

مدل سازی جریان و نوسان سطح آب در مصب رودخانه اروندرود

مسعود صدوری نسب^۱ و محمد فیاض محمدی^۱

۱- گروه فیزیکی دریای، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

چکیده

در این مطالعه تغییرات سمت و سرعت جریان و نوسان سطح آب در مصب رودخانه جزرومدی اروندرود مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق از مدل سه بعدی و هیدرودینامیکی کوهیرنس استفاده شده است که در آن معادله پیوستگی، معادلات ناپیراستوکس در سه بعد و معادله‌های انتقال شوری و دما به روش جداسازی به هنگام می‌شوند. در مدل از مختصات دکارتی برای راستای افق و از مختصات سیگما با سه لایه برای راستای قائم استفاده شده است. شرایط مرزی اعمال شده شامل تغییرات دما، شوری و دبی برای مرز باز رودخانه و تغییرات دما و شوری و اعمال مولفه‌های جزرومدی O1, S2, M2 و K1 برای مرز باز دریا در مدل به کار گرفته شده است. همچنین پارامترهای میانگین شده ماهیانه جوی (سرعت و سمت باد، دمای هوا، بارش، رطوبت نسبی و پوشش ابر) در مدل اعمال شده است. در این مدل از شبکه یکتواخت به ابعاد ۴۹۱×۶۹۰ استفاده شده است که منطقه ای در حدود ۴۰-۵۵ کیلومتر مربع از مصب رودخانه اروندرود را تحت پوشش قرار داده است. شروع اجرای مدل سپتامبر سال ۲۰۰۹ بود. از آنجایی که در شرایط اولیه، سرعت‌ها صفر و همچنین دما و شوری برای کل محیط یکتواخت وارد شده بود، لذا مدل برای یک ماه بدون دریافت خروجی و صرفاً جهت پایداری اجرا شد. خروجی‌های ماه‌های اکتبر و نوامبر نشان می‌دهند که حداکثر سرعت جریان در دهانه در زمان مهکشند هنگام جزر رخ می‌دهد که به ۹۵/۰ متر بر ثانیه می‌رسد. به منظور صحت سنجی، سرعت جریان، جهت جریان و نوسانات سطح آب در آبان ماه ۱۳۸۶ در مصب رودخانه اندازه گیری شد. علاوه بر این نتایج مدل برای نوسان سطح آب کاملاً با جداول پیش بینی جزر و مد آدمیرالیتی تطابق دارند. مقایسه نتایج مدل با داده‌های اندازه گیری شده تطابق زیادی را نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: رودخانه جزرومدی، مولفه‌های جزرومدی، مدل سازی عددی، پارامترهای فیزیکی آب دریا، اروندرود

۱- مقدمه

اکتشاف، بهره برداری و استخراج از منابع نفت و گاز در دریاها، ناوبری، شیلات، حفاظت از محیط زیست دریایی هم چنین ساخت سازه‌های ساحلی و دیگر پروژه‌های مهندسی از جمله پایداری دهانه‌ی رودخانه‌ها و کانال‌های کشتیرانی و صیادی نیازمند تعیین سطح تراز آب دریا و جریان‌های دریایی از جمله بررسی‌های دقیق کشند می‌باشد. بررسی این موضوع به ویژه در مناطقی که جریان‌های کشندی همراه با خروجی آب رودخانه می‌باشد، از اهمیت بیشتری برخوردار است. علاوه بر این در مصب رودخانه‌هایی که به دریاها آزاد متصل می‌باشند، پیش بینی جریان‌های کشندی و غیر کشندی به علت محدودیت در مانور کشتی‌ها حائز اهمیت فراوان است.

امروزه در مناطق مختلف دنیا از مدل‌های عددی برای بررسی و پیش بینی نوسانات سطح آب، جریان‌ها و امواج استفاده می‌گردد. دلیل این امر قابلیت تغییر در ضرایب و بهبودی کاربری پارامترهای موجود در معادلات مدل می‌باشد که می‌توان به این وسیله با آزمایش و فراسنجی این ضرایب با استفاده از داده‌های اندازه گیری شده، نتایج را با دقت‌های بسیار بالایی به واقعیت نزدیک کرد. در این تحقیق از مدل کوهیرنس که یک مدل سه بعدی و هیدرودینامیکی با کدهای باز است، استفاده شده است. به علت قابلیت دستکاری در کدهای این مدل، می‌توان آن را برای مناطق مختلف و اهداف مختلف به کار برد. از جمله کارهایی که با این مدل انجام شده است می‌توان به بررسی فراجوشی ساحلی در خلیج فارس با استفاده از مدل سازی عددی سه بعدی توسط صدری نسب (Sadrinasab, 2009) هم‌چنین فرایند پخش زبانه رودخانه شانگ جیان چین طی جزرومد توسط Shi و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد. تا زمان نگارش این مقاله هیچ تحقیق مشابهی مبنی بر

اینکه نفوذ جزرومد به رودخانه توسط کوهیرنس بررسی شده باشد انجام نشده است.

اهمیت این تحقیق به علت قرار گرفتن بندر خرمشهر در 85 کیلومتری بالادست اروندرود دو چندان می‌شود. بندر خرمشهر در سه راهی کانالی که بهممنشیر و اروندرود را به هم متصل می‌کند قرار دارد. پهلو گرفتن کشتی‌های عظیم کانتینربر در این بندر و تردد انواع شناورها در آبراهه اروندرود، باعث شده که بررسی رفتار هیدرولیکی این رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار باشد.

