دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک

دورهٔ نهم، شمارهٔ اول (بهار و تابستان ۱۴۰۲)؛ صفحات ۶۹-۶۳

مقالهٔ پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.1.5.0

درصد همانندی: ۰٪

پیش‌بینی غلظت رسوبات معلق با استفاده از مدل عددی (مطالعه موردی: کانال بوشهر)

حسین علی‌پور[۱]، سارا اله یاری بیک[۲*]، امیرحسین جاوید[۳]، سید احمد میرباقری[۴]

[۱]دانشجوی دکترا، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
darvin.alip@gmail.com

[۲*] نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
s.allahyari@srbiau.ac.ir

[۳]استاد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
a.javid@srbiau.ac.ir

[۴]استاد، گروه عمران، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران.
mirbagheri@kntu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

چکیده

بندر بوشهر مرکز استان بوشهر در جنوب غربی ایران است که به دلیل عواملی مانند صیادی، وجود نیروگاه اتمی، کشتی‌سازی و صادرات از این بندر، رشد اقتصادی قابل‌توجهی داشته است. مسیر دسترسی به بندر بوشهر از دو کانال دسترسی حیاتی می‌گذرد: کانال دسترسی بیرونی در خلیج بوشهر و کانال دسترسی درونی در خور سلطانی. عملیات لایروبی حوضچه‌ها و کانال‌های دسترسی برای حفظ عمق ایمن و تأمین امنیت ناوبری ازجمله فعالیت‌های ضروری است که هزینه‌های عملیاتی زیادی را به دنبال دارد. برای برنامه‌ریزی بلندمدت، نیاز به داده‌های زمانی گسترده و پیوستگی مکانی بالا برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی و زیرساختی وجود دارد.

در این مطالعه، شبیه‌سازی انتقال رسوب در کانال دسترسی بوشهر با استفاده از مدل عددی مایک (MIKE 21) انجام شد و دقت نتایج بررسی شد. داده‌های هیدروگرافی و اطلاعات لایروبی از سال‌های گذشته به‌عنوان منابع موجود برای بررسی استفاده شدند. اطلاعات لایروبی برای سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۹ و داده‌های هیدروگرافی برای دوره‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۰ در دسترس هستند. بررسی میزان لایروبی انجام‌شده در سال‌های گذشته، علاوه بر ایجاد درک بهتر از ابعاد مسئله و تعیین شدت رسوب‌گذاری در قسمت‌های مختلف کانال برای انجام قضاوت‌های مهندسی و بررسی نتایج مدل‌های عددی نیز مفید است.

نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که بخش‌های مختلف کانال دسترسی دارای نرخ‌های متفاوتی از رسوب‌گذاری هستند. در زمان مد، بیشترین میزان انتقال رسوب در محدوده‌های خور سلطانی و لشکری است. همچنین کانال واقع در بالادست جزیره عباسک به‌واسطه سرعت‌های بالای کشندی پتانسیل انتقال رسوب بالایی را از خود نشان داده است این مهم نیاز به برنامه‌ریزی‌های متفاوتی برای لایروبی و مدیریت رسوب را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج مدل‌سازی با داده‌های هیدروگرافی و اطلاعات لایروبی گذشته، تطابق خوبی را نشان داد و دقت مدل در پیش‌بینی نرخ‌های رسوب‌گذاری تأیید شد.

