

تأثیر پیچان رودها بر غلظت بار معلق و دامنه نوسانات سطح آب-مطالعه موردی رودخانه اروند

مسعود صدری نسب^{۱*}، محمد فیاض محمدی^۲، وحید چگینی^۳، امیر اشتری لرکی^۲

۱. دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۲. گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
۳. پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۴

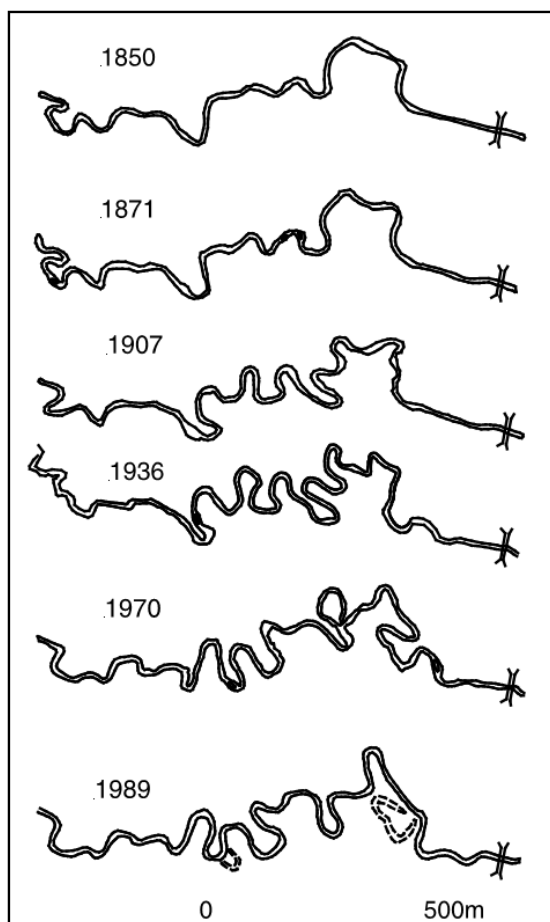
شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2017.45982](https://doi.org/10.22113/jmst.2017.45982)

چکیده

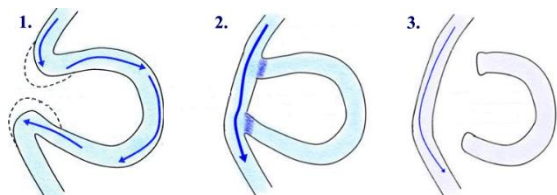
اروند رود مهم‌ترین رودخانه مرزی ایران است و عمیق‌ترین نقطه رودخانه، مرز ایران و عراق را تعیین می‌کند. لذا همواره جابه‌جایی این خط و تغییر مسیر رودخانه، بر اثر فرسایش و رسوب‌گذاری، مورد توجه بوده است. در مناطقی که جریان به تبعیت از شیب رودخانه مجبور به تغییر جهت می‌شود تنش زیادی به جداره‌های رودخانه وارد می‌کند و کاهش شدیدتر دامنه موج جزرومدی، افزایش فرسایش، و افزایش بار معلق آب در عبور از پیچ رودخانه‌ها را به دنبال دارد. برای بررسی این امر، از مدل سه‌بعدی هیدرودینامیکی مایک ۲/۳ استفاده شده است. این مدل، بر اساس رویکرد مش‌بندی مثلثی، و بر مبنای حل عددی ۳ و ۲ بعدی معادلات میانگین ناویه-استوکس برای حالت بدون تراکم پذیر با در نظر گرفتن تقریب بوزینسک و فشار هیدرواستاتیک بنا شده است. برای گسسته سازی و حل معادلات، از روش حجم محدود استفاده می‌شود. با استفاده از نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی، نوسان سطح آب، سرعت جریان، و غلظت بار معلق در طول رودخانه واسنجی و صحت سنجی شده، به نحوی که نتیجه‌ی آزمون خطایابی جذر میانگین مربعات برای نوسان سطح آب در فاو ۰/۱۶ به دست آمده است و مقدار خوبی محسوب می‌شود. نتایج نشان می‌دهند در مسیر مستقیم رودخانه به فاصله ۱۷ کیلومتر بین آبادان تا خسروآباد ارتفاع نوسان سطح آب ۱۸٪ و غلظت بار معلق رودخانه ۳/۸٪ افزوده شده است در حالی که در فاصله‌های غیر مستقیم کوتاه‌تر، با دو پیچ، ارتفاع نوسان سطح آب ۲۲٪ و غلظت بار معلق رودخانه ۱۵٪ افزوده شده است.

کلمات کلیدی: اروندرود- پیچان رود- بارمعلق- مدل سازی عددی- مایک ۲/۳

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: masoud.sadri@ut.ac.ir



شکل ۱ تغییرات پی در پی مسیر رودخانه بولین در انگلستان



شکل ۲ تغییر مسیر رودخانه و قطع ارتباط یک پیچان رود

آروندردود نیز رودخانه پهناوری در مرز ایران و عراق است که در مسیر خود با چند پیچ جزیره مینو را دور زده و به آبادان می‌رسد (شکل ۳). این رودخانه از هم ریزش رودهای دجله، فرات و کارون پدید آمده است و بعد از متصل شدن کارون، مسیری حدود ۸۵ کیلومتر را در مرز ایران و عراق طی می‌کند و به شمال خلیج فارس می‌ریزد (Kangarani, 2005).

به علت جزرومد در آرونردود، امکان برآورد دبی در این رودخانه از روی منحنی دبی-اشل وجود ندارد (Adib et al., 2014) و برای اندازه‌گیری دبی نیاز به اندازه‌گیری پیوسته در یک سیکل جزرومدی است.

۱. مقدمه

کمیتی که برای مقیاس بندی میزان انحنای پیچ رودخانه استفاده می‌شود پیچان‌رود^۱ نام دارد و از تقسیم طول مسیر رودخانه‌ای بر مسیر مستقیم بین دو نقطه از رودخانه به دست می‌آید. هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد به معنی انحنای بیشتر مسیر رودخانه بین دو نقطه است. پیچان‌رود برابر یک، به معنی کاملاً مستقیم بودن رودخانه است. اگرچه تحقیق در مورد پیچان‌رودها به قرن نوزدهم برمی‌گردد (Lokhtin, 1897)، اما این موضوع همچنان در زمینه علوم ژئومورفولوژی و مورفودینامیک از موضوعات مطرح است (Zolezzi et al., 2012). یک رودخانه به‌طور دائمی مقطع عرضی و طولی، رژیم جریان، و شکل کلی خود را با توجه به وضعیت انتقال رسوب، اعم از فرسایش، و رسوب‌گذاری، تغییر می‌دهد (شکل ۱) (Hooke, 2003). جریان آب با توجه به اینرسی، تمایل دارد در مسیر مستقیم به حرکت خود ادامه دهد و لذا در پیچان‌رودها باعث فرسایش دیواره خارجی رودخانه می‌شود و ادامه این روند پس از مدتی منجر به قطع ارتباط پیچان‌رود از رودخانه می‌شود (شکل ۲). گاهی این تغییر مسیر به‌صورت مصنوعی توسط نیروی انسانی انجام می‌شود تا در رودخانه‌های قابل کشتیرانی طول مسیر ناوبری و همچنین خطرات ناشی از آشفته‌گی‌های جریان در پیچ‌ها کاهش یابد. تغییر مسیر رودخانه، چه به‌صورت دستی و چه طبیعی، باعث تغییرات پارامترهای فیزیکی رودخانه می‌شود. می‌توان با مقایسه هر یک از پارامترهای فیزیکی بین مسیرهای مستقیم و مسیرهای دارای انحنای اهمیت وجود یا حذف پیچان‌رودها را بررسی کرد.