هدف از این تحقیق ارائه و بررسی نتایج یک مدل عددی برای پیش بینی سمت و سرعت جریان و تعیین تراز سطح آب در مصب اروندرود می‌باشد. با توجه به قرار گرفتن رودخانه اروندرود در مرز بین دو کشور ایران و عراق و مناقشات و درگیری‌های دیرینه سیاسی بر سر مرز بندی‌های بین این دو کشور، حدوداً از 58 سال گذشته، امکان عملیات میدانی و داده برداری از پارامترهای فیزیکی در این منطقه به وجود نیامده است و این تحقیق اولین مطالعه بر روی این منطقه پس از 58 سال محسوب می‌شود.

منطقه مورد مطالعه رودخانه پهناور اروندرود است که در جنوب غربی ایران قرار گرفته و از هم ریزش رودهای دجله، فرات و کارون پدید آمده است. بعد از متصل شدن کارون به اروندرود، مسیری در حدود 85 کیلومتر در مرز ایران و عراق طی می‌شود و به شمال خلیج فارس می‌ریزد. دهانه ورودی اروندرود به خلیج فارس تقریباً در هشت کیلومتری جنوب شهرهای اروندکنار و فاو می‌باشد. عرض این رودخانه به طور متوسط حدود 500 متر است (چگینی، ۱۳۷۷). محدوده ای که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، در قسمت شمالی خلیج فارس از دهانه اروندرود تا میانه‌های جزیره آبادان است و حدود 48 کیلومتر از طول رودخانه را در بر می‌گیرد (شکل ۱).

که در بررسی یک فرایند بتوانیم به آسانی و به دقت تغییرات لازم را اعمال کنیم و از روش های حل جایگزین استفاده کنیم و همچنین در مجموع می توان فرایندهای جدید را به آن اضافه کرد. هسته، میدان های جریان را با استفاده از حل معادلات ناویر-استوکس^۲ به هنگام می کند و همچنین شامل مدول های فرارفت-پراکنش هم می شود.

۲-۲- معادلات هیدرودینامیکی اصلی

معادلات اولیه تراکم ناپذیری حاکم بر مدل از معادلات ناویراستوکس نتیجه می شوند. به عبارتی دیگر در قسمت هیدرودینامیک مدل، از معادلات پایه ای زیر استفاده می شود:

الف) معادلات اندازه حرکت پایه ریزی شده روی تقریب های بوزینسکی^۳ و توازن های هیدروستاتیکی عمودی.

مولفه x معادله مومنوم

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x_1} + v \frac{\partial u}{\partial x_2} + w \frac{\partial u}{\partial x_3} - f v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\nu_T \frac{\partial u}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \tau_{11} + \frac{\partial}{\partial x_2} \tau_{21}$$

مولفه y معادله مومنوم

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x_1} + v \frac{\partial v}{\partial x_2} + w \frac{\partial v}{\partial x_3} + f u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\nu_T \frac{\partial v}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \tau_{12} + \frac{\partial}{\partial x_2} \tau_{22}$$

معادله هیدرواستاتیک (تقریب ایستایی)



شکل ۱- دهانه اروندرود و منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش کار

۳-۱- توصیف مدل

در این مطالعه از کوهیرنس^۱ که یک مدل هیدرودینامیکی سه بعدی برای نواحی ساحلی فلات قاره است و با مدل های بیولوژیکی، آلودگی و رسوب به هم پیوسته است استفاده شده است. کدهای مدل توسط یک گروه چند ملیتی اروپایی در دوره زمانی ۱۹۹۸-۱۹۹۰ توسعه داده شده است. این مدل ابتدا برای شبیه سازی پدیده ها در دریای شمال و نواحی ساحلی دارای لایه بندی به کار برده می شد (Laith and Al-Hassan, 1992). با دست کاری کدها و تنظیم پارامترهای مدل می توان مدل را برای مناطق دیگر از جمله خلیج فارس ویا مصب رودخانه اروندرود به کار برد.

طرح کلی این مدل شامل یک قسمت هسته و یک سری مدول ها است. طراحی این مدول ها اجازه می دهند

^۲ Navier-stokes

^۳ Boussinesq

^۱ COHERENS (Coupled Hydrodynamical-Ecological model for REgionAl and Shelf seas)

$$\tau_{11} = 2\nu_H \frac{\partial u}{\partial x_1}$$

$$\frac{\partial p}{\partial x_3} = -\rho g$$

$$\tau_{21} = \tau_{12} = \nu_H \left(\frac{\partial u}{\partial x_2} + \frac{\partial v}{\partial x_1} \right)$$

ب) معادله پیوستگی

$$\frac{\partial u}{\partial x_1} + \frac{\partial v}{\partial x_2} + \frac{\partial w}{\partial x_3} = 0$$

$$\tau_{22} = 2\nu_H \frac{\partial v}{\partial x_2}$$

ج) معادلات دما و شوری

که ν_H ضریب پخش افقی برای اندازه حرکت است.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x_1} + v \frac{\partial T}{\partial x_2} + w \frac{\partial T}{\partial x_3}$$

