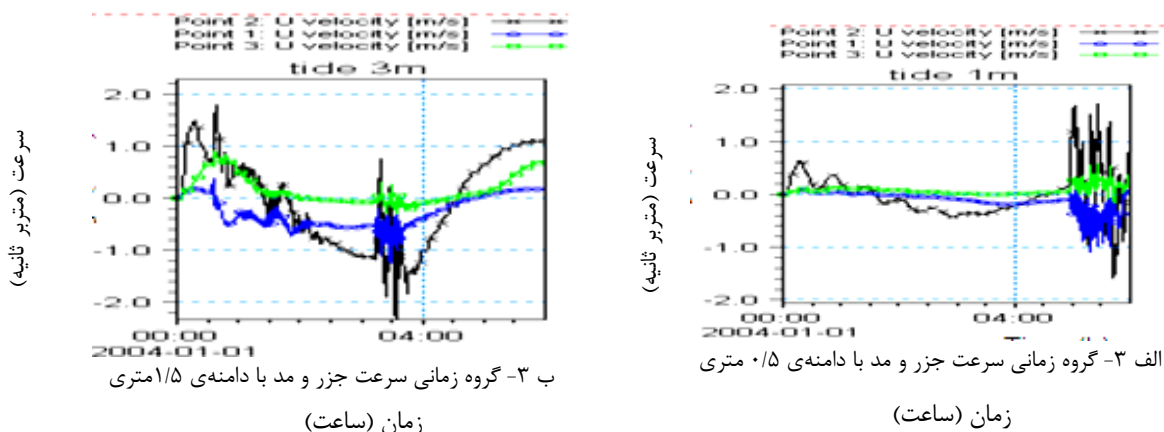
شکل ۴- تأثیر ضریب گرانیوی بر ترازهای جزرومدی.



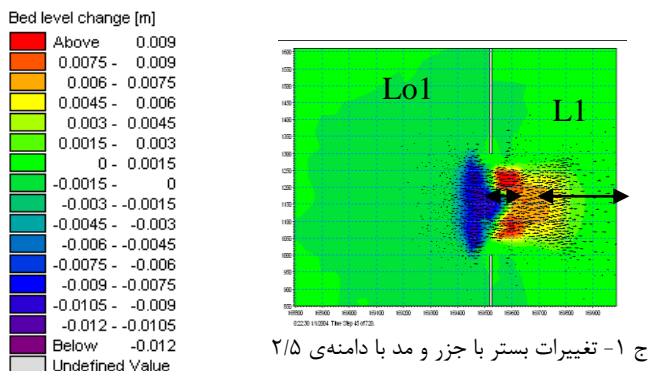
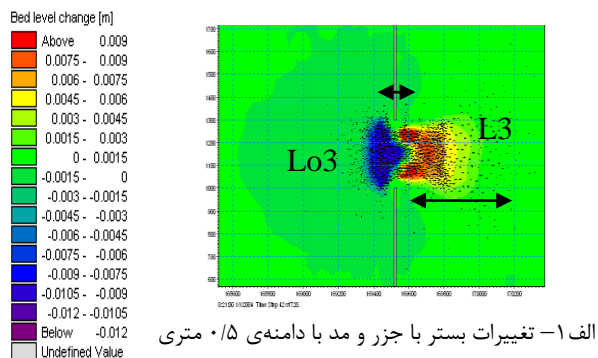
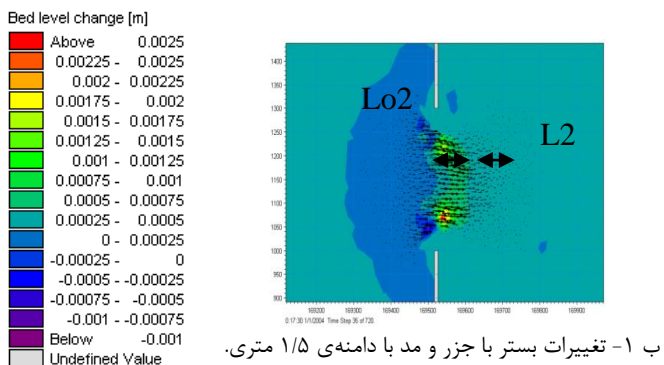
شکل ۵: نقاط و مقطع گرفتن داده ها.



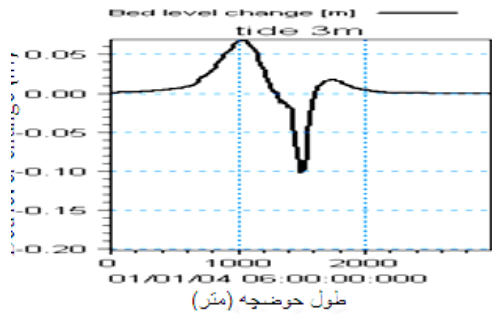
سرعت (متر بر ثانیه)



شکل ۶- مقادیر سرعت به ازای دامنه‌ی های مختلف جزر و مد با تناوب ۶ ساعته.

