

بررسی جریان‌های کشندی با استفاده از مدل MIKE21 و اندازه‌گیری‌های میدانی و مدل جهانی FES در خلیج فارس

محمد جوکار^۱ کامران لاری^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۹/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۲/۰۸

چکیده

در مهندسی سواحل اطلاعات میدانی به هنگام و کافی از وضعیت کشندی برای مواردی نظیر توسعه سواحل، کالیبره کردن مدل‌های هیدرودینامیکی عددی، هیدروگرافی، انتقال رسوب و سایر موارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این پژوهش ارزیابی و صحت‌سنجی مدل هیدرودینامیکی عددی کشندی در آب‌های خلیج فارس با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه‌های کشندسنجی و دستیابی به الگوی ترازهای کشندی می‌باشد. در همین راستا از داده‌های عمق‌سنجی و خط ساحلی و اطلاعات یک ساله ده ایستگاه کشندسنجی در خلیج فارس و میدان باد GFS^۳ استفاده شد. از مدل FM (Flow Model) نرم افزار MIKE21 با ساختار مش نامنظم و با در نظر گرفتن نیروهای نجومی جریان‌های کشندی شبیه‌سازی شد و با نتایج اندازه‌گیری‌های ایستگاه‌ها صحت‌سنجی به عمل آمد. در گام بعدی مؤلفه‌های کشندی استخراج شد. شبیه‌سازی جریان کشندی خلیج فارس با مدل MIKE تطابق بسیار خوبی با داده‌های میدانی ایستگاه‌های کشندسنجی نشان داد. در مرحله پایانی مقادیر ارائه شده توسط مدل جهانی FES با استفاده از نرم افزار Matlab استخراج شد. نتایج آنالیز کشندی حاصل از مدل جهانی کشند اقیانوسی با نتایج آنالیز کشندی حاصل از مدل‌سازی (نتایج حاصل از ایستگاه‌های کشندسنجی) مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. براساس نتایج در محدوده مورد بررسی، مؤلفه‌های کشندی بدست آمده از مدل جهانی کشند اقیانوسی در نواحی ساحلی و کم عمق تطابق و دقت کمی با مؤلفه‌های کشندی ایستگاه‌های کشندسنجی را نشان داد این در حالی است که در مناطق عمیق اختلاف کمتری بین مؤلفه‌های متناظر مشاهده گردید. واژه‌های کلیدی: ترازهای جزرومدی، جریان‌های جزرومدی، مدل Mike، خلیج فارس.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد هیدروگرافی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال jokar.mahya@yahoo.com

۲- دانشیار گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال (نویسنده مسئول) k_lari@iauo-tmb.ac.ir

۱- مقدمه

تغییرات در مناطق ساحلی که در معرض کشند و دیگر عوامل مختلف می‌باشند؛ اجتناب ناپذیر بوده و شناسایی و بررسی این تغییرات در عمق و کرانه‌های ساحلی جهت برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت بخردانه از نیازهای اساسی هر کشور جهت توسعه پایدار می‌باشد. در سال‌های اخیر، مدل‌های جهانی کشند اقیانوسی متعددی با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره-ای و ایستگاه‌های کشندسنج، محاسبه و ارائه شده‌اند. از جمله مدل هیدرودینامیکی (FES2004 (Fimite Element Method که با استفاده از شبیه‌سازی داده‌های حاصل از کشند سنج‌ها در ۶۷۱ ایستگاه کشندسنجی بر روی شبکه‌ای با توان تفکیک ۱۲۵ درجه طراحی گردیده است، می‌توان به مدل جدید تر FES2012 مربوط به سازمان AVISO اشاره کرد. (Lyard F, 2006)

با توجه به اهمیت منطقه خلیج فارس تغییرات تراز آب این منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تحقیقات زیادی در این مورد انجام شده است. از جمله؛ آزر م، ساء، شفیعی و کامیابی گل (۱۳۸۷) نحوه تغییرات میانگین ماهیانه و فصلی تراز آب در خلیج فارس را به کمک ماهواره‌های تاپکس / پوزیدون و جیسون-۱ مورد بررسی قرار داده‌اند و تغییرات ماهیانه تراز آب را در تنگه هرمز همواره کمتر از ۱۵ سانتیمتر به دست آورده‌اند. محمدجواد طوریان و علیرضا آزموده اردلان (۱۳۸۹) تغییرات جزرومدی سطح آب دریای عمان و خلیج فارس را با استفاده از نتایج حاصل از مدل‌سازی کشندی مشاهدات ۱۷ ایستگاه کشندسنج‌های ساحلی و داده‌های ۱۱ سال ماهواره‌ی تاپکس / پوزیدون مورد ارزیابی قرار دادند و نقشه‌های سطح متوسط آب و چهار مؤلفه اصلی کشندی S2، M2، k1 و O1 تعیین نمودند که موجب افزوده شدن ۷۷۲ شبه تایدگیج در سطح دریای عمان و خلیج فارس به اطلاعات مشابه تایدگیج‌های ساحلی شده است. (کامله آقاچانلو، ۲۰۱۱)

سلطانپور و همکاران به بررسی مدل هیدرودینامیکی عددی دوبعدی برای جریان‌های کشندی در خلیج فارس (نواحی جزیره هنگام و هرمز بعنوان مرز شرقی مدل) پرداخته

و نتایج را با اندازه‌گیری‌های ایستگاه کشندی بندر عسلویه مورد مقایسه قرار دادند و به توانایی بالای مدل شبیه‌سازی عددی دست یافتند. (Ali Soltanpour, et al, 2016)

حرکت آب در خلیج فارس تحت تأثیر سه نیرو است: نیروی جزرومد، نیروی باد و تغییرات چگالی (سویفت، ۲۰۰۳). هرکدام از جریان‌های مختلف مقیاس زمانی متفاوت دارند. (Swiftm S.A, and Bower, A.S, 2003) جزرومد به صورت ساعتی، روزانه یا نیم روزانه است. جریان‌های ناشی از باد تحت تأثیر جهت باد بوده و تغییرات روزانه کمی دارند. اما جریان‌های ناشی از چگالی تغییرات هفتگی یا فصلی دارند (Babu, M.T, et al, 2005). در داخل کشور عظام و همکاران (۲۰۱۰) در سه نقطه شمالی تنگه هرمز جریان‌های سطحی را به دوروش لاگرانژی و اوبلری مورد مطالعه قرار داده و سرعت جریان‌ها را در این محدوده ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتر در ثانیه اندازه‌گیری کرده‌اند و در نتیجه تحقیقات خود دریافتند که جریانات کشندی به درک بهتری از گردش تبادل آب در تنگه هرمز کمک می‌کند. (Ezam, M. et al, 2010)

۲- روش تحقیق

در این تحقیق با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه‌های کشندسنجی و داده‌های ادمیرالتی^۲ عمق‌سنجی، شبیه‌سازی عددی مدل هیدرودینامیکی کشندی خلیج فارس انجام شده و با مدل جهانی FES2012 مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. مدل عددی مایک بر اساس حل معادلات تراکم ناپذیر متوسط زمانی ناویر استوکس^۳ و اعمال فرضیات بوسینسک^۴ و فشار هیدرواستاتیکی، مدل‌سازی عددی را انجام می‌دهد. با توجه به معادله پیوستگی داریم (Daoud A, H, et al, 2003):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

دو معادله مومتم در راستای افق برای مؤلفه‌های x و y

1- Swift

2- Admiralty

3- Reynolds averaged Navier-Stoks equation

4- Boussinesq approximation

قابل محاسبه می‌باشند. نرم‌افزار مورد استفاده در این بخش از مطالعات با نام MIKE21-HD-FM یکی از بسته‌های نرم‌افزاری MIKE21 است که توسط مؤسسه DHI کشور دانمارک توسعه یافته است. (Mike Software Documentation 2011)

در این نرم‌افزار معادلات فوق به روش حجم محدود صریح و با استفاده از اجزاء سه‌ضلعی نامنظم حل می‌شود. در این مطالعات کل خلیج فارس تا مرز تنگه هرمز به عنوان محدوده مدل منطقه‌ای منظور شده و برای ورودی مرزهای خشکی ساحلی نیز از دقیق‌ترین خطوط ساحلی استفاده شده است. زبری بستر که می‌تواند از طریق روابط شزی یا مانینگ به مدل معرفی گردد، کنترل‌کننده اصلی تراز آب و سرعت جریان در محدوده مدل است. با وجود این که روابط تجربی متعددی جهت تخمین ضریب زبری بستر (به طور عمده بر اساس جنس مصالح بستر) وجود دارند (Cuadrado, D.G, et al, 2005). بهترین و مناسب‌ترین راه برای تعیین این ضریب، واسنجی مدل با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی موجود از تراز آب و سرعت جریان است.