ضرایب پخش افقی λ_H, ν_H فرایندهای موجود در مقیاس زیرشبکه ای^۱ را بیان می کنند. چون فرایندهای موجود در مقیاس زیرشبکه ای توسط مدل حل نخواهند شد توسط ضرایب پخش افقی λ_H, ν_H پارامتر سازی می شوند.

$$= \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{\partial I}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda_T \frac{\partial T}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\lambda_H \frac{\partial T}{\partial x_2} \right)$$

جذب گرمای خورشید در ستون آب توسط جمله

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x_1} + v \frac{\partial S}{\partial x_2} + w \frac{\partial S}{\partial x_3}$$

در معادله دمایی (Δ) نشان داده شده است. تابش

$$= \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\lambda_T \frac{\partial S}{\partial x_3} \right) + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\lambda_H \frac{\partial S}{\partial x_2} \right)$$

خورشید I به صورت مجموع یک مولفه فروسرخ و یک مولفه موج کوتاه می باشد.

که (u, v, w) اجزاء جریان، T دما، S شوری،پارامتر کوریولیس، $f = 2\Omega \sin \phi$ فرکانس چرخش زمین، $\Omega = 2\pi / 86164 \text{ rad/s}$ شتاب گرانش، P فشار، ν_T و λ_T ضرایب پخش وویسکوزیته گردابی، λ_H ضریب پخش افقی برای شوریو دما، p وزن مخصوص، ρ وزن مخصوص مرجع، C_p گرمای ویژه آب دریا در فشار ثابت و $I(x_1, x_2, x_3, t)$ جذب تابش خورشید در ستون آب با واحد Wm^{-2} است.

۳-۳- روش حل معادلات در منطقه مورد مطالعه

در این مدل از روش تفاضل محدود استفاده شده است. شبکه انتخاب شده برای حالت های افقی شبکه معروف آراکاوا-سی^۲ است و برای حالت عمودی از مختصات سیگما استفاده شده است.

این مطالعه بر اساس مختصات سیگمای عمودی عمقی متشکل از سه لایه سیگما و فضای شبکه ای کارتیزین با $\Delta x = 80m$ (سمت شرقی - غربی)

چهار مولفه تانسور افقی تنش بصورت زیر بیان

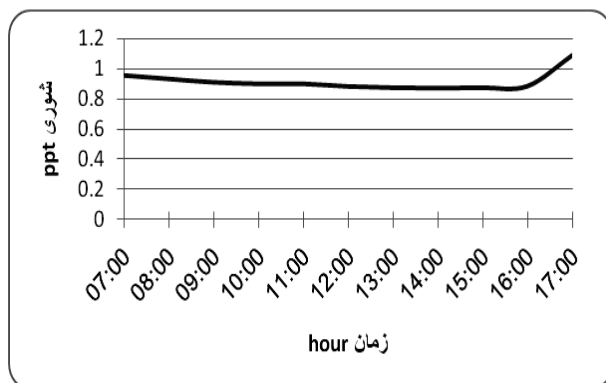
می شوند:

1 Subgrid-scale

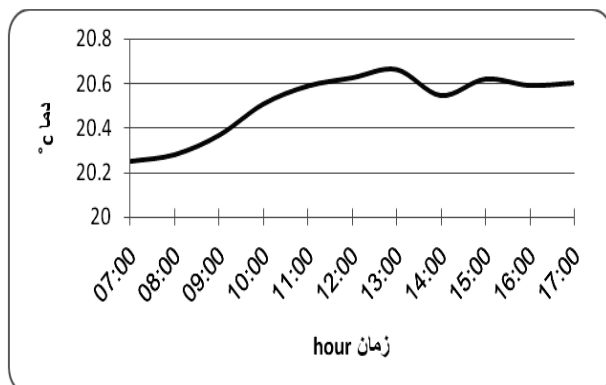
2 Arakawa "C"

از آنجا که در مدل، مرز باز رودخانه در بالا دست تعریف شده است هیچ مولفه جزرومدی برای آن در نظر گرفته نشده است و نوسانات سطح آب در این مرزها ناشی از نفوذ موج جزرومدی از دهانه رودخانهها می باشد. برای اعمال شرایط مرزی دما و شوری در مرز رودخانه، اندازه گیری های میدانی در آبان ماه سال ۱۳۸۷ از خط القعر اروندرود از میانه عمق در موقعیت جزیره مینو (N 30°: 21' 69/40 E 11° 38/17) 48° صورت گرفته است. نمودارهای ۱ و ۲ به ترتیب دما و شوری حاصل از این اندازه گیری را نشان می دهند. بدین ترتیب شوری مرز رودخانه ثابت و برابر 1 psu و دما نیز ثابت و معادل ۲۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است.

برای اعمال دما و شوری در مرز دریا نیز مدل از داده های 73 ساله (Alesi 1999) در محل مورد نظر به عنوان شرایط مرزی استفاده شده است.



نمودار ۱ تغییرات شوری اروندرود در موقعیت جزیره مینو



و $\Delta y=83m$ (سمت شمالی - جنوبی) می باشد. کمترین عمق آب در مدل 3 متر و بیشترین عمق آب 23 متر می باشد. دلیل انتخاب حداقل عمق سه متر عدم حساسیت مدل به خشک شدن سلول های تر هنگام جزر است. به همین خاطر کمترین عمق باید بیشتر از حداکثر محدوده جزرومد باشد تا در زمان جزر هیچ سلول تری خشک نشود.