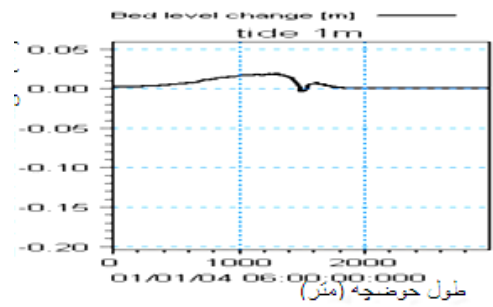


تغییرات بستر (متر)



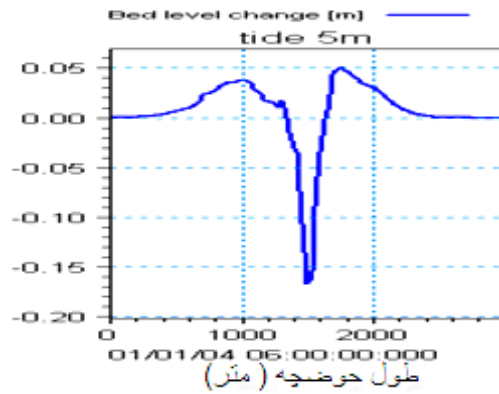
ب ۲- تغییرات بستر با جزر و مدی با دامنه‌ی ۱/۵ متری.

تغییرات بستر (متر)



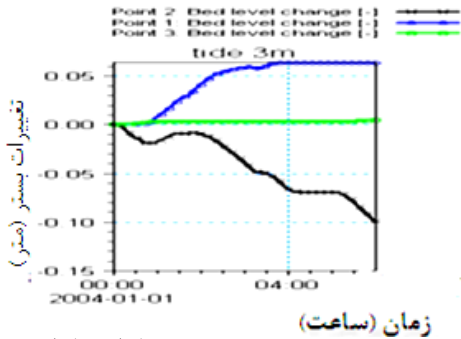
الف ۲- تغییرات بستر با جزر و مد با دامنه‌ی ۰/۵ متری.

تغییرات بستر (متر)



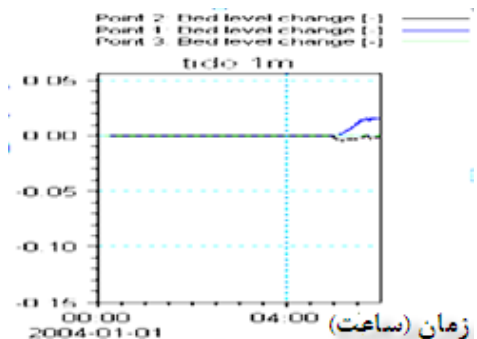
ج ۲- مقدار تغییرات بستر با جزر و مدی با ارتفاع

تغییرات بستر (متر)



با دامنه با دامنه ۱/۵ متری.

تغییرات بستر (متر)

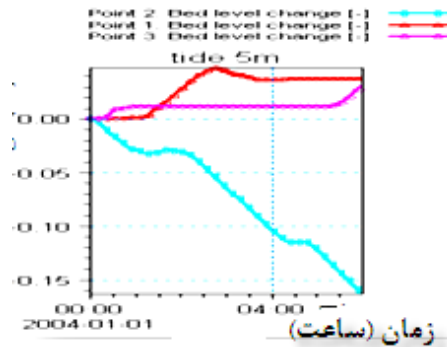


با دامنه ۰/۵ متری.