انتخاب پارامترهای منقطع‌سازی شامل مساحت المان‌های مثلثی و نیز گام زمانی حل معادلات، در هر یک از نواحی مدل‌سازی بر اساس دقت موردنیاز برای ارائه مشخصات جریان است. در نواحی ساحلی و مشخصات جریان تعیین می‌شود. در نواحی ساحلی و ایستگاه‌های جزرومدی، نیاز به ارائه مشخصات جریان با دقت بیشتری است، بنابراین مساحت کم‌تر مثلث‌ها در این ناحیه، ترجیح بیشتری دارد. پس از تعیین مثلث‌بندی، گام زمانی برای حل پایداری مدل بر اساس عدد کورانت از روابط (۵) و (۶) به دست می‌آید. (Dolatshahi Pirooz, et al, 2013)

$$C = \sqrt{gh} \quad (5)$$

$$C_R = C \frac{Dt}{Dx} \quad (6)$$

در رابطه C_R عدد کورانت است که تعیین‌کننده پایداری مدل می‌باشد. برای حصول دقت مناسب، این عدد (طبق توصیه راهنمای علمی برنامه) نباید از عدد ۰/۸ تجاوز کند. در گام زمانی ۱۵ عدد کورانت ۰/۶۵ در نظر گرفته شد. جهت مدل‌سازی جریان‌های کشندی در ناحیه مورد مطالعه

به ترتیب زیر تعریف می‌شود:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (2)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My}$$

و مؤلفه‌ی z اندازه حرکت عبارتست از:

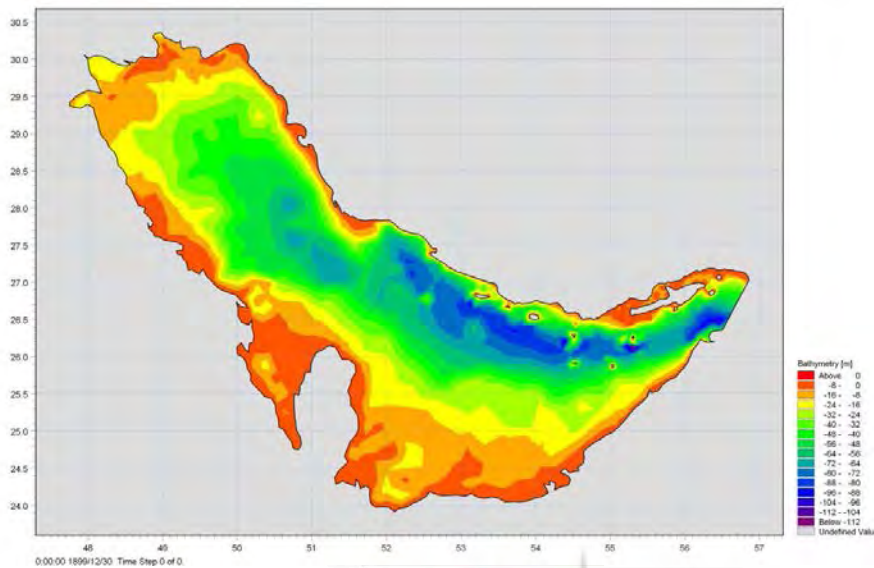
(Zohouri Shahin, et al, 2003)

$$\rho \frac{\Delta \omega}{\Delta \tau} = \frac{\partial(-\pi + \tau_{zz})}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + S_{Mz} \quad (3)$$

ترم زمانی؛ z, x, y مؤلفه‌های مختصات کارتیزین؛ $\rho \frac{Du}{Dt}$ و $\rho \frac{Dv}{Dt}$ نرخ افزایش اندازه حرکت در جهات x, y, z و u, v, w اجزاء مؤلفه سرعت در راستای y و x و z و ρ دانسیته آب؛ $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}$ اجزاء تانسور تنش؛ τ تنش لزجت گردابه‌ای در راستای عمودی؛ p مؤلفه‌های نیروهای ناشی از فشار اتمسفر؛ ρ دانسیته مرجع برای آب. آشفتگی جریان بر اساس استفاده از مفهوم لزجت گردابه‌ای در راستای عمودی از قانون لاگ از رابطه (۴) مدل می‌شود که در آن؛ d عمق آب آرام و h عمق نهایی آب می‌باشد. (Falconer, R.A, 1980)

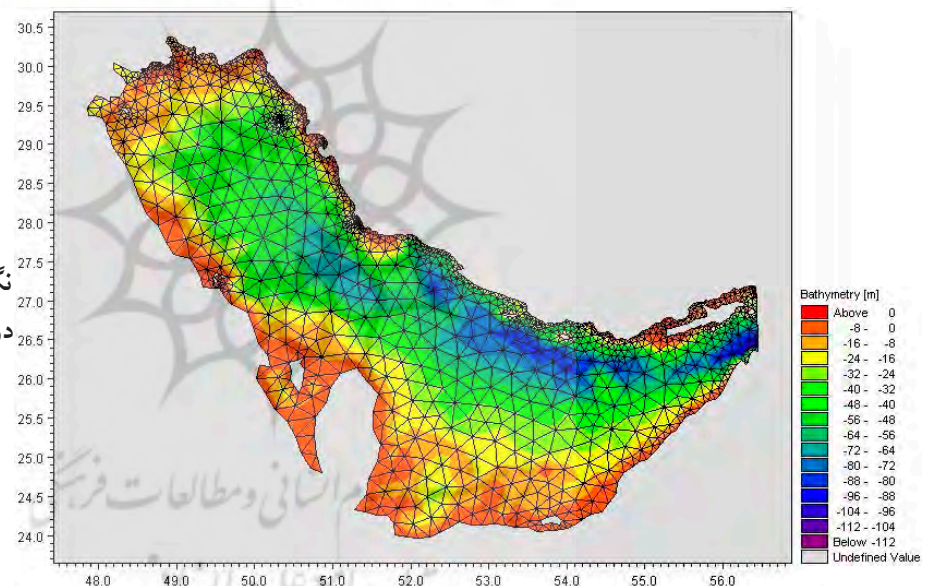
$$v_t = U_t h \left(c_1 \frac{z+d}{h} + c_2 \left(\frac{z+d}{h} \right)^2 \right) \quad (4)$$

در این پژوهش زبری بستر به صورت شبکه‌ای در کل منطقه متغیر، مدل آشفتگی در راستای افقی با رابطه اسماکورینسکی^۱ و در راستای عمودی با استفاده از قانون لگاریتمی و در مدل‌سازی ریاضی انتشار امواج جزر و مدی از معادلات دو بعدی افقی جریان آب کم‌عمق که در واقع معادلات جریان متوسط‌گیری شده در عمق هستند، استفاده می‌شود. این معادلات شامل یک معادله بقاء جرم و دو معادله بقاء اندازه حرکت (در دو بعد افقی) هستند و به کمک این دستگاه معادلات، سه مجهول عمق آب (h) و دو مؤلفه سرعت که در دستگاه مختصات کارتیزین (\bar{u}, \bar{v}) هستند



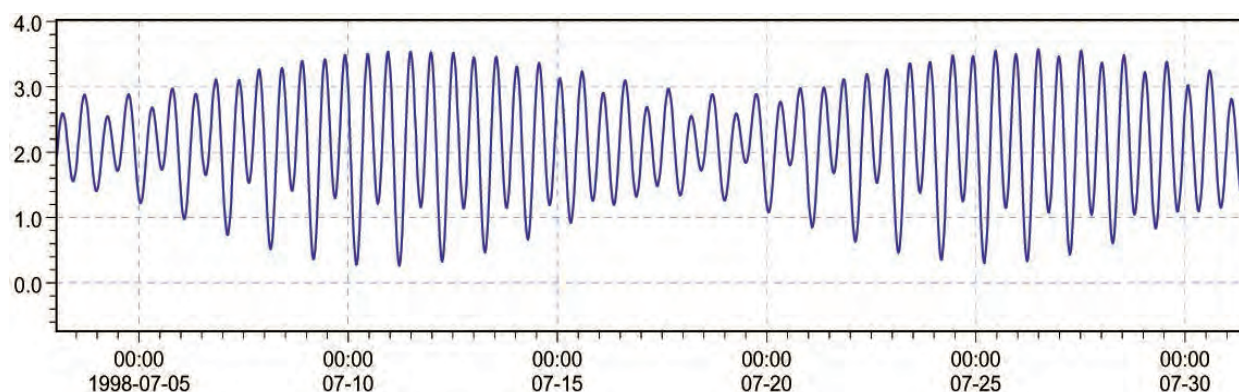
نگاره ۱: محدوده مورد استفاده در مدل‌سازی جریان‌ات جزر و مدی در خلیج فارس