¹ meander

اثر آن بر افزایش غلظت نمک رودخانه است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که امتداد یافتن زیانه شوری در اروندرود به علت عوامل طبیعی مثل، تغییر اقلیم، خشک‌سالی و فقدان مدیریت منابع آب و زهکشی‌ها، و سیاست‌های آبی کشورهای همسایه بوده است. در نهایت نیز اثرات شور شدن آب بر زراعت، محیط‌زیست و فعالیت‌های اقتصادی استان بصره ارزیابی شده است (Yaseen, 2016).

صدری نسب و فیاض محمدی ۱۳۸۸، پارامترهای فیزیکی آب شامل سمت و سرعت جریان، نوسان سطح آب و شوری را از دهانه رودخانه اروند تا فاصله ۴۵ کیلومتری، با استفاده از مدل هیدرودینامیکی سه‌بعدی کوهیرنس مدل‌سازی کرده‌اند. از نتایج آن می‌توان به سرعت ۳ متر بر ثانیه پیش روی موج جزرومدی در اروند اشاره کرد. علاوه بر این، میزان تضعیف دامنه موج جزرومدی از دهانه تا خسروآباد در زمان مهکشند ۰٫۷۰۵٪ و در زمان کهکشند ۰٫۵۱۵٪ به دست آمده است (Sadrinasab, 1388).

در تحقیق حاضر، نتایج اندازه‌گیری میدانی و یک مدل عددی برای بررسی تغییرات نوسان سطح آب و تغییر غلظت بار معلق جریان پس از عبور از پیچ‌ها ارائه می‌شود.

الگوی جزرومد در بخش شمالی خلیج فارس به صورت آمیخته است و از نیمه روزانه تا روزانه تغییر می‌کند (Najafi, 1997). به کمک ۴ مؤلفه اصلی جزرومد و عدد شکل کشند (F)، می‌توان نوع جزرومد در هر منطقه را تعیین کرد:

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (1)$$

اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، جزرومد به عنوان جزرومد نیم‌روزانه مشخص می‌گردد. اگر بین ۰/۲۵ و ۱/۵ باشد، اگرچه جزرومد آمیخته است، اما بیشتر نیم‌روزه در نظر گرفته می‌شود. اگر بین ۱/۵ و ۳ باشد، اگرچه جزرومد آمیخته است، اما بیشتر روزانه می‌گویند؛ و چنانچه بیشتر از ۳ باشد جزرومد روزانه است (Chegini, 1377).



شکل ۳ منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری میدانی (دهانه، آبادان، و خرمشهر)

عرض این رودخانه به‌طور متوسط حدود ۵۰۰ متر است. خط القعر رودخانه اروند خط مرزی ایران و عراق را تعیین می‌کند. این رودخانه مانند تمام رودخانه‌های جهان در معرض فرسایش، و رسوب‌گذاری قرار دارد و این امر سبب جابه‌جایی مسیر رودخانه و به طبع آن جابه‌جایی مرز می‌شود. به علت مرزی بودن رودخانه اروند اکثر محققان حوزه‌ی فیزیک دریا و مهندسی سواحل، مطالعات خود را روی حوضه‌های آبی داخلی متمرکز کرده‌اند و از این حوضه آبی اطلاعات کمی در دسترس است.

محمودیان و همکاران در سال ۱۳۹۲، توزیع رسوبات معلق با تکیه بر فازهای کشندی در مصب اروند را با اندازه‌گیری سمت و سرعت جریان، شوری، دما و غلظت رسوبات معلق در سه ایستگاه بین یادمان شهدای اروندکنار تا دهانه را مورد بررسی قرار داده‌اند. در ایستگاه دهانه دبی بار معلق در کهکشند و مهکشند به ترتیب ۱۶۳ و ۱۴۳ کیلوگرم بر ثانیه به دست آمده است. دبی اروند نیز حدود ۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است (Mahmoodian, 1392).

یاسین در سال ۲۰۱۶، به بررسی اثرات محیط زیستی نفوذ شوری به اروندرود پرداخته است. هدف از این مطالعه تعیین عوامل تأثیرگذار بر تغییر میزان دبی و

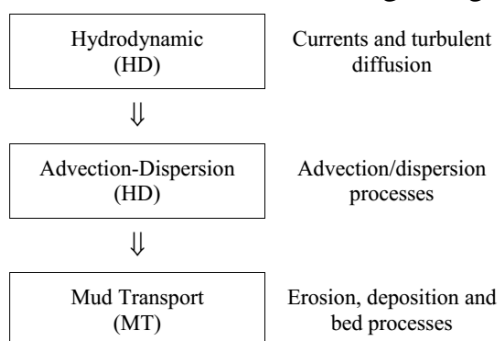
سرعت جریان در این نقطه به شدت تابع دبی در بالادست رودخانه است.

در نتایج تحقیقات پروفیسور مقداد در سال ۲۰۰۳، از دانشکده علوم دانشگاه بغداد، میانگین سالیانه دبی حدود $25-24 \text{ BM}^3$ (معادل 761 تا $792 \text{ m}^3/\text{s}$) برآورد شده است که این دبی از حداکثر m^3/sec در 1731 در فصل پرآبی تا حداقل $371 \text{ m}^3/\text{sec}$ در فصل کم‌آبی متغیر است (Mukdad, 2003).

۲. مواد و روش‌ها

محدوده این مطالعه، حدود ۸۴ کیلومتر از مسیر اروندرود است که از قسمت شمالی خلیج فارس تا کشتی‌سازی اروندان در خرمشهر امتداد دارد (شکل ۳).

در این مطالعه از ماژول‌های سه‌بعدی هیدرودینامیک، و انتقال رسوب مدل مایک ۲۱/۳ استفاده شده است. الگوریتم نحوه ارتباط بین ماژول‌های استفاده شده، در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴ ارتباط بین ماژول‌ها در مدل مایک ۲۱ و مایک ۳

این نسبت با توجه به مؤلفه‌های جزرومدی ذکر شده برای بار بیرونی اروند^۱ در کتاب جداول جزرومدی آدمیرالتی (جدول ۱)، در دهانه اروندرود برابر $0/71$ است و نشان دهنده یک جزرومد آمیخته و عمدتاً نیم‌روزانه در مصب رودخانه اروندرود است.