زمان شروع مدل از ابتدای ماه سپتامبر می باشد. شرایط اولیه اعمال شده به مدل شامل شوری 39 psu و دمای $21^{\circ}C$ به طوریکه نواخت برای تمام حوزه آبی شامل رودخانه ها و دریا می باشد. سرعت اولیه جریان ها نیز صفر است. برای این که شرایط اولیه داده شده به مدل کاملاً توسط نیروها و شرایط مرزی اعمال شده به پایداری برسد، مدل یک ماه بدون دریافت خروجی اجرا شد و خروجی های مدل، از ماه دوم به بعد استخراج شدند. لازم به ذکر است از آنجا که حجم آبی مدل در زمان پایین ترین جزر حدود 6 کیلومتر مکعب می باشد مدل در مدت زمان کوتاهی به پایداری می رسد.

نیروهای میانگین ماهیانه اتمسفری اقلیمی استفاده شده در مدل (مولفه های سرعت و جهت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، پوشش ابر و بارش) برای یک دوره 54 ساله (1984-2002) از داده های NOAA^۱ موجود بوده و در مدل از آن ها استفاده شده است (Kangarani, 2005). دبی اعمال شده به مدل برای ماه های سپتامبر، اکتبر و نوامبر که ماه های کم آبی رودخانه اروندرود نیز می باشند از ۵۰۰ تا ۳۷۰ متر مکعب بر ثانیه رو به کاهش در نظر گرفته شده است. دامنه و فاز چهار مولفه اصلی جزر ومد (M_2, S_2, O_1, K_1) از جداول آدمیرالیتی برای منطقه ای به نام اروندرود باز استخراج و در مرز جنوبی، به صورت مقادیر ثابت در مدل اعمال شده اند.

¹ NOAA

نمودار ۲. تغییرات دمای ارون درود در موقعیت جزیره مینو

۳- نتایج مدل

۳-۱- بررسی سرعت و جهت جریان و سرعت

پیشروی موج جزرومدی در دهانه ارون درود

سرعت در رودخانه از دو جهت قابل بررسی است. الف) سرعت جریان آب رودخانه و ب) سرعت پیشروی موج جزرومدی در رودخانه. برای درک بهتر تفاوت این دو مورد، توجه به این نکته مفید می‌باشد که در یک آب ساکن که سرعت جریان آب در آن صفر است می‌توان موج پیشرونده ایجاد کرد.

سرعت جریان آب رودخانه بصورت مستقیم توسط مدل محاسبه می‌شود و در خروجی‌های مدل بصورت مولفه‌های سرعت (در راستاهای شرقی-غربی و شمالی-جنوبی) داده می‌شود که از روی آن می‌توان جهت جریان را نیز بدست آورد. اما برای محاسبه سرعت موج جزرومدی باید به صورت غیر مستقیم عمل نمود. روش معمول بدین صورت است که فاصله زمانی (t) و بین دو نقطه از رودخانه را که در حالت آب ساکن قرار می‌گیرند از مدل استخراج و سپس سرعت موج محاسبه می‌شود.

الف) بررسی سرعت و جهت جریان

با توجه به این که نتایج مدل تقریب خوبی با واقعیت دارند می‌توان از نتایج مدل برای تحلیل و بررسی سمت و سرعت جریان رودخانه در زمان‌ها و مکان‌های مختلف استفاده نمود. از آنجایی که در رودخانه‌ها جریان دو بعدی است جریان به سمت دریا (دریاسو) مثبت در نظر گرفته می‌شود و هنگامی که بر اثر مد جهت جریان به

سمت بالا دست رودخانه (پاد دریاسو) تغییر می‌کند آن را با مقادیر منفی نشان می‌دهند.

نمودار ۳ پیش بینی سرعت جریان در مصب رودخانه ارون درود در موقعیت جغرافیایی $55^{\circ} 77' 16'' N$ و $29^{\circ} 03' 67'' E$ توسط مدل را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، حداکثر سرعت جریان در دهانه ارون درود $4/0 \text{ m/s}$ در هنگام جزر می‌باشد. با توجه به منحنی نوسانات سطح آب ملاحظه می‌شود که با افزایش دامنه جزرومد و نزدیک شدن به مهکشند، دامنه تغییرات سرعت جریان نیز به ماکزیمم خود نزدیک می‌شود. حداکثر سرعت جریان رودخانه به سمت بالا دست (پاد دریاسو) برابر $54/0 \text{ m/s}$ می‌باشد.