واژه‌های کلیدی: غلظت رسوبات معلق، مدل‌سازی عددی، کانال دسترسی بوشهر

۱. مقدمه

بندر بوشهر مرکز استان بوشهر از استان‌های جنوب غربی ایران است که به خاطر عواملی مانند صیادی، وجود نیروگاه اتمی، کشتی‌سازی و صادرات از این بندر، رونق اقتصادی گرفته است. بنادر و اسکله‌های استان بوشهر شامل بندر تجاری بوشهر و سایر بنادر و اسکله‌های تجاری، صیادی، نفتی، صنعتی و ... است که تحت نظارت اداره کل بنادر و دریانوردی استان بوشهر مستقر در بندر بوشهر فعالیت می‌کنند. استان بوشهر به دلیل وجود منابع عظیم نفت و به‌ویژه گاز پایتخت انرژی ایران لقب گرفته است. عملیات لایروبی حوضچه‌ها و کانال‌های دسترسی برای نگهداری و حفظ عمق ایمن و تأمین امنیت ناوبری آن‌ها ازجمله فعالیت‌های لازم در دوران بهره‌برداری بنادر است که هزینه‌های عملیاتی گزافی در پی دارد. این بندر توسط دو کانال دسترسی داخلی و خارجی لایروبی شده، به آب‌های عمیق متصل می‌شود. به علت اینکه در کانال دسترسی آن رسوبات ریزدانه به‌راحتی و با سرعت بالا ته‌نشست می‌کنند، در بهره‌برداری از تأسیسات بندری بوشهر اشکالاتی ایجاد می‌شود. به همین دلیل لایروبی مداوم و پرحجم کانال‌های دسترسی بندر بوشهر ضروری است که یکی از مشکلات عمده این بندر است. طبق اظهارات مسئولان محلی بندر بوشهر، شدت رسوب‌گذاری به‌اندازه‌ای است که اگر یک سال عملیات لایروبی انجام نگیرد، بندر با مشکل روبه‌رو خواهد بود. با توجه به آمارهای ارائه‌شده سازمان بنادر و دریانوردی ایران، در رابطه با لایروبی کانال بوشهر در سال ۱۳۷۹، نرخ متوسط لایروبی کانال دسترسی بوشهر به ۱/۲ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد. بنابراین سالانه هزینه‌ای بالغ بر ۱/۵ میلیارد تومان صرف لایروبی سالانهٔ این کانال می‌شود. در کانال دسترسی بوشهر به دلیل رسوب‌گذاری شدید، امکان ورود شناورها با عمق آبخور بالا فراهم نیست. بنابراین تخلیه بار غیرمستقیم انجام می‌شود. از طرف دیگر برای انتقال کشتی‌ها با بار زیاد به بندر و پهلوگیری آن‌ها، شناخت رسوب‌گذاری و عوامل مؤثر آن در ساحل و کانال دسترسی، ضروری به نظر می‌رسد. بررسی وضعیت انتقال رسوب در بستر دریا و کانال‌ها معمولاً به روش‌های اندازه‌گیری میدانی یا مدل‌سازی‌های عددی انجام می‌شود. یکی از روش‌های معتبر در تعیین حجم رسوب‌گذاری در بنادر و کانال‌های دسترسی آن‌ها، استفاده از داده‌های عمق‌یابی دقیق یا چارت‌های هیدروگرافی با دقت مناسب در آن محدوده است. تهیه این نقشه‌ها نیازمند صرف وقت و هزینه بالاست و هیچ درکی از آینده کانال به‌دست نمی‌دهد. اهمیت پیش‌بینی میزان انتقال رسوب از این نظر اهمیت زیادی دارد که بررسی و تحلیل لایروبی‌های موجود و نرخ رسوب‌گذاری در دوره‌های مختلف، می‌تواند گام مؤثری برای برنامه‌ریزی مناسب‌تر عملیات لایروبی دوره‌های بعد باشد، همچنین می‌توان عوامل مؤثر بر روند رسوب‌گذاری را تشخیص داد و با بررسی آن‌ها در جهت کاهش نرخ رسوب‌گذاری اقدام نمود و به راهکارهایی جهت انتقال این رسوبات به نواحی دیگر دست یافت. به‌عنوان‌مثال می‌توان با توجه به بررسی اطلاعات حاصله در مورد تأثیر احداث یک سازه جدید با توسعه سازه‌های موجود در موقعیتی مناسب برای کاهش روند رسوب‌گذاری در کانال دسترسی اطلاعات مقدماتی را به‌دست آورد و موجب افزایش توان بهره‌وری از بندر و کاهش هزینه‌های عملیاتی آن شد [۱]. کانال بوشهر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خورهای مهم کشور تحت‌تأثیر رسوب‌گذاری فراوانی قرار دارد. شبیه‌سازی این رسوبات با توجه به وجود اسکله‌های بسیار مهم در این محدوده اهمیت زیادی دارد. مطالعات بسیاری درزمینهٔ بررسی رسوبات کانال دسترسی بوشهر انجام‌گرفته است. در پروژه پایش و مطالعات شبیه‌سازی سواحل کشور از طرف سازمان بنادر و دریانوردی به‌منظور یکپارچه‌سازی بانک اطلاعاتی پارامترهای دریایی انجام‌شده، در فازهای دوم و سوم خود به سواحل استان بوشهر پرداخته است و خلیج بوشهر با توجه به اهمیت بالای آن، به‌عنوان یکی از نقاط خاص این مطالعات با دقت و جزئیات بیشتری مورد ارزیابی و تحلیل قرارگرفته است. در این پروژه الگوی جریان‌های کشندی و الگوی کلی رسوب‌گذاری در منطقه بوشهر بررسی شده است. زنگانه و حاج مؤمنی در سال ۱۳۹۵ [۲]، به بررسی فرایند رسوب‌گذاری در کانال بوشهر با استفاده از نرم‌افزار مایک۲۱ پرداختند. در این تحقیق وضعیت جریانات