ارتفاع جزرومد در دهانه اروندرود حداکثر تا $3/15$ متر می‌رسد. هرچه به طرف بالادست رودخانه پیش می‌رویم، به علت اصطکاک، شیب سطح آب و دبی زیاد رودخانه، از دامنه جزرومد کاسته می‌شود، به طوری که طبق پیش‌بینی واحد آب‌نگاری سازمان نقشه‌برداری کشوری، حداکثر دامنه جزرومد در بندر خرمشهر حدود $0/9$ متر است. در واقع اختلاف ارتفاع جزرومد بین دهانه و بندر خرمشهر حدود $2/25$ متر است.

با توجه به طبقه‌بندی‌هایی که برای خورها در نظر گرفته شده است، خور اروندرود طبق تقسیم‌بندی دیویس^۲ (۱۹۶۴)، خور با جزرومد متوسط^۳ است و طبق طبقه‌بندی نیکولز و بیگز^۴ (۱۹۸۹)، به علت غلبه اثر اصطکاک بر تأثیر شکل هندسی در همگرا کردن موج جزرومدی ورودی، و کاهش ارتفاع موج جزرومدی هنگام ورود به خور، اروندرود یک خور نامتقارن است. علاوه بر این، خور اروندرود جزو خورهای مسطح ساحلی محسوب می‌شود. موج جزرومدی ایجاد شده در خور اروندرود به علت طولیل بودن طول خور و از بین رفتن انرژی جزرومد بر اثر اصطکاک، یک موج پیش‌رونده است.

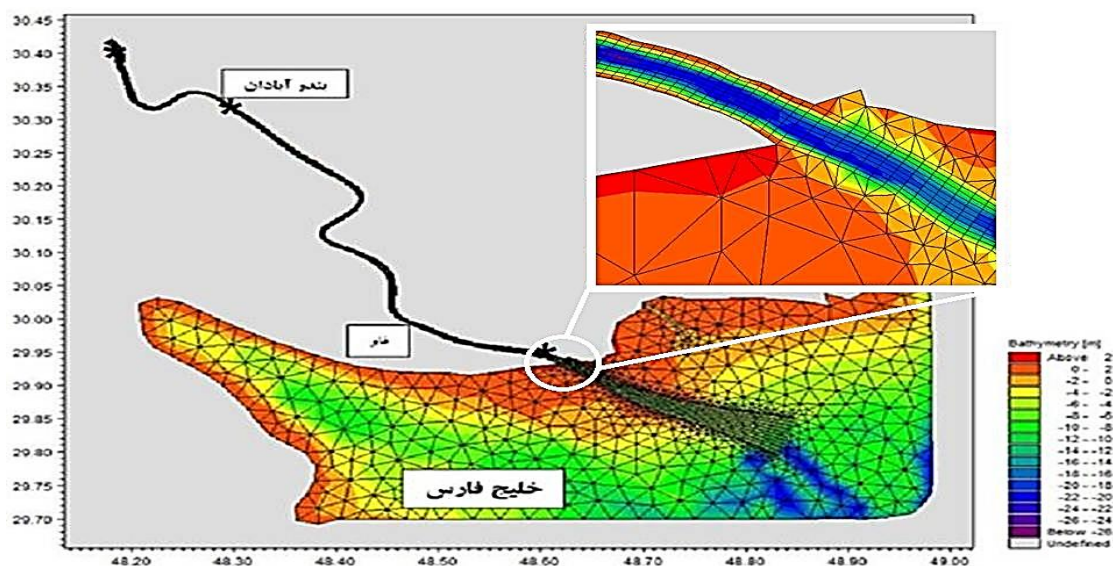
با توجه به داده‌های میدانی برداشته شده از مصب اروندرود در مهرماه (Sadriinasab, 1388)، محدوده تغییرات سرعت جریان در دهانه خور اروندرود از بیشینه مقدار $0/92 \text{ m/s}$ در جهت دریاسو تا بیشینه مقدار $0/45 \text{ m/s}$ در جهت پاد دریاسو متغیر است. این بیشینه تغییرات در زمان مهکشند ایجاد می‌شوند.

¹ SHATT AL ARAB OUTER BAR

² Davies

³ Meso tidal

⁴ Nichols and Biggs



شکل ۵ هیدروگرافی و مش به کار رفته در مدل

به علت پیچ و خم در مسیر رودخانه، برای شبکه‌بندی حوضه مدل از مش چهار ضلعی در داخل رودخانه و از مش مثلثی در دریا استفاده شده است. مش رودخانه به نحوی است که عرض رودخانه به ۱۰ سلول تقسیم می‌شود و طول هر سلول در امتداد رودخانه حدود ۱۸۰ متر است. کمترین عمق آب در مسیر رودخانه در زمان پایین‌ترین جزر ۲/۸ متر در دهانه، و بیشترین عمق آب ۲۳ متر است. نقشه هیدروگرافی استفاده شده در مدل برای این مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است.

شرایط اولیه‌ی مدل شامل دما و شوری یکنواخت برای کل حوضه به ترتیب ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۳۲ psu است. در ابتدا تراز سطح آب و سرعت جریان در کل حوضه در مدل، صفر در نظر گرفته شده است. برای این‌که شرایط مرزی، که مقادیر واقعی هستند، کاملاً در سرتاسر مدل حاکم شوند و جای شرایط اولیه‌ی فرضی را بگیرند، مدل سیزده ماه اجرا شده است و خروجی‌های مدل از ماه سیزدهم استخراج شده‌اند. اولین پارامتری که به پایداری می‌رسد نوسان سطح آب، و آخرین پارامتر شوری است. تغییرات شوری در سه ایستگاه خرمشهر، آبادان و دهانه در طی ۱۳ ماه اجرای مدل در شکل ۶ نشان داده شده است.

این مدل بر اساس رویکرد مش بندی نامنظم کار می‌کند. بستر محاسباتی اصلی نرم‌افزار، ماژول هیدرودینامیک^۱ است که بر مبنای حل عددی ۳و۲ بعدی معادلات میانگین ناویر-استوکس برای حالت بدون تراکم پذیر با در نظر گرفتن بوسینسک و فشار هیدرواستاتیک بنا شده است. معادلات پیوستگی، مومنتم، دما، شوری و چگالی نیز لحاظ شده‌اند. در صورت اجرای سه‌بعدی مدل، امکان انتخاب آرایه‌ی قائم سیگما، یا ترکیب آن با کارتیزین وجود دارد (DHI,2012).

گسسته سازی و حل معادلات نیز در شبکه‌بندی مثلثی نامنظم با استفاده از روش سلول مرکزی حجم محدود انجام می‌شود.

این مدل قابلیت استفاده از مش بندی مثلثی، و همچنین مش بندی چهار ضلعی با وضوح متغیر را دارد. برای تهیه فایل عمق سنجی، از نقشه‌های هیدروگرافی سازمان جغرافیای نیروهای مسلح در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده است، و به کمک ابزار تولید مش متغیر^۲ در مایک، رقومی و درون‌یابی شده‌اند.