ب) بررسی سرعت پیشروی موج جزرومدی

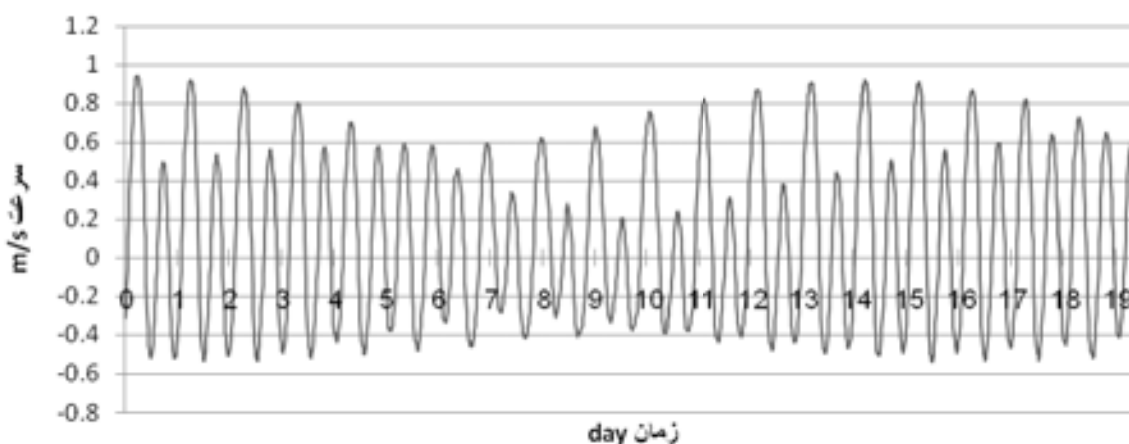
در هنگام مد سطح آب دریا بالا می‌آید و این افزایش ارتفاع آب در دهانه رودخانه بصورت موج به داخل رودخانه نفوذ می‌کند و باعث افزایش سطح آب رودخانه می‌شود. از طرفی بالا آمدن سطح آب در دهانه باعث ممانعت از خروج آب رودخانه و انباشت آن می‌شود و بدین صورت عمده حجم آبی که باعث بالا آمدن سطح آب رودخانه می‌شود توسط دبی خود رودخانه تامین می‌شود. با استفاده از خروجی‌های مدل می‌توان نوسانات سطح آب را برای تمام نقاط رودخانه بررسی نمود. علاوه بر مقایسه منحنی نوسان سطح آب بین دو ایستگاه، با مقایسه منحنی نوسان سطح آب نیز می‌توان اختلاف زمانی فاز موج جزرومدی بین دو ایستگاه را به دست آورد و به کمک آن‌ها سرعت پیشروی موج جزرومدی در رودخانه را محاسبه نمود.

از آنجا که جزرومد در شمال خلیج فارس و به طبع آن در مصب ارون درود نیم روزانه می‌باشد مدت زمانی که لازم است تا آب از پایین ترین سطح به بالاترین سطح برسد حدود 6 ساعت می‌باشد (Laith and Al-

نمودار ۶ نوسانات سطح آب در دهانه اروندرود و خسروآباد را بصورت همزمان نشان می‌دهد. در این شکل، میزان تضعیف دامنه موج و مدت زمانی که طول می‌کشد تا قله موج از دهانه به خسروآباد برسد قابل مشاهده است.

برای مشاهده و محاسبه دقیق تر فاصله زمانی بین رسیدن قله موج چتر و دهانه از دهانه اروندرود تا خسروآباد، از نمودار ۴ یک روز خاص انتخاب و با مقیاسی دقیق تر در نمودار ۵ رسم شده است.

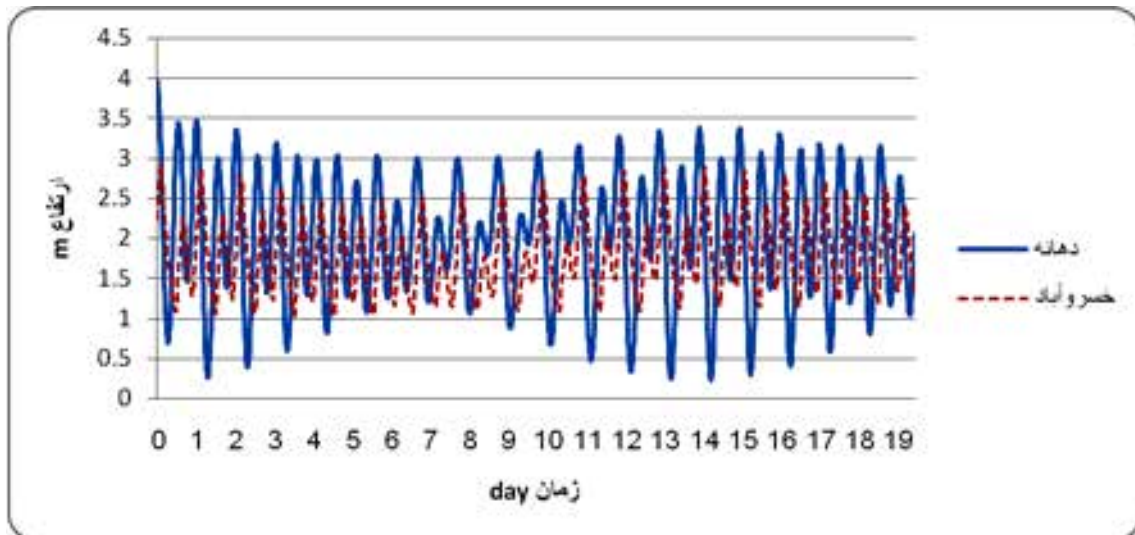
(Hassan,1992, Allesi, 1999). برای بررسی بهتر نوسان سطح آب، دو ایستگاه یکی در دهانه اروندرود در موقعیت جغرافیایی (17° 56' 29" شمالی و 36° 0' 0" شرقی) و دیگری در خسروآباد در موقعیت جغرافیایی (10° 10' 30" شمالی و 48° 08' 24" شرقی) به فاصله حدودا 40 کیلومتر از یکدیگر انتخاب شدند تا مقایسه نوسان سطح آب مشهودتر باشد (شکل 2).