ب ۳- گروه زمانی تغییرات بستر با جزر و مدی

الف ۳- گروه زمانی تغییرات بستر با جزر و مد

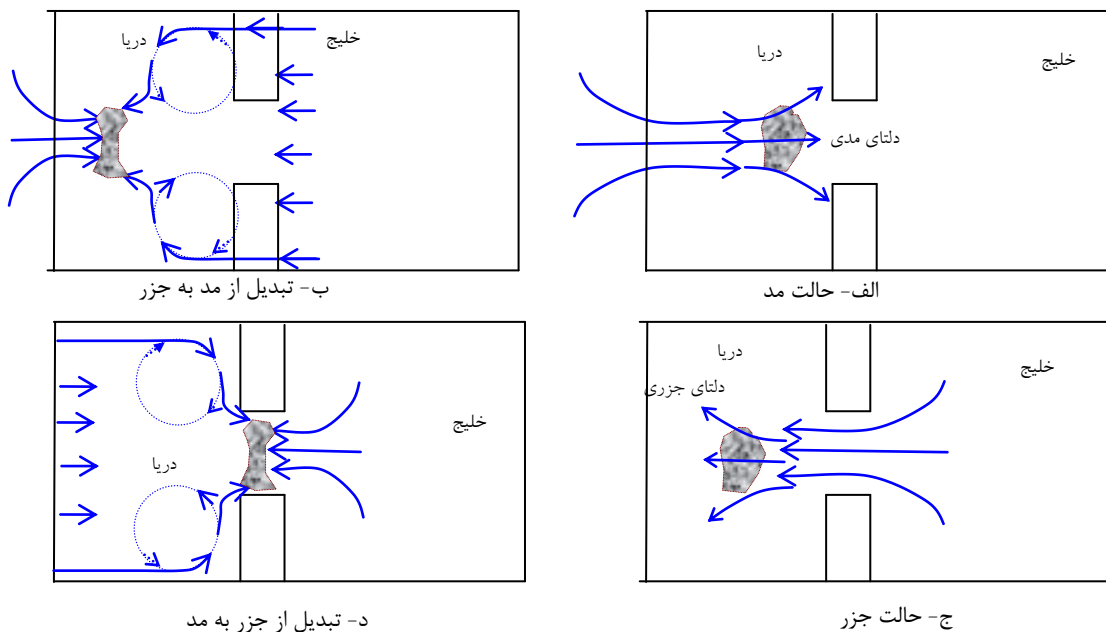
تغییرات بستر (متر)



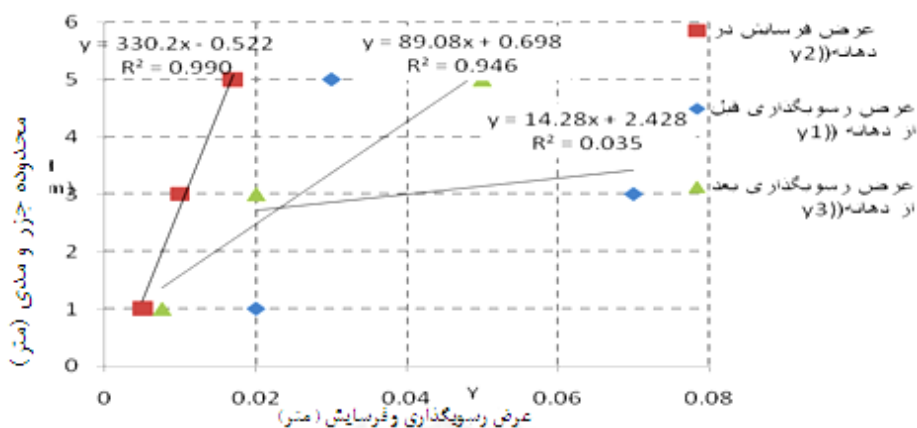
با دامنه ۲/۵ متری.

ج ۳- گروه زمانی تغییرات بستر با جزر و مدی

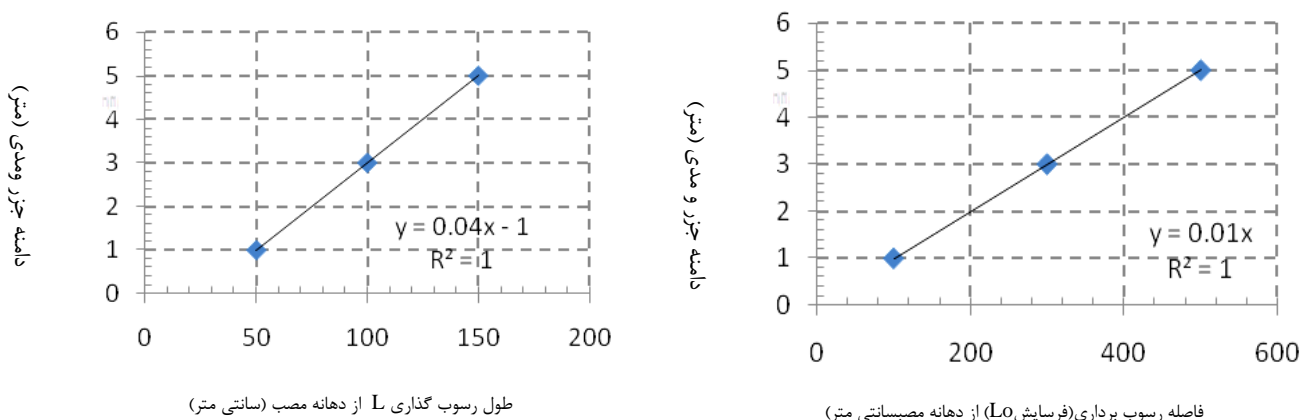
شکل ۷- مقادیر تغییرات بستر به ازای دامنه‌ی های مختلف جزر و مدی با تناوب ۶ ساعته (بر حسب متر).