نگاره ۲: شبکه‌بندی و عمق‌نگاری در مدل عددی کشند خلیج فارس

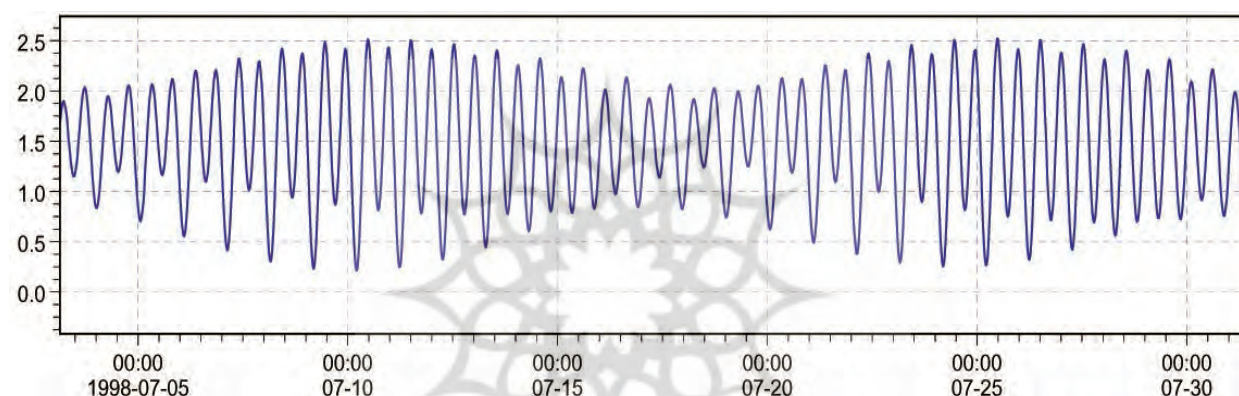


نیاز به اجرای یک مدل منطقه‌ای با شرایط مرزی ساده‌تر و در دسترس‌تر دارد. ترازهای کشندی حاصل از پیش‌بینی‌های انجام شده در جداول جزرومدی، داده‌های مناسبی برای این منظور هستند. در مدل منطقه‌ای خلیج فارس، تنها مرز باز که نیاز به معرفی اطلاعات به مدل دارد در محدوده تنگه هرمز واقع شده است. براین اساس اطلاعات ایستگاه جزیره هرمز در ناحیه شمالی تنگه هرمز و ایستگاه خورالقوی متعلق به کشور عمان در سواحل جنوبی تنگه استفاده قرار گرفت. به این ترتیب مدل با درون‌یابی خطی از داده‌های معرفی شده به آن در دو ایستگاه مذکور، نوسانات سطح آب را

بایستی اطلاعات هندسه و عمق به (Bathymetry) مدل داده شود. اطلاعات هندسه و عمق، در زمره اصلی‌ترین اطلاعات مورد استفاده در مدل‌سازی‌های مختلف از جمله مدل‌سازی جریان‌های کشندی است. (Lohrasebi, Alireza, et al, 2016) برای افزایش دقت نتایج مدل در محدوده مدل محلی، داده‌های هیدروگرافی با دقت بالاتری در اطراف سواحل به مدل معرفی شده است. نگاره ۲ شبکه‌بندی مورد استفاده در مدل را به همراه نقشه عمق‌نگاری حاصل از اطلاعات فوق‌الذکر، نشان می‌دهد. اخذ شرایط مرزی مناسب جهت اجرای مدل محلی،



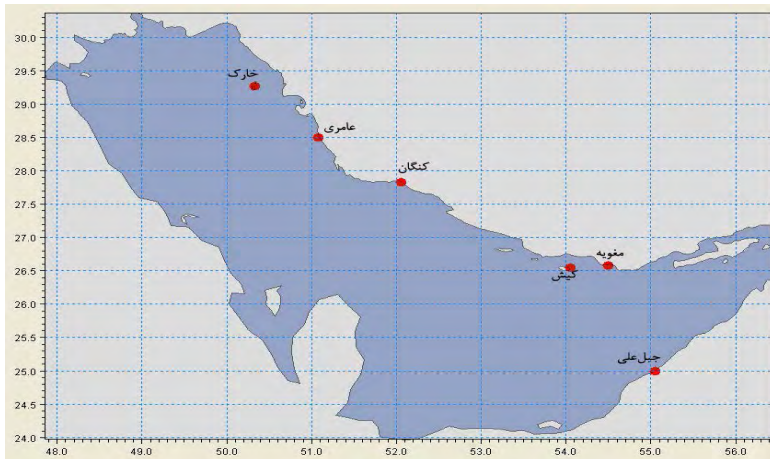
نگاره ۳: سری زمانی یک ماهه تراز جزر و مدی در ایستگاه جزیره هرمز، مورد استفاده به عنوان مرز شرقی مدل عددی



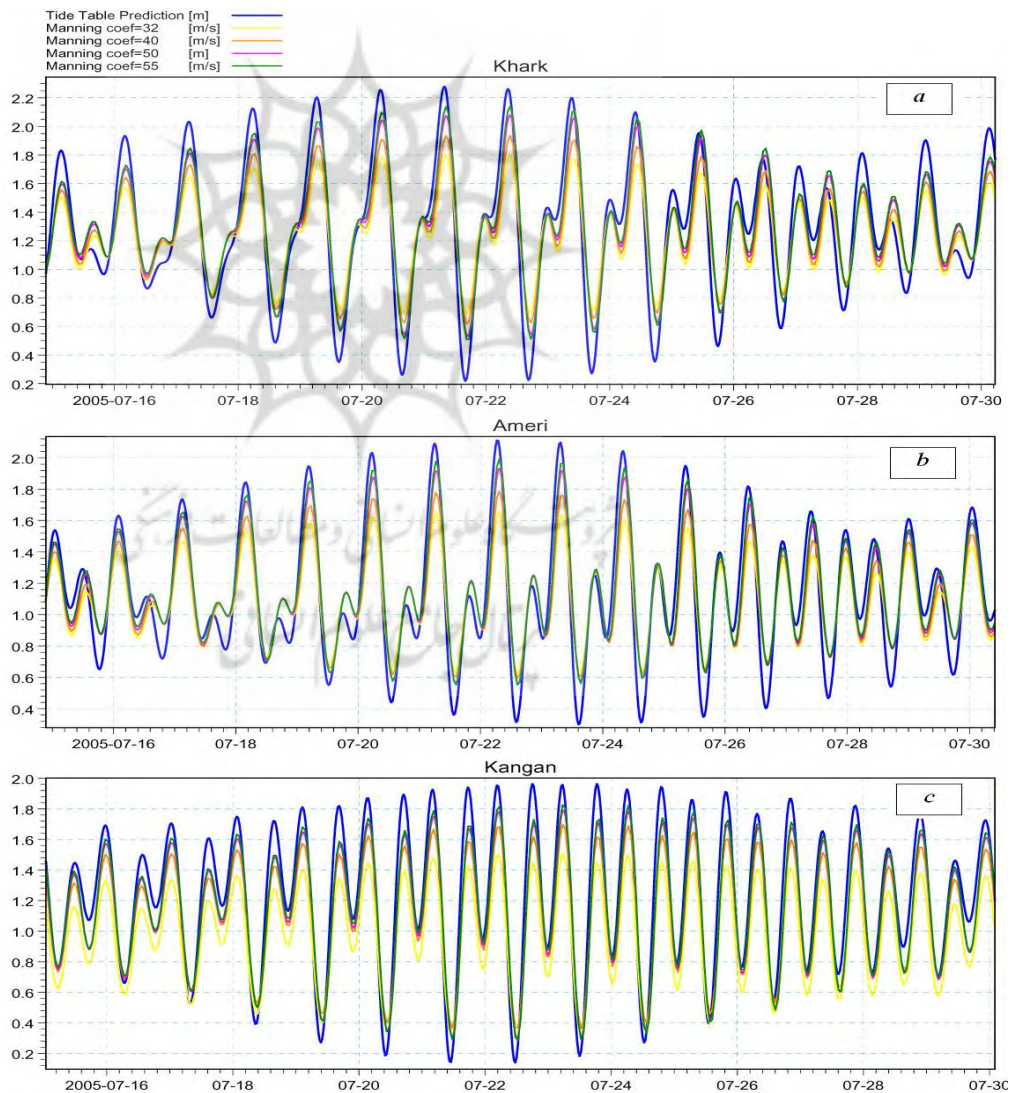
نگاره ۴: سری زمانی یک ماهه تراز جزر و مدی در ایستگاه خورالقوی، مورد استفاده به عنوان مرز شرقی مدل عددی

در مرز شرقی در هر لحظه از محدوده زمانی مدل‌سازی تعیین می‌کند. محدوده زمانی در این مدل‌سازی شامل کل سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ می‌باشد و فرض بر این است که الگوی نوسانات کشنندی در بقیه سال‌ها نیز شبیه دوره زمانی مذکور می‌باشد. نگاره‌های ۳ و ۴ سری زمانی یک‌ماهه تغییرات تراز جزرومدی حول CD محلی در موقعیت‌های جزیره هرمز و خورالقوی را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. از ایستگاه‌ها برای کشندسنجی خلیج فارس استفاده شد. جهت دستیابی به اطمینان کافی از نتایج مدل‌سازی‌های انجام شده، نتایج مدل‌ها باید با استفاده از اندازه‌گیری‌های مناسب از تراز آب و سرعت جریان، کنترل و در صورت نیاز، با تغییر پارامترهای مناسب، اختلاف موجود میان نتایج مدل و اندازه‌گیری به حداقل ممکن رسیده و به محدوده قابل قبول برسد.