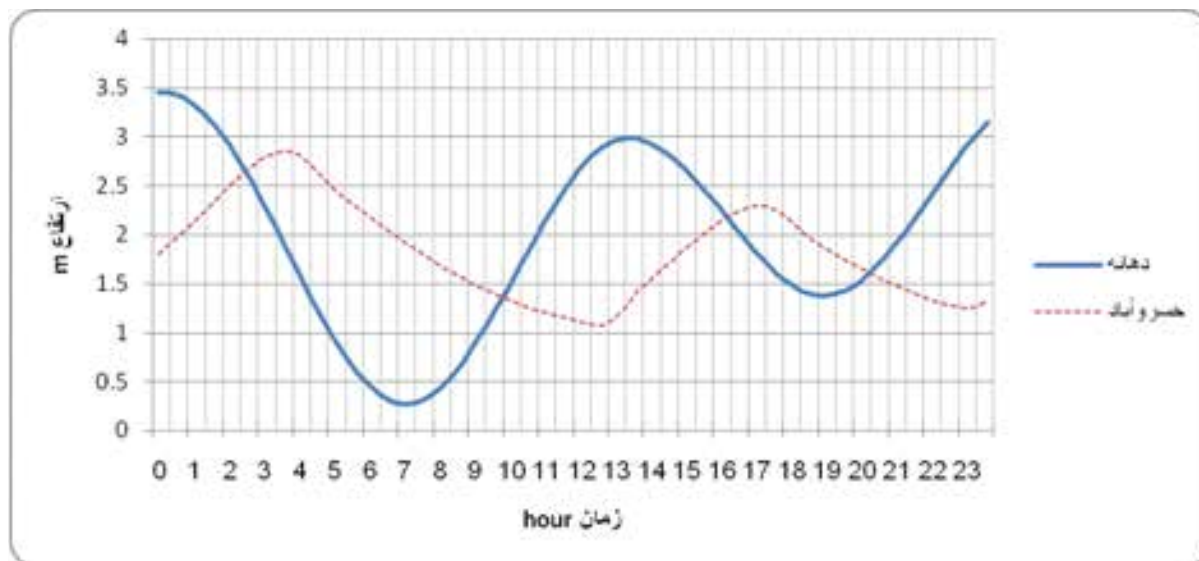
نمودار ۴ منحنی تغییرات سرعت جریان در دهانه اروندرود



شکل ۲. دو ایستگاه، دهانه اروندرود و خسرو آباد با علامت x مشخص شده است



نمودار ۴. منحنی نوسانات سطح آب در خسروآباد و دهانه اروندرود



نمودار ۵. منحنی نوسانات سطح آب در خسروآباد و دهانه اروندرود در یک روز خاص

بستر رودخانه، باعث تلف شدن سریع‌تر انرژی موج و تضعیف بیشتر دامنه موج می‌شود.

علاوه بر این در نمودار ۵ ملاحظه می‌شود که نوسان سطح آب در دهانه منظم و کاملاً شبیه نوسان سطح آب در دریاهاى آزاد است اما در خسروآباد هنگام مد به علت انباشت آب از دو طرف یکی از سمت دریا به علت مد و دیگری از سمت بالادست رودخانه به علت جریان رودخانه، نوسان سطح آب منظم نیست و مد سریعتر از جزر رخ می‌دهد.

۳-۲- بررسی صحت نتایج مدل از طریق

مقایسه با داده‌های میدانی

برای سنجش صحت نتایج مدل، پارامترهای سمت و سرعت جریان و همچنین نوسان سطح آب از مدل استخراج و با داده‌های اندازه‌گیری میدانی مقایسه شده است.

مدت زمانی که طول می‌کشد تا قله موج از دهانه به خسروآباد برسد حدود سه ساعت و ۴۰ دقیقه می‌باشد. با در نظر گرفتن این زمان و فاصله ۴۰ کیلومتری بین دو ایستگاه سرعت متوسط پیشروی موج جزرومدی در اروندرود حدود ۳ متر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به نظریه امواج با طول موج بلند در دریا، سرعت پیشروی موج در آب کم عمق از رابطه‌ی ساده شده‌ی $c = \sqrt{gd}$ به دست می‌آید (Najafi, 1997). بر این اساس با توجه به این که عمق متوسط رودخانه حدود ۵/۴ متر وارد شده است، سرعت موج ۶/۶ متر بر ثانیه محاسبه می‌شود. این اختلاف نشان می‌دهد که از تئوری‌های امواج دریاهاى آزاد، نمی‌توان برای رودخانه‌ها با شرایط هیدرولیکی خاص استفاده کرد. در رودخانه موج جزرومدی بر روی جریانی سوار است که این جریان در جهت دریاسو در حرکت است.