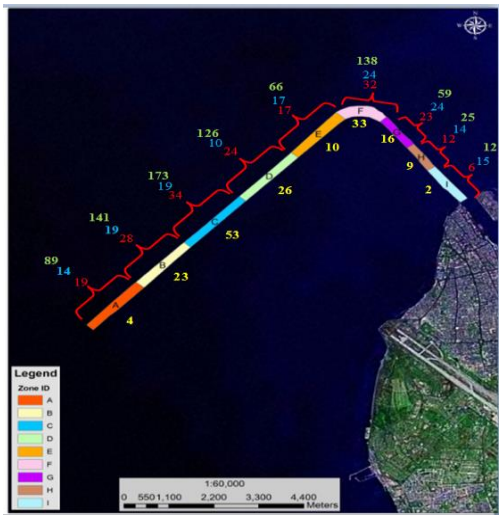
و نوسانات کشندی با دقت بیشتری در محدوده طرح مورد ارزیابی قرار گرفت؛ سپس با استفاده از غلظت رسوبات معلق ثبت‌شده در نقاط مختلف کانال بوشهر روند رسوب‌گذاری در این محل به‌وسیله ماژول MT در نرم‌افزار مایک۲۱ مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که در هرسال میزان رسوب‌گذاری در داخل خور بوشهر از حدود ۱ سانتی‌متر در جلو اسکله شرکت بازرگانی و خدمات بندری ایران تا ۲۲ سانتی‌متر در محل اسکله کوثر متغیر است. عاربی و همکاران در سال ۱۳۹۰، با شبیه‌سازی دوبعدی الگوی جریان و انتقال رسوب در کانال کشندی خلیج بوشهر، عوامل مؤثر بر انتقال رسوب در کانال را موردبررسی قرار داده‌اند [۳]. مدل‌سازی عددی به کمک نسخه تجاری نرم‌افزار مایک۲۱ انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که جریان کشندی بیشترین تأثیر در انتقال رسوب به کانال را دارد. هدف تحقیق حاضر بررسی عملکرد مدل تجاری مایک۲۱ در شبیه‌سازی میزان انتقال رسوب در کانال بوشهر است و بررسی این مهم که برای شرایط پیچیده این کانال آیا امکان مدلسازی‌های عددی با دقت قابل‌قبول وجود دارد یا خیر؟

۲. مواد و روش‌ها

در این مطالعه برای بررسی نرخ رسوب‌گذاری در کانال بوشهر از دو دسته داده‌های هیدروگرافی و لایروبی‌های انجام شده استفاده شده و این داده‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. داده‌های هیدروگرافی به دو دسته قبل و بعد از لایروبی سال ۱۳۸۶ تقسیم شد تا با فرض تغییر مقطع کانال نرخ رسوب‌گذاری در مناطق مختلف کانال، در ادوار مختلف بررسی شود.