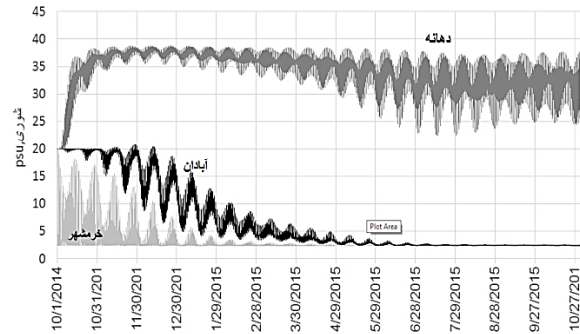
1 HD module
2 Mesh generator

اثبات رسیده، استخراج شده است (Kampf and Sadrinasab, 2005). نوسان سطح آب در مرز دریا به صورت سری زمانی به مدل وارد شده است. این سری زمانی، به کمک ابزار پیش‌بینی جزرومد^۲، از مؤلفه‌های جزرومدی، در جعبه‌ابزار مایک ۲۱ ساخته شده است. دامنه و فاز چهار مؤلفه اصلی جزرومد (مدل معرفی شده‌اند. این منطقه، منطبق بر مرز جنوبی در مدل بوده و دامنه و فاز جزر و مدی مؤلفه‌های قید شده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی از ایستگاه خرمشهر در ماه‌های مهر و آبان ۱۳۹۴، مقدار دما و شوری در مرز باز رودخانه ثابت، و به ترتیب ۲۶ درجه سانتی‌گراد و ۲/۳۹ psu در مدل بکار برده شده‌اند. تراز سطح آب در مرز باز رودخانه به‌گونه‌ای تنظیم شده که دبی ورودی با دبی برآورد شده در اندازه‌گیری میدانی برابر ۲۹۰ مترمکعب بر ثانیه باشد. جهت تعیین پارامترهای مربوط به ماژول انتقال رسوبات چسبنده، در تاریخ ۹۴/۷/۲۷ از رسوب بستر و آب ارونند نمونه‌برداری و مورد آزمایش دانه‌بندی قرار گرفت که نتایج آن‌ها به ترتیب در شکل ۷ و شکل ۸ نشان داده شده است.

جدول ۱ مؤلفه‌های جزرومدی مرز جنوبی مدل

نام مؤلفه	M_2	S_2	K_1	O_1
دامنه (متر)	۰/۸۴	۰/۲۹	۰/۵	۰/۳
فاز (درجه)	۳۰۸	۹	۲۹۵	۲۴۷



شکل ۶ تغییرات شوری در سه ایستگاه طی ۱۳ ماه از شروع شبیه‌سازی

رژیم جریان در مصب‌ها تحت تأثیر عمده چهار عامل دینامیکی قرار دارد. این عوامل سمت و سرعت جریان را به ازای ارتفاع‌های مختلف سطح آب و در فواصل مختلف از دهانه تعیین می‌کنند. این چهار عامل دینامیکی را می‌توان به ترتیب اهمیت به صورت زیر عنوان کرد (De Vries, 1993):

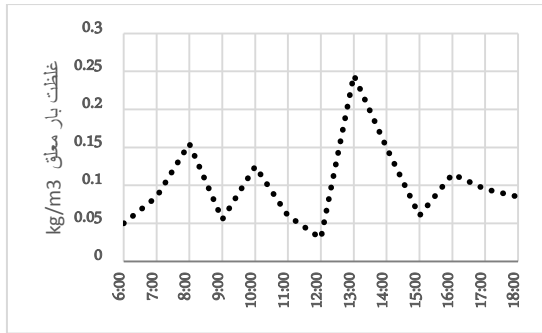
- اثر جزرومد که باعث ورود و خروج سریع آب شور دریا به مصب می‌شود؛
- اثر نیروی حاصل از گرادیان وزن مخصوص بین آب شیرین رودخانه و آب شور ورودی از دریا؛
- نیروی حاصل از گرادیان فشار حاصل از دبی خالص رودخانه به سمت دریا؛
- نیروی کوریولیس و نیروی مرکزگرایی که به ترتیب به علت چرخش زمین و انحنای مسیر رودخانه ایجاد می‌شوند.

با توجه به پهنای کم رودخانه نسبت به دریا، اثر نیروهای جوی بر رودخانه به مراتب کمتر از دو نیروی مؤثر اصلی، یعنی جزرومد، و اختلاف فشار است. لذا اثر باد چشم‌پوشی شده است. البته باید توجه داشت که اختلاف فشار باروکلینیکی در خلاف جهت اختلاف فشار باروتروپیکی عمل می‌کند. اختلاف فشار ناشی از دبی رودخانه، به سمت دریا است، اما نیروی ناشی از اختلاف چگالی به سمت رودخانه است.

شرایط دما و شوری در مرز دریا به روش تودرتویی^۱ از نتایج مدل خلیج فارس که توسط کامپف و صدری نسب با مدل کوهیرنس انجام شده و صحت آن به

2 Tidal Prediction of Hights
3 SHATT AL ARAB OUTER BAR

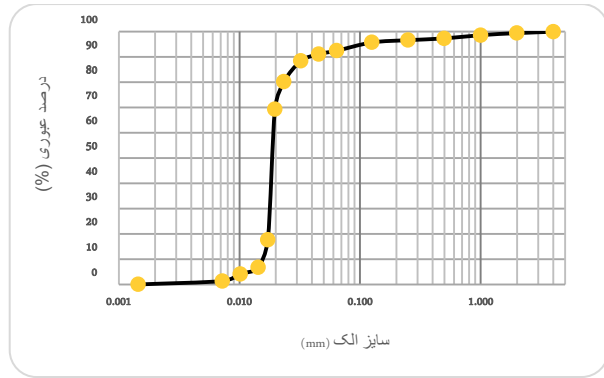
1 Nesting



شکل ۹ غلظت بار معلق طی یک چرخه جزرومدی در ایستگاه خرمشهر

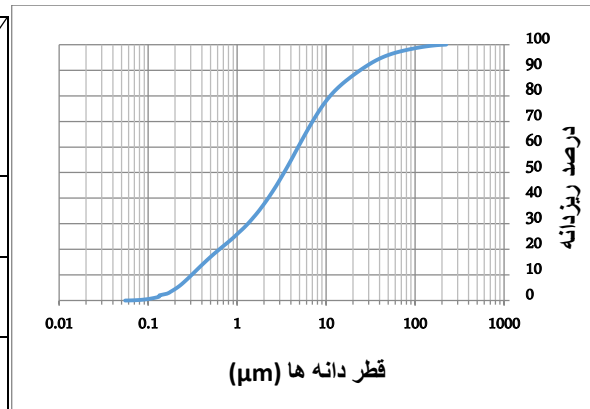
جدول ۲ مشخصات ذرات تعریف شده در مدل

مشخصات ذره شماره	سرعت سقوط m/s	تنش بحرانی ته‌نشست N/m ²	غلظت اولیه kg/m ³	غلظت در مرز رودخانه kg/m ³	غلظت در مرز دریا kg/m ³
ذره یک	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۱	عدم اختلاف ^۲
ذره دو	۰/۰۰۰۷	۰/۴	۰	۰	عدم اختلاف
ذره سه	۰/۰۰۵	۰/۷	۰	۰	عدم اختلاف



شکل ۷ منحنی دانه‌بندی رسوب بستر، حاصل

از آزمایش‌های الک و هیدرومتری



شکل ۸ منحنی دانه‌بندی بار معلق در دهانه

اروند با دستگاه دانه‌بندی لیزری

با توجه به راهنمای علمی مدل مایک، نسخه ۲۰۱۲، آستانه شروع چسبندگی، و آستانه فعال شدن تأخیر در ته‌نشست، زمانی است که غلظت رسوب معلق به ترتیب به مقادیر 0.1 kgm^{-3} و 1.0 kgm^{-3} برسند. در خصوص بستر نیز در صورت درشت‌دانه بودن بار بستر، ارتفاع زبری بستر حدود دو برابر d_{50} است و چنانچه بار بستر از نوع چسبنده باشد ارتفاع زبری بستر برابر 0.01 متر است (DHI, 2012).