دامنه موج جزرومدی زمانی که در دهانه ۳/۲ متر است در فاصله ۴۰ کیلومتری از دهانه به ۱/۸ متر کاهش یافته است یعنی حدود ۵/۵٪ تضعیف شده است. کاملاً بدیهی است که افزایش میزان تنش وارده بر آب از طرف دیواره‌ها و بستر بر اثر پیچ و خم ویا برآمدگی‌های

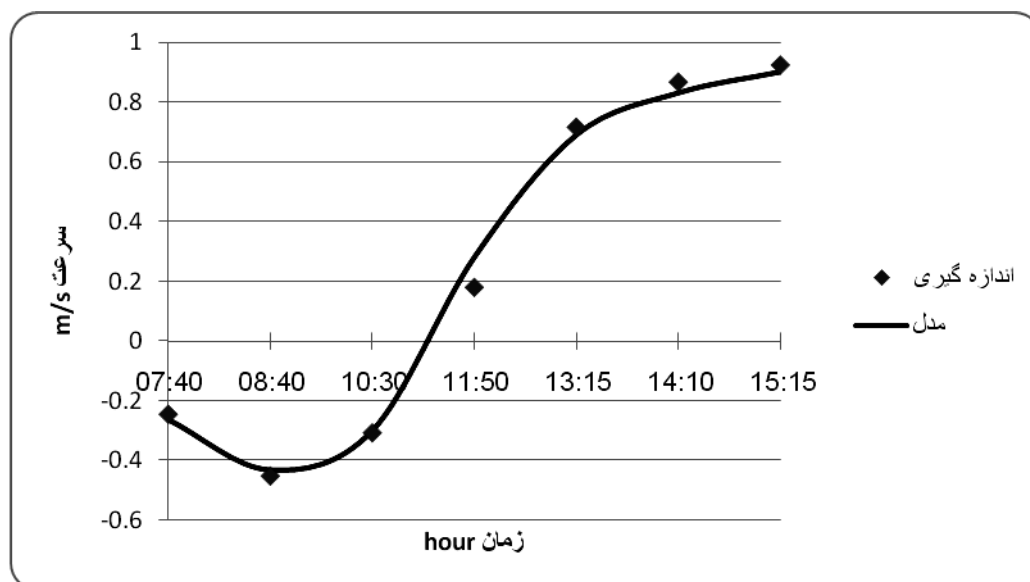
الف) سمت و سرعت جریان

برای سنجش سمت و سرعت جریان، این دو پارامتر در فاصله 29 کیلومتری از دهانه در موقعیت جغرافیایی $30^{\circ}4'95/32N$ و $48^{\circ}26'37/8 E$ با استفاده از جریان سنج پروانه‌ای مغناطیسی، سرعت و جهت جریان به صورت ساعتی به مدت هشت ساعت اندازه گیری شدند. در این کار میدانی در سه نقطه از عرض رودخانه و برای هر یک از سه عمق 1/0، 5/0 و 9/0 از عمق کل، سرعت جریان بصورت ساعتی اندازه گیری و همچنین نوسانات سطح آب توسط جزرومد سنج ثبت شده است. این داده‌ها هرچند بسیار محدوداند اما دقیق‌ترین اطلاعاتی هستند که تاکنون از سمت و سرعت جریان در اروندرود برداشته شده‌اند. نمودار ۶ سرعت میانگین جریان در ایستگاه اندازه‌گیری و خروجی حاصل از مدل را نمایش می‌دهد.

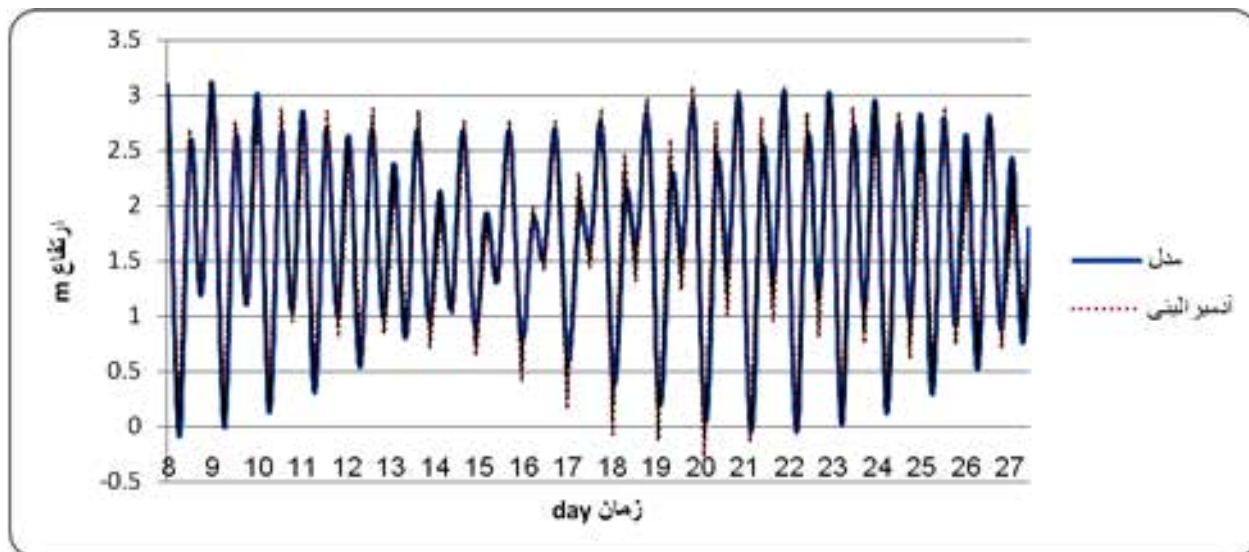
جهت بررسی این‌که دو دسته ارقام تا چه حد به یکدیگر نزدیک می‌باشند از محاسبه همبستگی استفاده شد. در این مطالعه ارتباط بین دو متغیریکی سرعت جریان از مدل و دیگری سرعت جریان از اندازه گیری میدانی حدود $99/7\%$ به دست آمد که نشان دهنده تطابق بسیار خوب نتایج مدل با واقعیت است.