در شکل ۱ رنگ‌بندی‌های نمایش داده‌شده به شرح زیر است:

- اعداد قرمزرنگ: متوسط احجام به‌دست‌آمده از مقایسه هیدروگرافی‌های مختلف به‌صورت سالانه؛
- اعداد آبی‌رنگ: احجام به‌دست‌آمده از مقایسه هیدروگرافی‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ (قبل از لایروبی)؛
- اعداد سبزرنگ: احجام به‌دست‌آمده از مقایسه هیدروگرافی‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹؛
- اعداد زردرنگ: احجام به‌دست‌آمده از متوسط لایروبی‌های انجام‌شده از سال‌های مختلف.



شکل ۱. متوسط تغییرات حجم سالانه در واحد طول کانال در بخش‌های مختلف آن (اعداد برحسب مترمکعب بر متر در سال می‌باشند) (سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۳۹۱)

همان‌طور که از این شکل پیداست، مقایسه متوسط احجام واحد طول برای هیدروگرافی‌های سالانه و دوره انتخابی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶ (قبل از لایروبی) نتایج مشابه قابل قبولی را ارائه نموده است. دوره بعد از لایروبی (۱۳۸۸ تا ۱۳۸۹) نرخ رسوب‌گذاری در مقاطع مختلف کانال افزایش یافته و به‌طورکلی در حدود ۵ برابر بزرگ‌تر شده است [۴]. همچنین بحرانی‌ترین بخش‌ها از منظر رسوب‌گذاری نواحی میانی کانال بیرونی) نواحی B تا D به‌خصوص (C و در ناحیه پیچ کانال به‌دست‌آمده است.

برای شبیه‌سازی انتقال رسوب از مدل عددی مایک۲۱ استفاده شده است. ماژول‌های مختلفی که در این نرم‌افزار قرار داده شده است؛ امکان بررسی فرایندهای مربوط به رسوب را به‌صورت یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی فراهم آورده است و از این حیث می‌توان این مجموعه را کامل‌ترین نوع مدل‌های عددی درزمینهٔ مطالعات رسوبی دانست [۵]. محیط کاربرپسند و سهولت استفاده از ماژول‌های مختلف، امکانات انتخاب نوع خروجی‌های مختلف و انجام پس پردازش‌های دلخواه از دیگر ویژگی‌های نرم‌افزاری این مجموعه قدرتمند است [۶]. که آن را از سایر مجموعه‌های

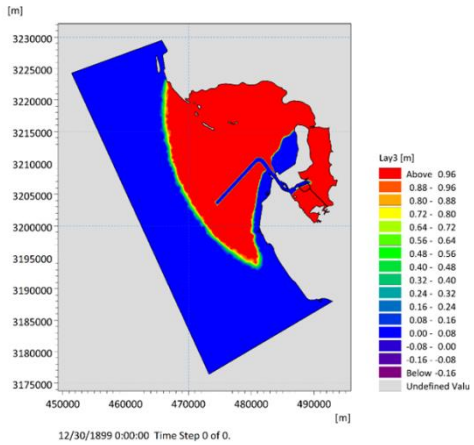
نرم‌افزاری مشابه متمایز می‌نماید. با توجه به اندازه ذرات رسوب که بالاتر موردبررسی قرار گرفت، مدل Mud transport برای شبیه‌سازی انتقال رسوب در این مطالعه به کار گرفته شده است [۷]. این مدل که طبق پیشنهاد توسعه‌دهندگان آن برای رسوبات چسبنده و ریزتر از ۶۳ میکرون قابل‌استفاده است، طی فرایند زیر محاسبات مربوط به انتقال رسوب ریزدانه را انجام می‌دهد: ابتدا جریان‌ها و اختلاط آشفتگی توسط مدل هیدرودینامیک شبیه‌سازی می‌شود. سپس شبیه‌سازی پروسه‌های Advection-dispersion توسط ماژول هیدرودینامیک صورت می‌پذیرد. درنهایت مدل MT لینک شده به مدل هیدرودینامیک فرسایش، رسوب‌گذاری و فرایندهای انتقال رسوب را شبیه‌سازی می‌کند. مقادیر اختصاص داده شده به مدل رسوب در جدول یک آورده شده است. این مقادیر با تکرار شبیه‌سازی‌ها و انجام کالیبراسیون برای رسیدن به نتایج بهینه به‌دست‌آمده است.