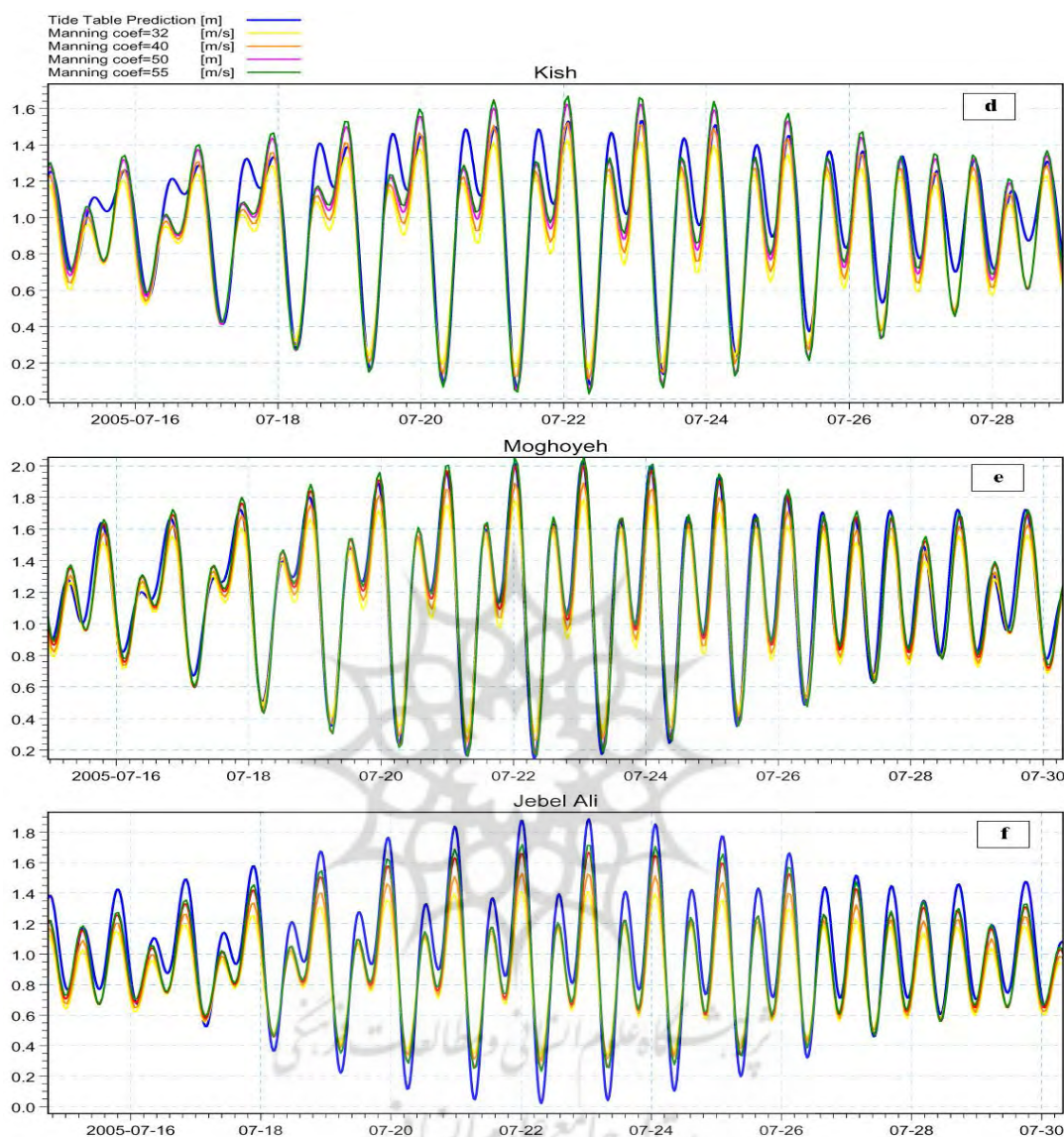
۳- نتایج عددی
واسنجی مدل با تغییر در ضرایب زبری (ضریب مانینگ) در محدوده ضرایب توصیه شده و اجرای مدل برای یک محدوده زمانی معین (ماه جولای سال ۲۰۰۵) و مقایسه نتایج مدل به ازای ضرایب زبری مختلف با نتایج پیش‌بینی تراز آب در ۶ ایستگاه (نگاره ۵) در همان بازه زمانی انجام شده است. ضرایب زبری مورد استفاده جهت کنترل نتایج مدل با اندازه‌گیری در محدوده ۳۲ تا ۵۵ قرار دارند. نتایج مدل با ضرایب زبری ۳۲، ۴۰، ۵۰ و ۵۵ با نتایج پیش‌بینی تراز برای نقاط مختلف ارائه شده است. با توجه به مجموعه نمودارهای ارائه شده مقدار ۵۰ برای ضریب مانینگ انتخاب و مدل محلی با این مقدار برای ضریب مانینگ اجرا شد. جهت کنترل یا واسنجی نتایج مدل جزرومد، از



نگاره ۵: نقاط مورد استفاده از مدل منطقه‌ای برای واسنجی



نگاره ۶: مقایسه تراز آب حاصل از مدل‌سازی با ضرایب زیری مختلف با تراز آب ایستگاه‌های کشندسنجی a خارک b عامری c گنگان

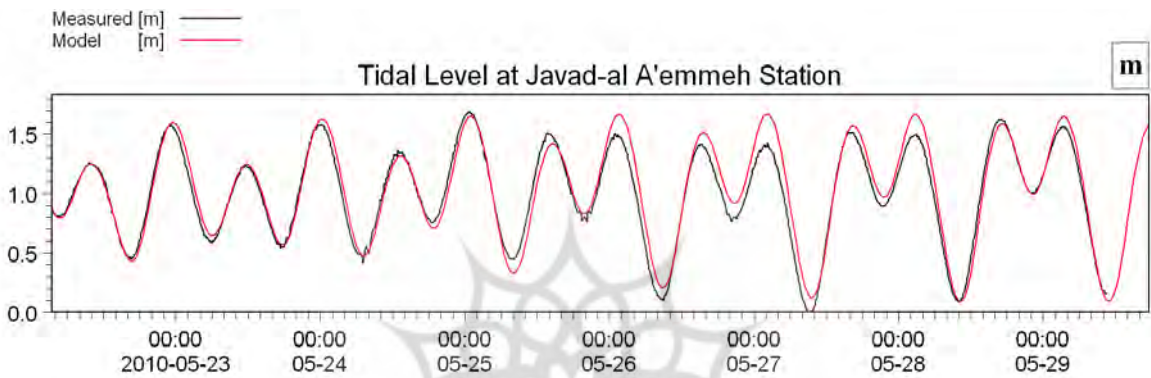
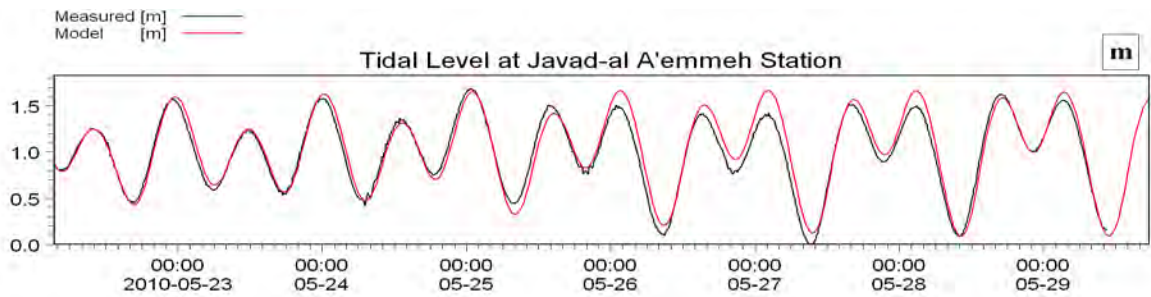