ب) نوسان سطح آب

برای بررسی صحت نتایج نوسانات سطح آب توسط مدل، نتایج مدل با جداول آدمیرالیتی پیش بینی جزرومد مقایسه شده‌اند و همبستگی میان آن‌ها سنجیده شده است. نمودار ۷ تغییرات این دو متغیر را در محل مصب رودخانه، برای بازه زمانی بین یکم تا بیست و هفتم فوریه سال ۲۰۰۹ نشان می‌دهد. همان گونه که از این شکل مشخص است تطابق بسیار خوبی بین خروجی مدل و واقعیت وجود دارد.



نمودار ۶ مقایسه داده‌های میدانی و نتایج مدل برای تغییرات سرعت و جهت جریان در مصب رودخانه



نمودار ۷. مقایسه نوسان سطح آب، به دست آمده از مدل و ثبت شده در جداول جزر و مد آدمیرالیتی (در مصب رودخانه، یکم تا بیست و هفتم فوریه ۲۰۰۹)

۴- بحث

آن به میزان تنش دیواره‌ها و بستر رودخانه بستگی دارد. با این توضیح سرعت پیشروی موج جزرومدی بین دهانه تا خسروآباد (۴۰ کیلومتری دهانه) حدود ۳ متر بر ثانیه و میزان تضعیف دامنه موج بین این دو نقطه در زمان بیشینه جزرومد ۵/۵٪ و در زمان کمینه جزرومد ۵/۷۰٪ محاسبه شده است.

-هرچه از دهانه به سمت بالا دست رودخانه پیش رویم، ملاحظه می‌شود که الگوی جزرومد از حالت منظم خارج می‌شود به نحوی که فاصله زمانی بین مد کامل تا جزر کامل افزایش می‌یابد. این موضوع به وضوح در نمودار ۵ ملاحظه می‌شود.

-با توجه به اینکه تردد کشتی‌ها در آبراه‌های باریک به عوامل مهمی چون سمت و سرعت جریان و عمق آبراه بستگی دارد و با توجه به اینکه عمق دهانه اروندرود در مهکشند طی ۶ ساعت بیش از ۳ متر تغییر می‌کند، به کمک نتایج این مدل می‌توان زمان مناسب برای حرکت کشتی‌ها را برنامه‌ریزی کرد.

منابع

با توجه به مقایسه صورت گرفته بین نتایج مدل با داده‌های میدانی و تایید نتایج مدل می‌توان سرعت جریان آب در مصب رودخانه اروندرود را در زمان‌ها و مکان‌های دیگر مورد بررسی قرار داد. نمونه ای از این بررسی مربوط به دهانه اروندرود است که در نمودار ۳ نشان داده شده است. این منحنی مربوط به اکتبر سال ۲۰۰۹ می‌باشد که فصل کم آبی اروندرود محسوب می‌شود. ملاحظه می‌شود که بیشینه سرعت میانگین شده جریان در یک مقطع در مصب اروندرود به سمت دریا (دریاسو) ۹۵/۰ m/s و بیشینه آن به سمت بالادست رودخانه (پاد دریاسو) ۵۴/۰ m/s است.

بیشینه سرعت جریان به هنگام جزر بیشتر از بیشینه سرعت جریان در هنگام مد است. علت این امر همراهی جهت جریان رودخانه با جریان جزر است. -مشاهده می‌شود که الگوی تغییرات سرعت جریان در دهانه کاملاً مشابه الگوی نوسان سطح آب است.

-هنگام نفوذ موج جزرومدی به رودخانه سرعت پیشروی موج به عمق رودخانه، و میزان تضعیف دامنه

Luyten, P. J., Jones, J. E., Proctor, R., Tabor, A., Tett, P. and Wild Allen, K. 1999. COHERENS A coupled hydrodynamical-ecological model for regional and shelf seas: user documentation, MUMM Rep., Management Unit of the Mathematical Models of the North Sea pp: 911.

Laith A.J. and Al-Hassan, 1992, Shadow of the Shatt Al-Arab River in Iraq. Shad J. 4:54-62.

Alessi, C. A. 1999. Hydrographic data from the US naval oceanographic office: Persian Gulf, Southern Red sea and Arabian sea 1923-1996, Woods Hole Oceanographic Institution, WHOI-99-02.

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

چگینی، و ۱۳۷۷. نظریه‌های موج. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، ۳۰۱ ص.

Sadrinasab, M. 2009. Three-Dimensional Numerical study of Coastal Upwelling in the Persian Gulf. Res. J. Environ. Sci. 3:.

Shi, J. Z., Lu, L. F. and Liu, Y. N., 2010. The Hydrodynamics of an Idealized Estuarine Plume along a Straight Coast: A Numerical Study. Environ. Mod. Asses. 15: 1420-2026.

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