مرز بستر

مرز بستر به صورت دولایه تعریف شده است و مشخصات لایه‌ها در جدول ۳ ملاحظه می‌شود. منحنی دانه‌بندی رسوب بستر نشان می‌دهد حدود ۹۰٪ رسوبات بستر قطری بین ۱۴ تا ۴۰ میکرون دارند. لذا نسبت ذرات یک، دو، و سه در لایه‌های بستر به ترتیب ۵٪، ۹۰٪ و ۵٪ تعریف شد.

با توجه به دانه‌بندی بار معلق، و رابطه استوکس که قطر ذرات را به سرعت سقوط ذرات مرتبط می‌کند، سه نوع ذره ریزدانه با قابلیت چسبندگی^۱ با مشخصات جدول ۲ به مدل معرفی شد. در این جدول مشخصات ذره شماره یک، مطابق با بار معلق ورودی به مرز باز رودخانه است. در ایستگاه اندازه‌گیری خرمشهر در تاریخ مذکور به مدت ۱۲ ساعت از آب نمونه‌برداری شد. با استفاده از کاغذ صافی غلظت بار معلق آن‌ها اندازه‌گیری شد که میانگین آن 0.1 kg/m^3 است (شکل ۹).

² Zero gradient

¹ Flocculation

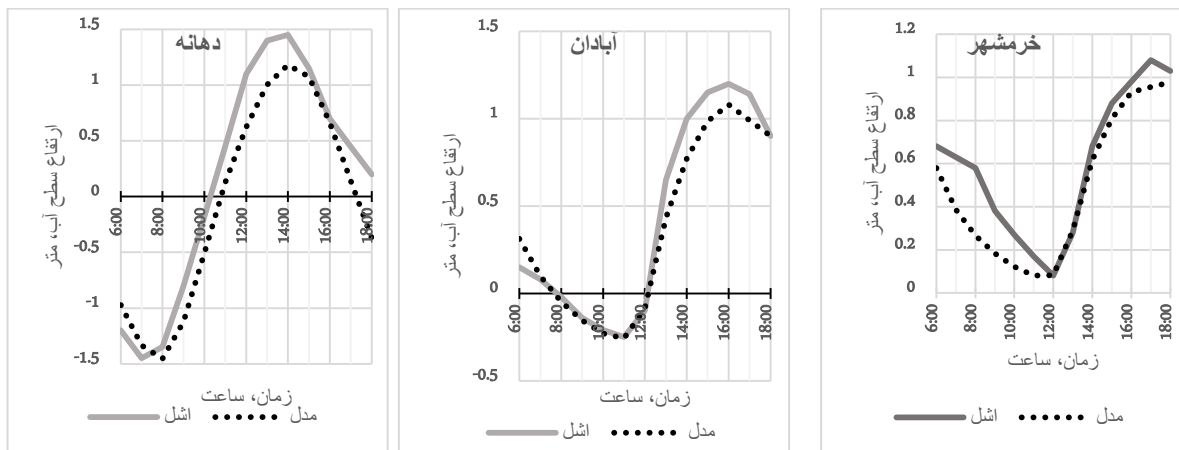
مربعات^۱ استفاده شده است. بر اساس دیدگاه مک‌کالوم، براون و شوگاوارا^۲ (۱۹۹۶) اگر مقدار این شاخص کوچک‌تر از ۰/۱ باشد پیش‌بینی مدل بسیار عالی است. اگر بین ۰/۱ و ۰/۵ باشد پیش‌بینی مدل خوب است و اگر بین ۰/۵ و ۰/۸ باشد پیش‌بینی مدل متوسط است. مقدار خطای جذر میانگین مربعات برای شکل ۱۰ برابر ۰/۱۶ است که به معنی خوب بودن نتایج مدل است. منحنی اختلاف در شکل ۱۰ در واقع خطای جذر مربعات تفاضل دو داده‌ی متناظر است و به‌صورت لحظه‌ای نشان می‌دهد که مدل در مه‌کشند دارای خطای بیشتری نسبت به که کشند است.

جدول ۳ مشخصات لایه‌های بستر

شماره لایه	نوع لایه	توان فرسایش	ضخامت اولیه (متر)	تنش بحرانی فرسایش	فشردگی Kg/m^3
لایه اول	نرم	۸/۳	۰/۰۵	۰/۴	۱۸۰
لایه دوم	نرم	۸/۳	۱	۰/۷	۲۲۰

صحت سنجی مدل

بهترین اطلاعات بلندمدت قابل اطمینان، جهت

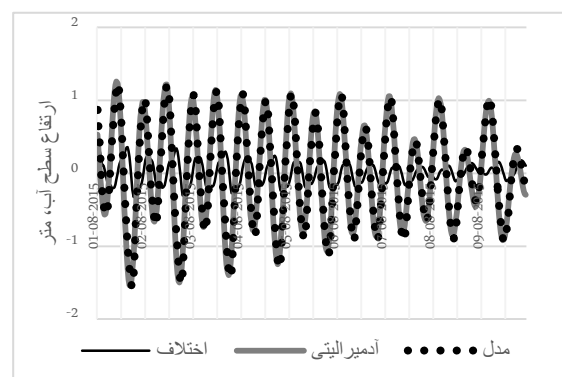


شکل ۱۱ مقایسه نوسان سطح آب حاصل از مدل و اندازه‌گیری میدانی در سه ایستگاه

لذا جهت اطمینان بیشتر از نتایج مدل در امتداد رودخانه، تغییرات تراز سطح آب به‌صورت هم‌زمان در سه نقطه ورود به‌صورت دستی در زمان مه‌کشند ثبت شد. این اطلاعات برای ۱۲ ساعت است و دقیقاً بزرگ‌ترین موج مه‌کشند را در بر می‌گیرد. ایستگاه‌های اندازه‌گیری در موقعیت نهر قمیجه در دهانه، شطیپ در آبادان، و کشتی‌سازی اروندان در خرمشهر می‌باشند که در شکل ۳ مشخص شده‌اند. هرچند به علت

مقایسه با نتایج مدل، نوسان سطح آب بندر فاو عراق است. این اطلاعات در کتاب جداول جزرومدی آدمیرالتی به دو صورت مؤلفه‌ای، و سری زمانی موجود است. شکل ۱۰ مقایسه نوسان سطح آب رودخانه در موقعیت فاو بین جدول آدمیرالتی و خروجی مدل نشان می‌دهد.