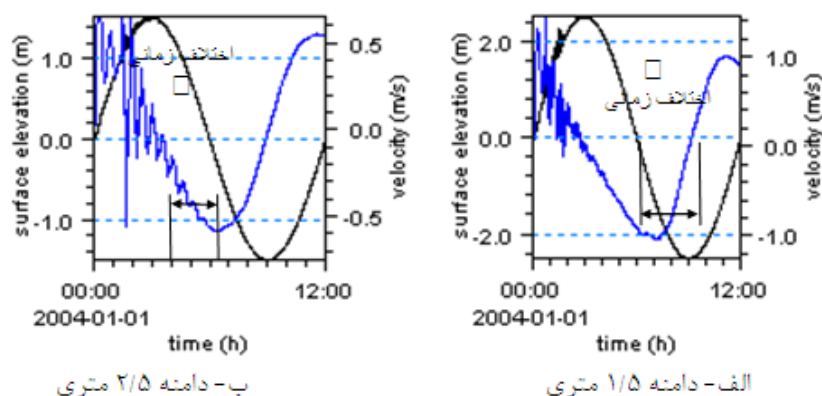
شکل ۸: الگوی جریان جزر و مدی در مصب



شکل ۹- تغییرات عرض فرسایش و رسوبگذاری در سه نقطه‌ی اجرای شبیه براساس دامنه‌های مختلف جزر و مدی.



شکل ۱۰- تغییرات محدوده‌ی جزر و مدی نسبت به فاصله‌ی رسوبگذاری و رسوب برداری از دهانه‌ی مصب (L, L0) بر حسب متر) تناوب ۶ ساعته.



شکل ۱۱- نمودارهای جزر و مد دریا و سرعت جریان در مصب برای دامنهی های مختلف جزر و مدی.

جدول ۱- فراسنجهای متغیر در اجرای شبیه.

حالت اجرا	تناوب جزرومد (ساعت)	دامنه‌ی جزرومد (متر)	عمق آب در دهانه (متر)
۱	۶	۰/۵	۳/۱
۲	۶	۱/۵	۳/۱
۳	۶	۲/۵	۳/۱

جدول ۲- مقادیر طول و عرض فرسایش و رسوبگذاری در دهانه و قبل از آن برای دامنهی های مختلف جزر و مدی.

	محدوده جزر و مد (متر)	رسوبگذاری قبل از دهانه	رسوبگذاری بعد از دهانه	فرسایش در دهانه
طول مصب رسوب (m)	۰/۵	۲۰۰	۴۰۰	۱۰۰
	۱/۵	۶۰۰	۴۰۰	۱۵۰
	۲/۵	۷۰۰	۴۵۰	۱۵۰
عرض مصب (رسوب Y) (cm)	۰/۵	۲	۰/۷۵	۰/۵
	۱/۵	۷	۲	۱۰
	۲/۵	۳	۵	۱۷

جدول ۳- مقادیر ضریب پرکنندگی با توجه به اختلاف حالت (شکل ۱۰) برای دامنهی های مختلف جزر و مدی.

محدوده جزر و مد (متر)	اختلاف حالت (درجه) (ε)	ضریب پرکنندگی (k)
۰/۵	۳۰	۱
۱/۵	۳۹	۰/۷۸
۲/۵	۴۸	۰/۵۸

- Fiechter, J. 2006. Hydrodynamics and sediment transport in a southeast Florida tidal inlet. Science Direct, USA. 70:297-306.
- Militello, A., and C. Kraus. 2003. Numerical simulation of sediment pathways at an idealized inlet and ebb shoal. Published by World Scientific Publishing Corp. and East Meets West Productions.
- US. Army Corps of Engineers. 2003. Sediment management at inlets. US

منابع

- عطایی آشتیانی، ب.، ونجفی جیلانی، ع. ۱۳۸۴. مهندسی سواحل هیدرودینامیک سواحل. ۳۹۳ - ۴۷۰.
- Dissanayake, K. 2009. Modelled channel patterns in a schematized tidal inlet. J. Coast. Eng. homepage:www.elsevier.com
- Danish Hydraulic Institute. 2007. Manual of MIKE21.

- Government Publishing Service, Washington DC. Part4, Chapter 6: 1-57.
7. US. Army Corps of Engineers. 2002. Hydrodynamics of tidal inlets, US Government Publishing Service, Washington DC. Part 2, Chapter 6: 1-43.
 8. Seabergh, W.C., D.B. King, and B.E. Stephens. 2001. Tidal inlet equilibrium area experiments. Inlet laboratory investigations. Engineering Research and Development Center. MS Coastal and Hydraulics Laboratory Vicksburg.
 9. Seabergh, W.C. 2001. Coastal inlet bank erosion. National conference on Reach Preservation Technology.