نگاره ۷: مقایسه تراز آب حاصل از مدل‌سازی (با اعمال ضرایب زبری مختلف) با مقادیر حاصل از جدول پیش‌بینی تراز سطح آب - ایستگاه کشندسنجی d - کیش - e - مغویه و f - جبل

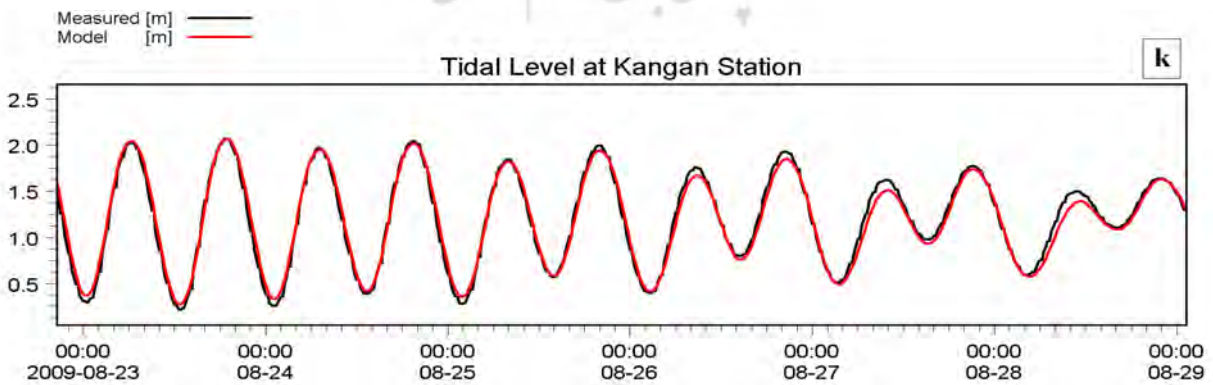
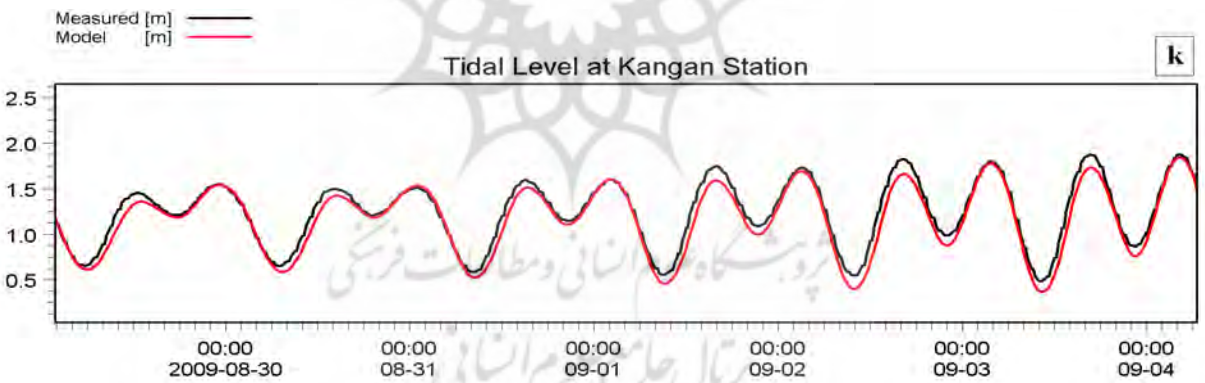
اندازه‌گیری‌های انجام شده مربوط به تراز آب و سرعت جریانات در محدوده خلیج فارس استفاده می‌شود. نگاره‌های ۶ و ۷ نوسانات تراز آب به دست آمده از مدل با نتایج تراز آب ایستگاه‌های کیش، مغویه، جبل علی و ایستگاه‌های خارک، عامری و کنگان را نشان می‌دهد. مدل جهانی شبیه‌سازی کشنندی بدست آمده از مدل‌های عددی باید با استفاده از برداشت‌ها و اطلاعات میدانی

صحت سنجی و کالیبره شوند. در نگاره‌های (۸) و (۹) نتایج مدل‌سازی با داده‌های حاصل از کشندسنجی‌ها در ایستگاه‌های کشند سنجی با هم مقایسه شده است، نمودارهای (m) و (k) تطابق خوبی بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری جزرومدی و مدل سازی عددی را نشان می‌دهند. نگاره‌های (۱۰) و (۱۱) الگوی جریان در زمان وقوع کشند در محدوده مدل منطقه‌ای را نشان می‌دهد.

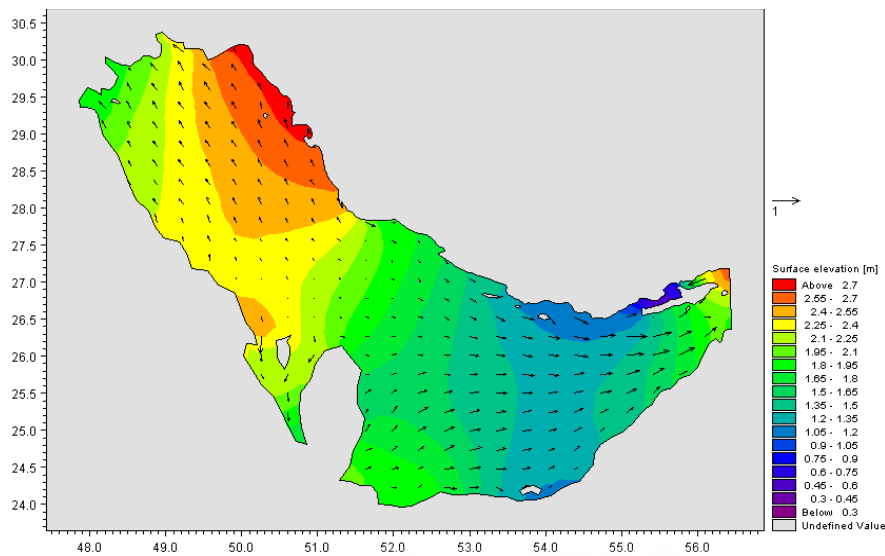
اندازه‌گیری‌های انجام شده مربوط به تراز آب و سرعت جریانات در محدوده خلیج فارس استفاده می‌شود. نگاره‌های ۶ و ۷ نوسانات تراز آب به دست آمده از مدل با نتایج تراز آب ایستگاه‌های کیش، مغویه، جبل علی و ایستگاه‌های خارک، عامری و کنگان را نشان می‌دهد. مدل جهانی شبیه‌سازی کشنندی بدست آمده از مدل‌های عددی باید با استفاده از برداشت‌ها و اطلاعات میدانی



نگاره ۸: نتایج مدل‌سازی جزرومدی و ترازهای اندازه گیری شده در ایستگاه جواد الائمه در خلیج فارس

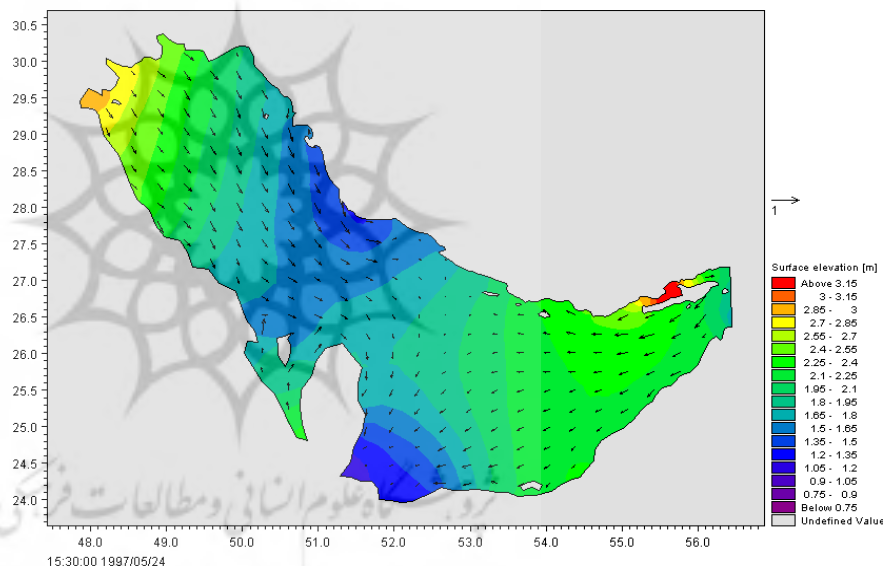


نگاره ۹: نتایج مدل‌سازی جزرومدی و ترازهای اندازه گیری شده در ایستگاه کنگان در خلیج فارس