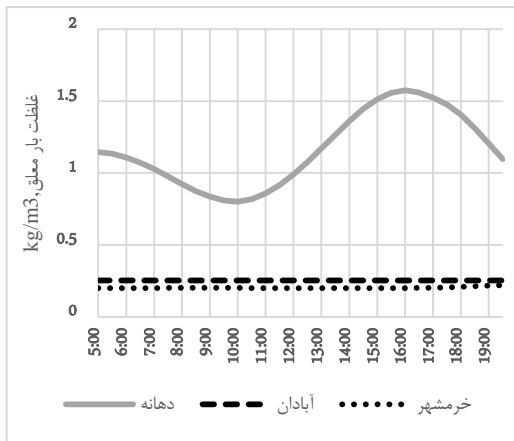
برای نمایش تفاوت بین مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل، و مقدار واقعی، از خطای جذر میانگین



شکل ۱۰ مقایسه نوسان سطح آب حاصل از مدل و جدول جزرومدی آدمیرالتی در فاو

¹ Root-Mean-Square Error (RMSE)

² MacCallum, Browne, and Sugawara



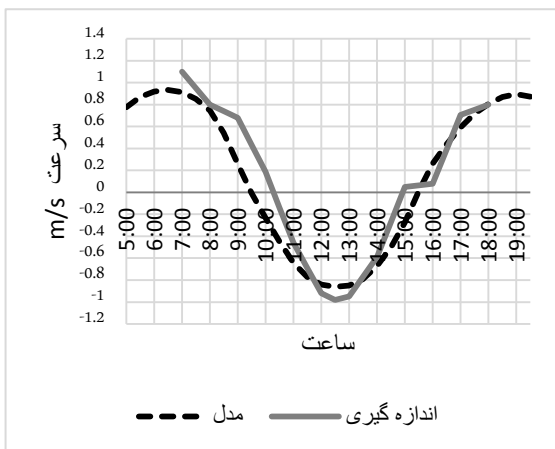
شکل ۱۲ نتیجه مدل برای بار معلق در سه ایستگاه

با نتیجه مدل در شکل ۱۵ نشان داده شده است. تغییرات مکانی و زمانی میانگین بار معلق بر اساس اندازه‌گیری میدانی و نتیجه مدل در شکل ۱۳ و شکل ۱۲ نشان داده شده است. مدل به خوبی تفاوت مکانی غلظت بار معلق بین بالادست (ایستگاه‌های خرمشهر و آبادان)، با ایستگاه دهانه و همچنین تغییرات زمانی غلظت بار معلق در ایستگاه دهانه را شبیه‌سازی کرده است. این نتیجه نشان می‌دهد که ضرایب ارائه شده در جدول ۲ و ۳ مناسب انتخاب شده‌اند.

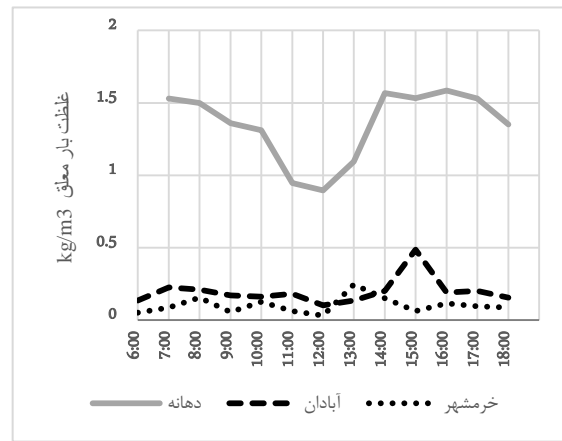
نتایج

میزان پیچان‌رودی برای پنج بازه با نام‌های t_1 تا t_6 که در شکل ۱۶ مشخص شده‌اند در جدول ۴ نشان داده شده است.

نقش پیچان‌رودها بر نوسان سطح آب



شکل ۱۵ سرعت جریان حاصل از مدل و اندازه‌گیری در وسط رودخانه عمق ۰/۱ ایستگاه دهانه

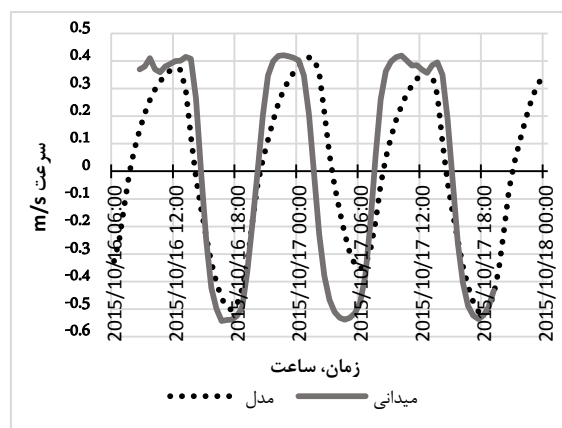


شکل ۱۳ نتیجه اندازه‌گیری میدانی بار معلق در سه ایستگاه

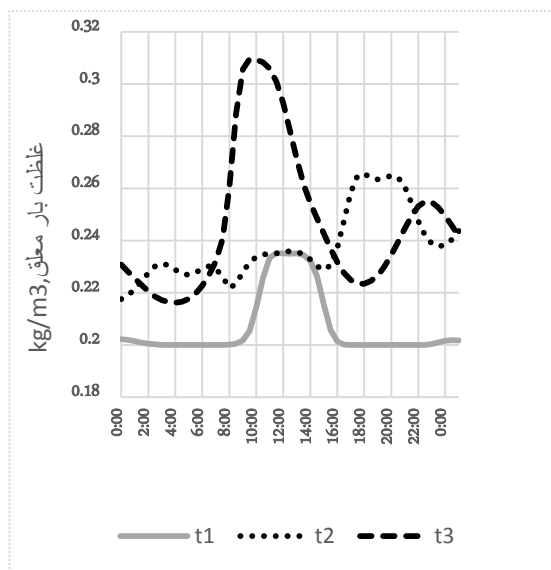
امنیتی بودن منطقه اندازه‌گیری فقط در طول روز امکان‌پذیر بوده، ولی، با این حال نتایج نشان می‌دهند مدل، بیشینه رنج جزرومد را در هر سه نقطه به خوبی پیش‌بینی کرده است (شکل ۱۱).

در ایستگاه آبادان یک جریان سنج مغناطیسی به مدت ۳۲ ساعت در فاصله ۱۵۰ متری ساحل ایران در عمق سه متری نصب گردید. در این نقطه عمق متوسط ۶ متر و عرض رودخانه ۵۰۰ متر است. مقایسه نتایج اندازه‌گیری میدانی و مدل در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

همان‌گونه که مشخص است، بیشینه مقدار سرعت جریان تقریباً مربوط به وسط رودخانه در نزدیکی سطح است. سرعت این نقطه در ایستگاه دهانه، همراه



شکل ۱۴ مقایسه سرعت جریان حاصل از مدل و اندازه‌گیری میدانی در عمق میانه ایستگاه آبادان



شکل ۱۸ مقایسه غلظت بار معلق در t1، t2 و t3 طی یک چرخه جزرومدی

از ایستگاه t4 تا t3، ۲۲٪ و از t3 تا t2 با وجود یک کیلومتر فاصله بیشتر، فقط ۱۸٪ افت کرده است.