جدول ۱. مقادیر اختصاص داده‌شده به متغیرهای مدل رسوب

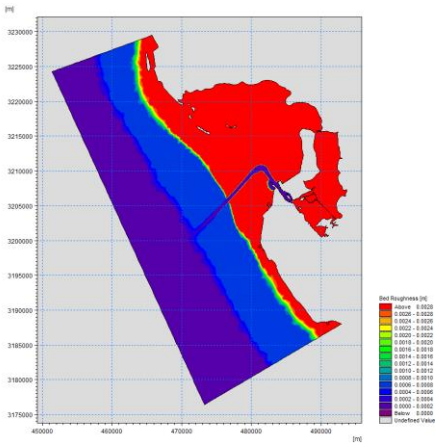
Number of layers	۲
Number of fractions	۴
Sand Fraction (mean settling velocity m/s)	۰/۰۱۴
Other fractions (settling velocity m/s)	۰/۰۰۰۰۱ ۰/۰۰۰۱ ۰/۰۰۱
Horizontal Dispersion Scale eddy viscosity	۵

توزیع لایه رسوبی در منطقه موردمطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است، همچنین شکل ۳ توزیع زبری در منطقه خلیج بوشهر را نشان می‌دهد. این توزیع مبتنی بر عمق آب انتخاب شده است طوری که با افزایش عمق تأثیر زبری با کاهش ارتفاع آن کاهش یافته است. همچنین در کانال دسترسی زبری کاهش داده شده است تا فرصت لازم برای نشست رسوب فراهم شود.

شکل ۴ توزیع سالیانه انرژی امواج و خط قرمز مشخص‌شده در آن متوسط انرژی امواج در دوره بلندمدت ۳۷ ساله را نشان می‌دهد. به دلیل نقش بیشتر امواج در فرایند رسوب‌گذاری در محدوده کانال خارجی، برای تعیین ضریب مورفولوژی در مدل انتقال رسوب، از توزیع انرژی امواج در ماه‌های مختلف در طول سالیان گذشته استفاده شده است.

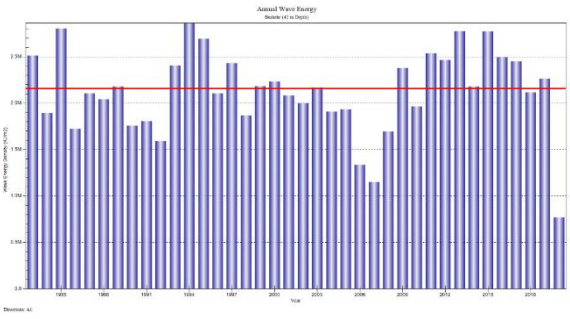


شکل ۲. توزیع لایه رسوب در نظر گرفته‌شده برای شبیه‌سازی



شکل ۳. توزیع زبری در نظر گرفته‌شده برای مدل رسوب

ضریب مورفولوژی فاکتور زمان را در مدل‌سازی‌های کوتاه‌مدت در محاسبات حجم رسوب‌گذاری لحاظ می‌کند تا در ماه‌هایی که انرژی امواج غالب است، تأثیر بیشتری بر رسوب‌گذاری این منطقه لحاظ شود. به کمک ضریب مورفولوژی می‌توان اجرای کوتاه‌مدت را به اجرای بلندمدت تعمیم داد. برای دوره مدل‌سازی، سال ۲۰۰۳ که تقریباً برابر با انرژی متوسط بلندمدت انرژی امواج است و ماه مارس همان سال به‌عنوان یکی از ماه‌های پرانرژی انتخاب شده است. در این راستا با توجه به نسبت ۱ به ۸/۷ برابری انرژی امواج ماه مارس به کل سال ۲۰۰۳ از ضریب مورفولوژی ۹ استفاده شده است.