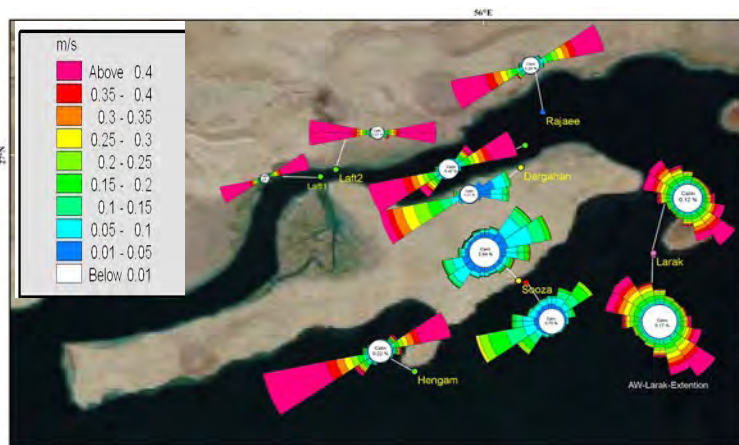
نگاره ۱۰: الگوی جریان در حین رخ دادن جزر در محدوده مدل منطقه‌ای

نگاره ۱۱: الگوی جریان در حین رخ دادن مد در محدوده مدل منطقه‌ای



از نرم افزار Matlab استفاده شده است. نتایج نهایی مؤلفه‌های جزرومدی که برای اصلاح و بهبود مدل FES پیشنهاد می‌گردد در جدول شماره ۱ ارائه شده است. هشت مؤلفه روزانه و نیم روزانه در ایستگاه‌های خلیج فارس حاصل از آنالیز جزرومد براساس نتایج ایستگاه‌های کشتندسنجی و مدل محلی برحسب متر مطابق جدول شماره ۲ ارائه شده است. جهت بررسی هر چه بهتر نتایج مدل FES، مؤلفه‌های جزرومدی حاصل از این مدل و اندازه گیری‌های میدانی در پنج ایستگاه جزرومدی بنادر جاسک، بندر شهید رجایی نخیلو و جزایر سیری و فارور با یکدیگر

گل جریان، تغییرات سرعت و جهت جریان را مشخص می‌نماید. نگاره ۱۲ (الف) و (ب) گل جریان‌های حاصل از نتایج شبیه سازی نقاط مختلف مدل منطقه‌ای در مناطق ساحلی خلیج فارس را نشان می‌دهند. مدلسازی یک‌ساله و نتایج آنالیز ایستگاه‌های ثابت جزرومدی که بسیار نزدیک به هم می‌باشند، دامنه محلی برای هشت مؤلفه روزانه و نیم روزانه Q_1 و P_1 ، O_1 ، K_1 ، K_2 ، N_2 ، S_2 ، M_2 در ایستگاه‌های مورد نظر بدست آمده و با مقادیر گزارش شده توسط مدل جهانی FES2012 مورد مقایسه قرار گرفتند. جهت استخراج دامنه‌ها در مدل جهانی FES2012 در خلیج فارس



نگاره ۱۲-الف: گل جریان حاصل از نتایج شبیه سازی مدل منطقه‌ای در محدوده تنگه هرمز



نگاره ۱۲-ب: گل جریان حاصل از نتایج شبیه سازی مدل در محدوده میانی خلیج فارس

دامنه جزر ومدی مشاهده شده مربوط به مؤلفه کشندی نیم روزانه M2 در بندر قشم (تنگه خوران) حدود ۱۱۵ سانتیمتر و کوچکترین دامنه کشندی نیم روزانه M2 مربوط به ایستگاه چپرویه در حدود ۳۲ سانتیمتر می باشد.

در منطقه بندر عسلویه که در میانه خلیج فارس قرار گرفته و نماینده‌ی مناسبی از کل محدوده می باشد، در هنگام مد، جریان‌های جزرومدی از شرق به غرب و در هنگام جزر از غرب به شرق حرکت می نماید. همچنین سرعت جریانات جزرومدی در این منطقه حدود ۳۵ تا ۵۰ سانتی متر بر ثانیه شبیه سازی شده است.

سرعت جریانات جزرومدی در نزدیکی جزایر تنب کوچک و تنب بزرگ (در بخش عمیق خلیج فارس قرار گرفته) تا حدود ۱ متر بر ثانیه افزایش می یابد. نتایج نشان می دهد که در ایستگاه‌های ساحلی همچون

مقایسه شدند. مطابق نمودارهای ارائه شده در نگاره ۱۳ و ۱۵ در ایستگاه‌ها، مؤلفه‌های جزرومدی مدل FES با اندازه گیری میدانی در نواحی ساحلی نتایج با دقت کمتری را ارائه می دهد. این در حالی است که این اختلاف مؤلفه‌ها در آب‌های عمیق کمتر است.

۴- بحث و نتیجه گیری

جریانات تغییرات سطوح جزرومدی شبیه سازی شده از مدل، همگرایی قابل قبولی با نتایج موجود از برداشت‌های میدانی دارند که این نکته نشان دهنده انتخاب مناسب مقدار عددی ۵۰ برای ضرایب زبری بستر در آب‌های کم عمق در این مدل می باشد.

در بررسی دامنه‌های کشندی حاصل از نتایج مدل سازی عددی و ایستگاه‌های کشندسنجی معلوم شد که بزرگترین

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

بررسی جریان‌های کشندی با استفاده از مدل MIKE21 ... / ۱۰۷

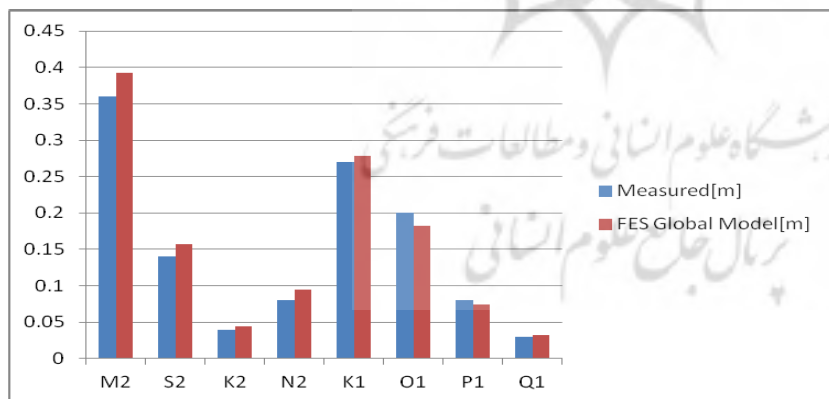
جدول ۱: هشت مؤلفه روزانه و نیم روزانه در ایستگاه‌های خلیج فارس حاصل از آنالیز جزرومد براساس نتایج مدل‌سازی و