نقش پیچان رودها بر غلظت بار معلق

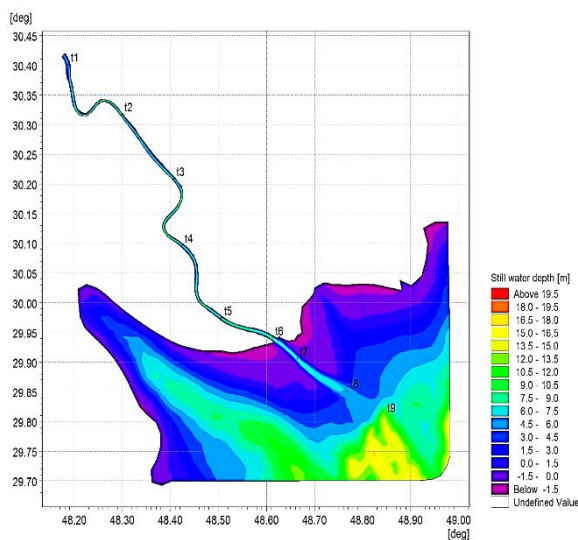
میزان غلظت بار معلق، به تنش وارد بر بستر و جداره رودخانه مرتبط می‌شود. لذا انتظار می‌رود افزایش بار معلق بعد از پیچ رودخانه‌ها بیشتر از مسیرهای مستقیم باشد. برای ارزیابی این مسئله، در شکل ۱۸ غلظت بار معلق در t1، t2 و t3 نشان داده شده است. علاوه بر این، منحنی سرعت در t2 هم به شکل اضافه شده است تا علت تغییرات غلظت بار معلق روشن باشد.

میانگین غلظت بار معلق در t1، t2 و t3 در شکل ۱۸ به ترتیب ۰/۲۰۶، ۰/۲۳۷، و ۰/۲۴۶ kg/m^3 است. به این معنی که میانگین بار معلق از t1 تا t2 ۱۵٪ افزوده شده است، در حالی که در مسیر مستقیم از t2 تا t3 فقط ۳/۸٪ افزوده شده است. حتی گاهی

جدول ۴ مشخصات رودخانه در بین ایستگاه‌های

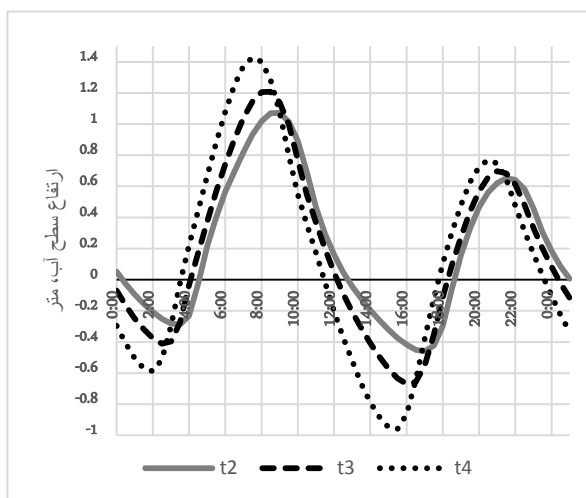
متوالی در شکل ۱۶

محدوده	t1 تا t2	t2 تا t3	t3 تا t4	t4 تا t5	t5 تا t6
طول رودخانه (km)	۱۸	۱۷	۱۶	۱۷	۱۱
فاصله مستقیم (km)	۱۳	۱۷	۱۲/۵	۱۵/۶	۱۱
انحنای	۱/۳۸	۱	۱/۲۸	۱/۰۹	۱



شکل ۱۶ انتخاب چند نقطه از مسیر رودخانه برای بررسی

به‌طور طبیعی، جریان آب به واسطه لختی، تمایل دارد در مسیر مستقیم به حرکت خود ادامه دهد. در مناطقی که جریان به تبعیت از شیب رودخانه مجبور به تغییر جهت می‌شود تنش زیادی به جداره‌های رودخانه وارد می‌کند. یکی از اثرات این امر، کاهش شدیدتر دامنه موج جزرومد در عبور از پیچ رودخانه‌ها است. در شکل ۱۷ نوسان سطح آب در t2، t3 و t4 با هم مقایسه شده‌اند. با وجود اینکه t3 و t4 به هم نزدیک‌ترند اما افت دامنه نوسان سطح آب بین این دو ایستگاه به علت وجود یک پیچ در بین آن‌ها بیشتر است به نحوی که در مهکشند ارتفاع نوسان سطح آب



شکل ۱۷ مقایسه نوسان سطح آب در t2، t3 و t4 در زمان مهکشند

اما وجود این دو پیچ، غلظت بار معلق در ایستگاه آبادان را به دو برابر رسانده است.

اثر انحنا رودخانه بر غلظت بار معلق در نتایج مدل نیز ملاحظه می‌شود. اگرچه ضرایب معادلات مدل در تمام مسیر رودخانه یکسان تعریف شده است، اما افزایش بار معلق در فواصل مساوی از رودخانه به علت وجود پیچ در مسیر جریان یکسان نیست.

وجود انحنا در مسیر جریان، تنش برشی بستر را افزایش می‌دهد که حاصل آن علاوه بر افزایش بار معلق، کاهش شدیدتر ارتفاع نوسان سطح آب در زمان نفوذ از دریا و حرکت به سمت بالادست رودخانه است. لذا چنانچه به صورت طبیعی یا دستی مسیر رودخانه ا روند مستقیم شود و بجای دور زدن جزیره مینو، از پشت جزیره عبور کند، ارتفاع نوسان سطح آب در بالادست این منطقه افزایش می‌یابد.

منابع

Adib A., Tagavifar A., Vaghefi M., 2014, Studies on effects of the Persian Gulf tidal currents on stage-discharge curves of Karun River, Jurnal of Marine Science and Tecnology, Khoramshahr Marine Science and Technology University, Doi: 10.22113/JMST.2014.6234

Chegini, V., 1377, Water Wave Theories, Jahad Water & Watershed Management Research Company.

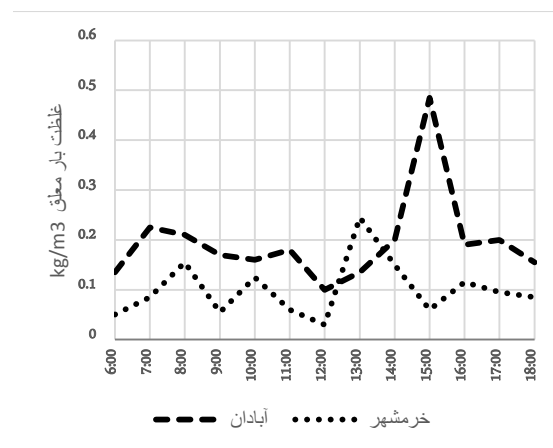
Davies, J. L. 1964. A morphogenetic approach to world shorelines. Zeit. Geomorphol. 8:127– 142.

DHI, 2012, MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation.