شکل ۴. توزیع انرژی امواج در محدوده موردمطالعه در حدفاصل سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۲۰ (خط قرمز: متوسط انرژی امواج)

۳. تئوری و محاسبات

در معادله اساسی که در ماژول مایک استفاده می‌شود، معادله انتقال- پخش غلظت به شرح زیر است:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t}+u\frac{\partial \bar{c}}{\partial t}+v\frac{\partial \bar{c}}{\partial t}= \frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial x}(hD_x\frac{\partial \bar{c}}{\partial x})+\frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial y}(hD_y\frac{\partial \bar{c}}{\partial y})+Q_LC_L\frac{1}{h}-S \quad (۱)$$

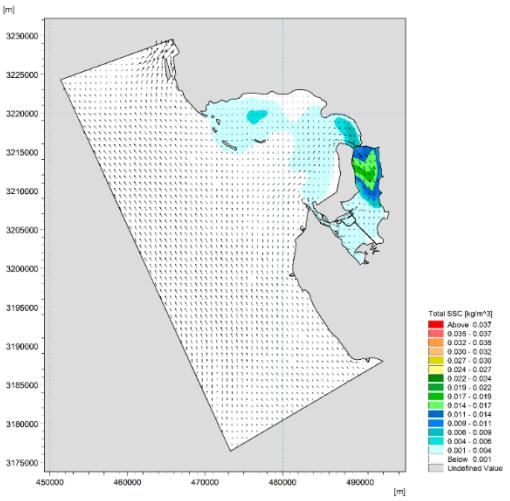
که در آن $\bar{C}$ غلظت میانگین در عمق، u و v سرعت‌های جریان میانگین در عمق، Dx و Dy ضرایب پخش، h عمق آب، S عبارت رسوب‌گذاری و فرسایش، QL دبی ورودی در واحد مساحت و CL غلظت خروجی چشمه را نشان می‌دهد.

۴. یافته‌ها

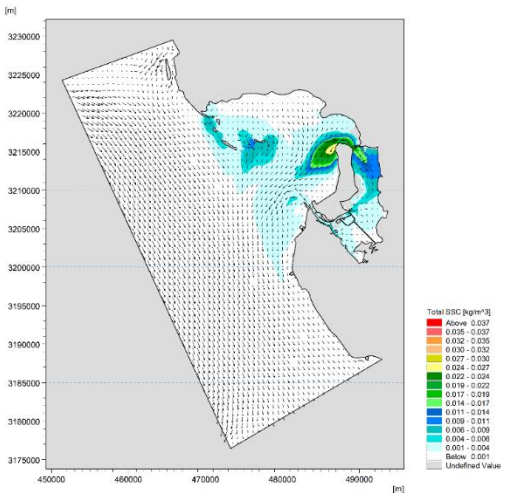
الگوی انتقال رسوبات معلق برای زمان مد و زمان جزر به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل‌ها پیداست، در زمان مد، بیشترین میزان انتقال رسوب در محدوده‌های خور سلطانی و لشکری است. همچنین، کانال واقع در بالادست جزیره عباسک به‌واسطه سرعت‌های بالای کشندی پتانسیل انتقال رسوب بالایی را از خود نشان داده است. همچنین ناحیه مرکزی خلیج واقع در خور دیر پتانسیل انتقال رسوب قابل‌توجهی را از خود نشان داده است. در حالت جزر، الگوی انتقال رسوبات در تمامی مناطق ذکرشده به سمت بیرون خلیج تغییر جهت می‌دهد.

در زمان مد بخش داخلی کانال دسترسی، پتانسیل نرخ انتقال رسوب بیشتری را داشته است. با بررسی الگوی انتقال رسوبات عمود بر کانال مشاهده می‌شود که نرخ انتقال رسوب در این حالت در کانال خارجی بیشتر بوده است. همچنین در مقاطع عمود بر راستای کانال نیز مشاهده شده که در زمان جزر پتانسیل انتقال رسوبات بیشتر بوده است.

در منطقه مرکزی خلیج (واقع در خور دیر) انتقال رسوب حداکثر به سمت میانه کانال دسترسی خارجی حرکت کرده است.