مدل جهانی FES2012

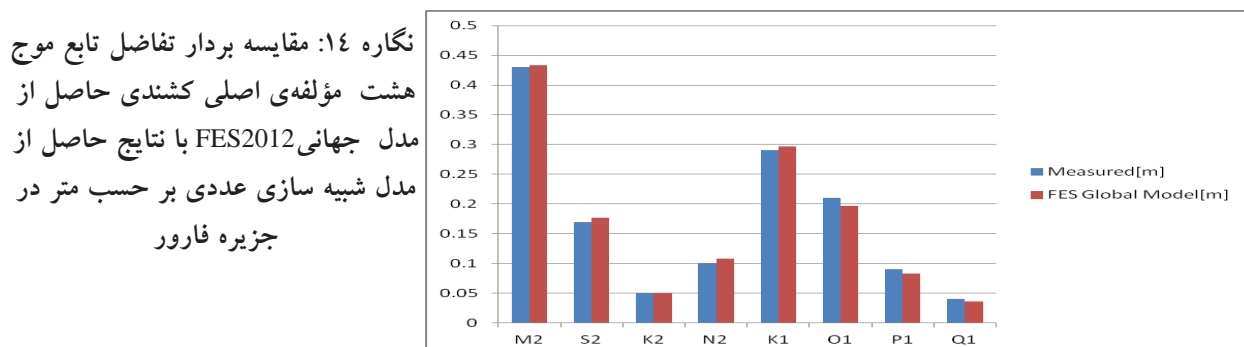
ضرایب هارمونیک									موقعیت ایستگاه (درجه)		نام ایستگاه	ردیف
Q1	P1	O1	K1	N2	K2	S2	M2	مدل‌ها	عرض N[°]	طول E[°]		
0.05	0.11	0.23	0.32	0.24	0.11	0.39	1.01	مدل محلی	27.1	56.45	جزیره هرمز	۱
0.0481	0.119	0.2372	0.357	0.2285	0.1019	0.3609	0.9274	FES مدل				
0.04	0.10	0.21	0.29	0.21	0.10	0.34	0.87	مدل محلی	26.89	56.39	جزیره لارک	۲
0.0461	0.111	0.2247	0.3281	0.2103	0.0936	0.332	0.8569	FES مدل				
0.05	0.11	0.22	0.31	0.23	0.10	0.36	0.95	مدل محلی	26.95	56.28	بهمن	۳
0.0468	0.1131	0.2295	0.3357	0.2156	0.096	0.3412	0.8756	FES مدل				
0.05	0.11	0.23	0.32	0.26	0.12	0.27	1.11	مدل محلی	27.08	56.1	بندر شهید رجایی	۴
0.0483	0.1194	0.2391	0.3578	0.2353	0.1058	0.2353	0.955	FES مدل				
0.05	0.10	0.23	0.32	0.26	0.12	0.42	1.12	مدل محلی	26.97	56.05	درگهان	۵
0.0478	0.1157	0.233	0.3482	0.234	0.1059	0.3797	0.9557	FES مدل				
0.04	0.09	0.22	0.27	0.19	0.08	0.30	0.79	مدل محلی	26.68	55.9	جزیره هنگام - ۲	۶
0.0437	0.0997	0.2197	0.3043	0.1848	0.0822	0.293	0.7446	FES مدل				
0.04	0.08	0.23	0.28	0.25	0.12	0.42	1.15	مدل محلی	26.75	55.62	تنگه خوران (قشم)	۷
0.0405	0.1065	0.1971	0.3266	0.1798	0.0853	0.3141	0.7794	FES مدل				
0.04	0.08	0.22	0.28	0.26	0.12	0.43	1.20	مدل محلی	26.94	55.6	خمیر	۸
0.041	0.1058	0.1898	0.315	0.1888	0.0889	0.3279	0.8074	FES مدل				
0.05	0.10	0.24	0.29	0.16	0.08	0.27	0.70	مدل محلی	26.53	55.3	دوست کوه (قشم)	۹
0.0419	0.0934	0.2167	0.3066	0.1644	0.0741	0.2652	0.6565	FES مدل				
0.04	0.08	0.21	0.24	0.13	0.06	0.21	0.55	مدل محلی	26.25	55.28	تنب بزرگ	۱۰
0.0373	0.0788	0.1921	0.264	0.1363	0.0618	0.2213	0.55	FES مدل				
0.04	0.10	0.23	0.30	0.18	0.09	0.31	0.81	مدل محلی	26.66	55.27	باسعیدو	۱۱
0.0427	0.0901	0.2097	0.2973	0.1862	0.0851	0.309	0.7871	FES مدل				
0.04	0.09	0.22	0.29	0.13	0.06	0.22	0.56	مدل محلی	26.5	54.91	لنگه	۱۲
0.0395	0.0881	0.211	0.3065	0.1395	0.0636	0.228	0.5648	FES مدل				
0.04	0.09	0.21	0.29	0.10	0.05	0.17	0.43	مدل محلی	26.3	54.54	فارور	۱۳
0.0363	0.0829	0.1962	0.2971	0.1082	0.0493	0.1764	0.4339	FES مدل				
0.03	0.08	0.20	0.27	0.08	0.04	0.14	0.36	مدل محلی	25.92	54.52	سبیری	۱۴
0.0327	0.0746	0.1822	0.2783	0.0947	0.044	0.1576	0.3927	FES مدل				
0.04	0.10	0.22	0.31	0.10	0.05	0.17	0.44	مدل محلی	26.58	54.5	مغویه	۱۵
0.0381	0.0888	0.2111	0.3235	0.1165	0.053	0.1891	0.4886	FES مدل				
0.04	0.10	0.22	0.31	0.09	0.04	0.15	0.40	مدل محلی	26.68	54.26	چارک	۱۶
0.0373	0.0904	0.2117	0.3331	0.1076	0.0484	0.1724	0.4442	FES مدل				
0.04	0.10	0.21	0.30	0.08	0.04	0.14	0.36	مدل محلی	26.52	54.05	کیش	۱۷
0.0352	0.0863	0.1996	0.3188	0.095	0.0426	0.1513	0.3826	FES مدل				
0.03	0.10	0.21	0.31	0.08	0.04	0.14	0.35	مدل محلی	26.71	53.9	گرزه	۱۸
0.0358	0.0886	0.2013	0.3254	0.096	0.0427	0.1514	0.38	FES مدل				
0.03	0.10	0.20	0.31	0.08	0.03	0.13	0.34	مدل محلی	26.71	53.73	چپرویه	۱۹
0.0349	0.0874	0.198	0.3231	0.0934	0.0408	0.1446	0.3757	FES مدل				
0.03	0.09	0.18	0.28	0.09	0.03	0.12	0.36	مدل محلی	26.91	53.46	نخیلو	۲۰
0.0328	0.0851	0.1893	0.3134	0.0982	0.0416	0.1473	0.4065	FES مدل				
0.03	0.08	0.17	0.27	0.09	0.04	0.13	0.39	مدل محلی	27.07	53.17	مغدان	۲۱
0.0301	0.0794	0.1701	0.2904	0.0974	0.0405	0.1432	0.4016	FES مدل				
0.03	0.08	0.16	0.26	0.09	0.03	0.12	0.36	مدل محلی	26.86	53.09	لاوان	۲۲
0.0281	0.0767	0.164	0.2814	0.0923	0.0387	0.134	0.381	FES مدل				

جدول ۲: هشت مؤلفه روزانه و نیم روزانه در ایستگاه‌های کشندسنجی خلیج فارس حاصل از آنالیز جزرومدی