Hooke, J., 2003, River meander behaviour and instability: a framework for analysis, Transactions of the Institute of British Geographers, Volume 28, Issue 2, Pages 131– 255

Kampf, J., Sadrinasab, M., 2005, The circulation of the Persian Gulf: a numerical study, Ocean Science Discussions, 2, 129–164

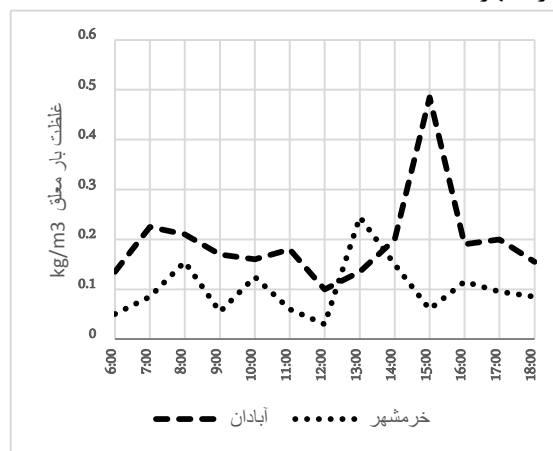
Kangarani R., Hannaneh M., 2005. Euphrates and Tigris watershed Economic, social and institutional aspects of forest in an integrated watershed Management.



شکل ۱۹ نتیجه اندازه گیری میدانی غلظت بار معلق در ایستگاه های آبادان، و خرمشهر

غلظت بار معلق در ۳t کمتر از ایستگاه بالادستی می‌شود.

در اندازه‌گیری‌های میدانی تغییرات میانگین سرعت جریان در دو ایستگاه تقریباً یکسان است اما میانگین غلظت بار معلق در ایستگاه آبادان تقریباً دو برابر خرمشهر است



شکل ۱۹).

۴. نتیجه‌گیری

وجود انحنا در مسیر رودخانه در افزایش بار معلق بسیار تأثیرگذار است. دو ایستگاه اندازه‌گیری خرمشهر و آبادان در فاصله ۱۶ کیلومتری از هم قرار گرفته‌اند و در این فاصله، دو پیچ تند در جنوب جزیره مینو و مقابل پالایشگاه آبادان وجود دارد. اندازه‌گیری‌های میدانی نشان می‌دهند تغییرات سرعت جریان در این دو ایستگاه تقریباً یکسان است

Sedimentary Environments. Springer, New York, pp.77-187.

Sadrinasab, M., Fayaz mohammadi, M., 1388, Modelling of current and water level in Arvandroud estuary, Jurnal of Marine Science and Tecnology, Khoramshahr Marine Science and Technology University.

Yaseen. B. R., Asaady Kazem. A., Chaichan M., 2016. Environmental Impacts of Salt Tide in Shatt Al-Arab-Basra/Iraq. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, Volume 10, Issue 1 Ver. II (Jan. 2016). PP35-43

Zolezzi, G. ,Luchi R. ,Tubino M., 2012, Modeling morphodynamic processes in meandering rivers with spatial width variations, Reviews of Geophysics, Volume 50, Issue 4

Lokhtin, V. M., 1897, About a Mechanism of River Channel, [in Russian], 78 pp., St. Petersburg, Russia.

MacCallum, R. C., Browne, M. W., and Sugawara, H. M., 1996, Power Analysis and Determination of Sample Size for Covariance Structure Modeling, Department of Psychology, Ohio State University.

Mahmoodian, M., Sadrinasab, M., Ashtari larki, A., 1392, suspended sediment dispersion in Arvandroud river estuary. M.sc. thises, physical oceanography, Khoramshahr Marine Science and Technology University.

Mukdad H. A., 2003, Hydrological constrains and solutions to improve the sustainable water resources management in Iraq, College of Sciences, Baghdad University

Najafi, H. S., 1997. Modelling tides in the Persian Gulf using dynamic nesting, Ph.D. thesis, University of Adelaide, South Australia

Nichols, M.M. and Biggs, R.B., 1985. Estuaries. In: R.A. Davis Jr. (Editor), Coastal

The impact of river meandering on water level fluctuation and suspended sediment concentration-Arvandrood case study

M. Sadrinasab¹, M. Fayaz Mohammadi², V. Chegini³ and A. Ashtari Larki²

1. Faculty of Environment, University of Tehran, Iran.
2. physical oceanography, Marine and Oceanic Science Faculty, University of Marine Science & Technology, Khorramshahr, Iran.
3. Iranian national institute for oceanography and atmosphere science, Tehran

Abstract

Arvandrood is the most important shipping river at the border of Iran and Iraq at the north of the Persian Gulf. As the border is determined by the talweg of the river, the changes of the talweg, as a result of erosion and deposition, is always considering. As a reason of inertia, current of the river tends to keep his direction forward. In meanders which the current has to change his direction, the sidewalls of the river experience severe shear stress that leads to sharp decrease of current energy and water level fluctuation, and increase of suspended sediment concentration. To simulate this in Arvandrood river, a 3D hydrodynamic model, DHI MIKE 21/3, has been employed. This model is based on a flexible mesh and the numerical solution of the two/three dimensional incompressible Reynolds averaged Navier-Stokes equations invoking the assumptions of Boussinesq and of hydrostatic pressure. In the first step, the model results were verified by the measured data in 4 stations. Comparing the water level in Faw position was shown that the Root Mean Square Error is 0.16 which is a good figure. Then, the model outputs were analyzed which show that in a straight direction of 18 kilometer from Abadan to Khosroabad, water level fluctuation and suspended sediment concentration have increased 18% and 3.8% respectively; while it is 22% and 15% in a way of 17 kilometer with two meander.

Keywords: Arvandrood, river meandering, suspended sediment, numerical modelling, Mike 21/3

Figures context

- Figure 1 Historical sequence of changes on the River Bollin, Cheshire, UK
- Figure 2 The river meandering cut-off process
- Figure 3 Area of study and position of stations
- Figure 4 Data flow and physical processes for MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Mud Transport calculation.
- Figure 5 Bathymetry and the mesh employed in the model
- Figure 6 Granulometry of the bed sediment by sieve and hydrometric
- Figure 7 Granulometry of the suspended sediment by Mastersizer
- Figure 8 Suspended sediment concentration Khorramshahr station
- Figure 9 Comparison of water level fluctuation between model and Admiralty tide table in Faw
- Figure 10 Comparison of model and measured data of water level fluctuation in three stations
- Figure 11 Comparison of surface current speed between model and measured data at the mouth station
- Figure 12 Comparison of current speed between model and measured data at Shotate station.
- Figure 13 Measured suspended sediment concentration in three stations
- Figure 14 Selected stations to investigate physical parameters
- Figure 15 Simulated suspended sediment concentration in three stations
- Figure 16 Comparison of water level fluctuation in t2, t3, and t4 stations
- Figure 17 Suspended sediment concentration in t1, t2, and t3 stations

Figure 18 Measured suspended sediment concentration in Arvandan and Shotate

Table 1 Tidal constituents at the sea boundary

Table 2 Sediment fractions properties in the model

Table 3 Bed layers properties

Table 4 The distances and meandering of river between stations of figure 11