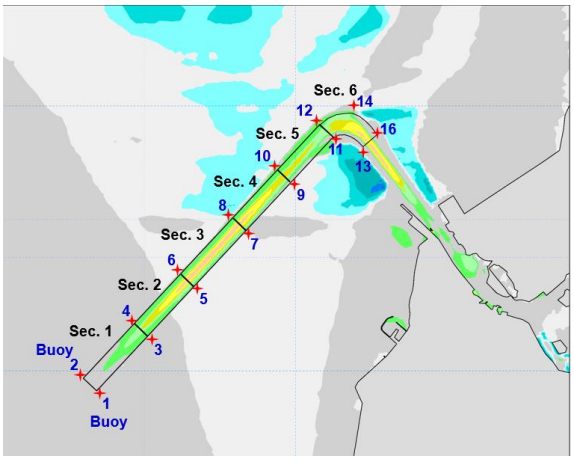


شکل ۵ چگالی لحظه‌ای رسوبات معلق[1] در زمان مد

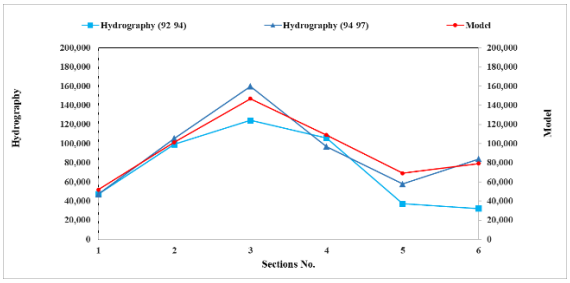


شکل ۶. چگالی لحظه‌ای رسوبات معلق در زمان جزر

جهت صحت‌سنجی نتایج مدل انتقال رسوب نتایج به‌دست‌آمده از مدل با داده‌های هیدروگرافی موجود در شش بخش کانال (شکل ۷) با نتایج مدل مقایسه شد که در شکل ۸ نشان داده و از تطابق خوبی برخوردار است.



شکل ۷. موقعیت‌های مربوط به گزارش سالانه رسوب‌گذاری



شکل ۸. مقایسه عملکرد پیش‌بینی مدل (خط قرمز) با نتایج حاصل از هیدروگرافی‌های دوره‌ای (خطوط آبی)

۵. بحث

در این مطالعه، الگوی انتقال رسوبات معلق در کانال دسترسی بوشهر بررسی شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که الگوی انتقال رسوب در زمان‌های مد و جزر به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است. در زمان مد، بیشترین میزان انتقال رسوب در محدوده‌های خور سلطانی و لشکری مشاهده شد. این نتایج با توجه به ویژگی‌های هیدرودینامیکی منطقه، شامل افزایش سرعت جریان در این نواحی، قابل تفسیر است. همچنین کانال واقع در بالادست جزیره عباسک به‌واسطه سرعت‌های بالای کشندی پتانسیل انتقال رسوب بالایی را از خود نشان داده است. این موضوع می‌تواند ناشی از تغییرات شدید سرعت جریان در این ناحیه باشد که به افزایش میزان انتقال رسوبات منجر می‌شود.

در ناحیه مرکزی خلیج واقع در خور دیر نیز پتانسیل انتقال رسوب قابل‌توجهی مشاهده شد که می‌تواند به دلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی و جریان‌های قوی منطقه باشد. در زمان جزر، الگوی انتقال رسوبات به سمت بیرون خلیج تغییر جهت داد. این تغییر الگو به‌طور کلی با الگوهای کشندی منطقه و تغییرات در سرعت و جهت جریان‌ها قابل تبیین است.

مقایسه نتایج مدل با داده‌های هیدروگرافی موجود در شش بخش کانال نشان از تطابق خوب نتایج مدل با داده‌های مشاهداتی داشت. این تطابق نشان‌دهنده دقت و صحت مدل در شبیه‌سازی الگوهای انتقال رسوب است. بااین‌حال، مطالعه حاضر محدودیت‌هایی نیز داشت. متاسفانه غیر از اطلاعات هیدروگرافی سالانه منابع یا مطالعات شبیه‌سازی دیگری که بتوان میزان دقت مدل در شبیه‌سازی انتقال رسوبات معلق در منطقه را بررسی کرد وجود نداشت که امکان مقایسه‌های کمی و کیفی در این زمینه را محدود ساخته است.

۶. نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که بخش‌های مختلف کانال دسترسی بوشهر دارای نرخ‌های متفاوتی از رسوب‌گذاری هستند که این تفاوت‌ها به الگوهای جریان و ویژگی‌های هیدرودینامیکی منطقه مرتبط است. در زمان مد، بیشترین میزان انتقال رسوب در محدوده‌های خور سلطانی و لشکری مشاهده شد. همچنین، کانال واقع در بالادست جزیره عباسک به واسطه سرعت‌های بالای کشندی، پتانسیل انتقال رسوب بالایی را نشان داده است. این یافته‌ها نشان‌دهنده نیاز به برنامه‌ریزی‌های متفاوت و خاص برای لایروبی و مدیریت رسوب در این مناطق است تا از انسداد کانال و کاهش کارایی آن جلوگیری شود.

مقایسه نتایج مدل‌سازی با داده‌های هیدروگرافی و اطلاعات لایروبی گذشته، تطابق خوبی را نشان داد که دقت مدل در پیش‌بینی نرخ‌های رسوب‌گذاری را تأیید می‌کند. این تطابق نشان‌دهنده قابلیت مدل در بازتولید شرایط واقعی و پیش‌بینی رفتارهای رسوبی در آینده است. با توجه به این نتایج، استفاده از مدل‌های عددی می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه عملیات لایروبی و حفاظت از کانال‌های دسترسی استفاده شود.

سپاسگزاری

با تشکر از سازمان بنادر و دریانوردی جمهوری اسلامی ایران و شرکت دانش‌بنیان ژرف دریا پژوهش پارس که گزارش‌ها و داده‌های مروبوط به مطالعات هیدروگرافی و لایروبی کانال دسترسی بوشهر را برای مطالعه حاضر، در اختیار تیم پژوهش قرار داده‌اند.

مراجع

[۱] اکبرزاده بابک. مدل سازی سه بعدی رسوبگذاری وانتقال رسوب در بنادر و نواحی ساحلی تحت جریانات جذر و مدی با استفاده از روش احجام محدود [پایان نامه کارشناسی ارشد]. تهران: دانشکده خواجه نصیر طوسی، دانشکده عمران؛ ۱۳۸۸.

[۲] زنگانه مرتضی، حاج مومنی عقیل. مدل سازی رسوب گذاری در خور بوشهر با استفاده از نرم افزار MIKE 21. مهندسی دریا .۱۳۹۵؛۱۲(۲۳):۲۵-۳۵.

[۳] عاربی سکینه، چگینی وحید، قمشی مهدی، عاربی سلیمان. عوامل مؤثر بر انتقال رسوب درکانال جذر و مدی (دسترسی) خلیج بوشهر به کمک مدل سازی عددی الگوی جریان و انتقال رسوب. سیزدهمین همایش صنایع دریایی؛ ۱۳۹۰؛ جزیره کیش.

[۴] گزارش مطالعات مناطق خاص- بوشهر، سازمان بنادر و دریانوردی،۱۳۹۱.

[5] Sravanthi N, Ramakrishnan R, Rajawat AS, Narayana AC. Application of numerical model in suspended sediment transport studies along the Central Kerala, west-coast of India. Aquatic Procedia. 2015 Jan 1;4:109-16.

[6] Nirwana N, Subiyanto S, Yuniarti MS, Ihsan YN. Sediment Transport Pattern Modelling in Bojong Salawe Coast Pangandaran using Mike 21. International Journal of Quantitative Research and Modeling. 2021 Jun 6;2(2):97-116.

[7] Dakheel A, Al-Aboodi A, Abbas S. Assessment of Annual Sediment Load Using Mike 21 Model in Khour Al-Zubair Port, South of Iraq. Basrah Journal of Engineering Science. 2022;22:108-4.

پی‌نوشت‌ها

1. Instantaneous Suspended Sediment Concentration