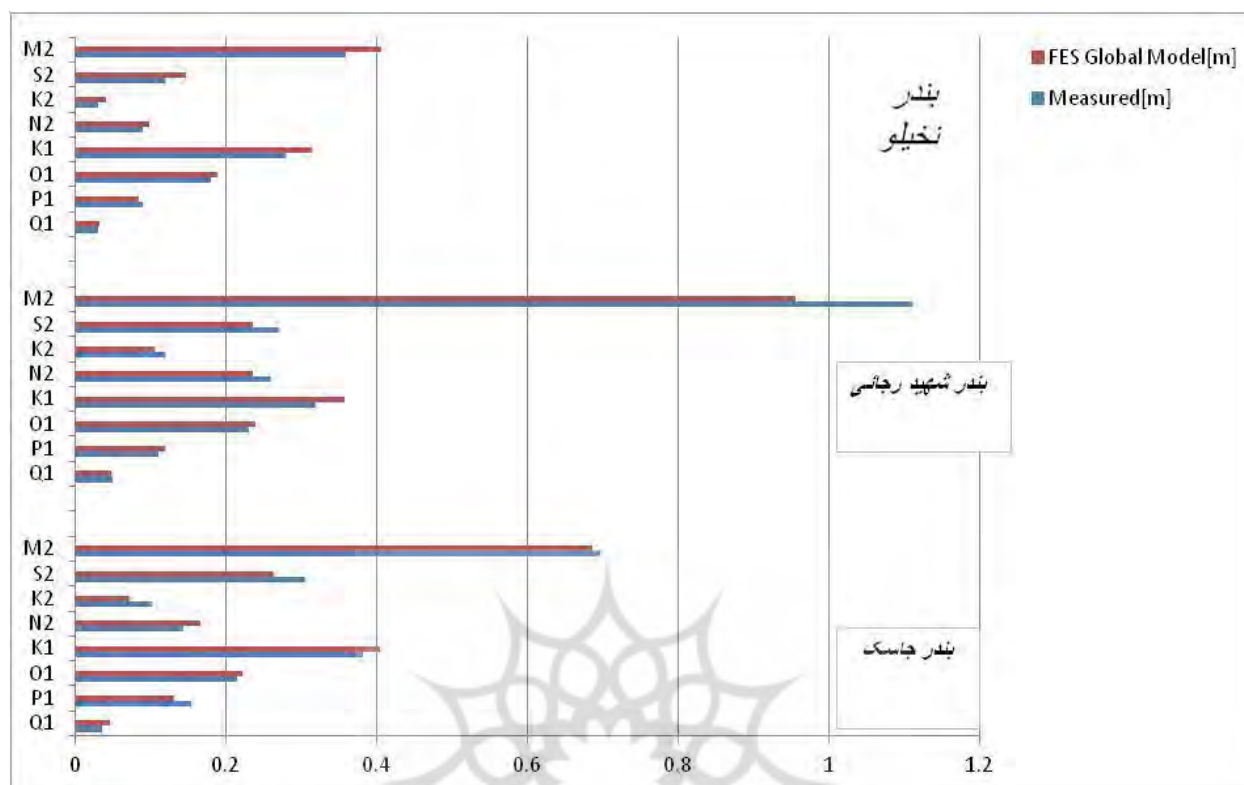
ردیف	نام ایستگاه	موقعیت ایستگاه (درجه)		مدول	ضرایب هارمونیک								
		عرض N[°]	طول E[°]		Q1	P1	O1	K1	N2	K2	S2	M2	
۱	جزیره هرمز	۲۷/۱	۵۶/۴۵	مدول محلی	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۲۳	۳۲/۰	۲۴/۰	۱۱/۰	۰/۳۹	۱/۰۱	
				اندازه گیری	۰/۰۴۸۱	۰/۱۱۹	۰/۲۰۵۰	۰/۲۹۸۴	۰/۲۲۸۵	۰/۱۰۹۹	۰/۴۱۶۰	۰/۹۵۷۱	
۲	جزیره لارک	۲۶/۸۹	۵۶/۳۹	مدول محلی	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۱۰	۰/۳۴	۰/۸۷	
				اندازه گیری	۰/۰۴۴۱	۰/۱۱۱	۰/۲۱۴۷	۰/۳۱۸۱	۰/۲۱۰۳	۰/۰۹۵۶	۰/۳۵۲	۰/۸۶۶۹	
۳	بهمن	۲۶/۹۵	۵۶/۲۸	مدول محلی	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۳۶	۰/۹۵	
				اندازه گیری	۰/۰۴۶۸	۰/۱۱۳۱	۰/۲۲۹۵	۰/۳۳۵۷	۰/۲۱۵۶	۰/۰۹۶	۰/۳۴۱۲	۰/۸۹۵۶	
۴	بندر شهید رجایی	۲۷/۰۸	۵۶/۱	مدول محلی	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۲۷	۱/۱۱	
				اندازه گیری	۰/۰۴۸۳	۰/۱۱۹۴	۰/۲۳۹۱	۰/۳۳۷۸	۰/۲۴۵۳	۰/۱۱۵۸	۰/۲۶۵۳	۱/۱۵۵	
۵	کیش	۲۶/۵۲	۵۴/۰۵	مدول محلی	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۳۶	
				اندازه گیری	۰/۰۷۷۸	۰/۱۱۵۲	۰/۱۸۸۷	۰/۳۱۱۶	۰/۰۹۴	۰/۰۳۵۹	۰/۱۴۵۲	۰/۳۷۰۹	
۶	نخیلو	۲۶/۹۱	۵۳/۴۶	مدول محلی	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۳۶	
				اندازه گیری	۰/۰۲۴۳	۰/۰۸۵۳	۰/۱۴۲۸	۰/۳۶۶۴	۰/۰۹۱۹	۰/۰۴۱۲	۰/۱۰۳۵	۰/۳۵۳۲	
۷	جزیره هنگام - ۲	۲۶/۶۸	۵۵/۹	مدول محلی	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۷۹	
				اندازه گیری	۰/۰۴۳۷	۰/۰۹۹۷	۰/۲۱۹۷	۰/۳۰۶۵	۰/۱۸۶۸	۰/۰۸۲۲	۰/۲۹۳	۰/۷۸۹۶	
۸	تنگه خوران (قشم)	۲۶/۷۵	۵۵/۶۲	مدول محلی	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۱۲	۰/۴۲	۱/۱۵	
				اندازه گیری	۰/۰۵۴۰	۰/۷۸۵	۰/۲۲۵۱	۰/۲۷۹۲	۰/۲۶۴۹	۰/۱۱۶۵	۰/۴۲۳۵	۱/۱۴۶۲	
۹	چیرویه	۲۶/۷۱	۵۳/۷۳	مدول محلی	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۳۴	
				اندازه گیری	۰/۰۲۹	۰/۰۹۸	۰/۱۵۷	۰/۳۱۲	۰/۰۸۳۴	۰/۰۳۰۸	۰/۱۳۴۶	۰/۳۳۵	
۱۰	باسعبدو	۲۶/۶۶	۵۵/۲۷	مدول محلی	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۳۱	۰/۸۱	
				اندازه گیری	۰/۰۴۹۲	۰/۰۹۸۱	۰/۲۷۰۶	۰/۴۰۹۲	۰/۱۷۲۳	۰/۰۸۴۹	۰/۲۶۲۴	۰/۸۰۴۶	



نگاره ۱۳: مقایسه بردار تفاضل تابع موج هشت مؤلفه‌ی اصلی کشندی حاصل از مدل جهانی FES2012 با نتایج حاصل از مدل شبیه سازی عددی بر حسب متر در جزیره سیری



نگاره ۱۴: مقایسه بردار تفاضل تابع موج هشت مؤلفه‌ی اصلی کشندی حاصل از مدل جهانی FES2012 با نتایج حاصل از مدل شبیه سازی عددی بر حسب متر در جزیره فارور



نگاره ۱۵: نمودارهای مقایسه هشت مؤلفه‌ی اصلی کشندی حاصل از مدل FES2012 با نتایج حاصل از آنالیز کشندسنج‌ها بر حسب متر در ایستگاه‌های کشندسنجی - بندر شهید رجایی، نخیلو و بندر جاسک سال ۲۰۰۹

منابع و مأخذ

۱- آزمون‌ها، شفیعی، کامیابی گل؛ سیدعلی، سیامک و رجبعلی (۱۳۸۷)، تغییرات ماهانه میانگین تراز سطح آب در خلیج فارس، دریای عمان و شمال دریای عرب، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۲، ۱۳۸۷، صفحه ۸۳-۹۶

۲- آقاجانلو، کامله، (۱۳۹۱)، شبیه‌سازی عددی اختلاط و انتشار لکه نفتی، کاربردی، دانشکده مهندسی عمران

۳- طوریان و آزموده اردلان؛ محمدجواد و علیرضا (۱۳۸۹)، مدل سازی جزرومد در دریای عمان و خلیج فارس با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره‌ای و تاییدگیج‌های ساحلی. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۶، شماره ۳، ۱۳۸۹، صفحه ۱۵-۲۵

بندر شهید رجایی اختلاف مؤلفه نیم روزانه کشندی M2 در مدل FES و مشاهدات جزرومدی در حدود ۱۵ سانتی‌متر و در مؤلفه روزانه کشندی K1 حدود ۴ سانتی‌متر می‌باشد. این درحالی است که در جزیره فارور (منطقه نسبتاً عمیق) مؤلفه‌های مشابه به ترتیب حدود ۴ میلی‌متر و ۷ میلی‌متر اختلاف را نشان می‌دهند.

می‌توان نتیجه گرفت که مدل FES برای نواحی ساحلی نتایج با دقت کمتری را ارائه می‌دهد و در آب‌های عمیق اختلاف مؤلفه‌های مدل جهانی FES با اندازه‌گیری‌های میدانی بسیار کمتر می‌باشد.

با توجه به تطابق خوبی که بین مدل MIKE و ایستگاه‌های کشندسنجی در خلیج فارس وجود داشت می‌توان نتیجه گرفت که مدل MIKE مدل مناسب و کاربردی در خلیج فارس می‌باشد.

Iran.

15. Swift, S. A., and Bower, A. S., (2003) Formation and circulation of dense Water in the Persian Gulf, *J. Geophys. Res.* 108:1-21. 3004, doi: 10.1029/2002JC001360.

16. Shahin, Z , Dolatshahi, P.M , and Esmaeily, A, Abadi, G, (2005), Predicting Wave run - Up using full ALE Finite element approach considering moving boundary, *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences* 7, no. 1, pp. 118-107.

Engineering and Technology vol. 58, pp.973-800.

5. Babu, M.T., Vethamony, P., Ehrlich, D., (2005). Modelling tide driven currents and residual eddies in the gulf of Kachchh and their seasonal variability A marine environmental planning perspective, *ecological Modeling* 184, 299-312.

6. Cuadrado, D.G, Gomez, E.A., Ginsberg, S.S., (2005), Tidal and Longshore Sediment Transport Associated to a Coastal Structure, *Estuarine, Coastal, and Shelf Science* 62, pp. 291-300.

7. Daoud, A.H. , Rakha, K.A. AND Abul-Azm, A.G. (2003), "Depth Integrated Modelling of Tide Induced Circulation in a Square Harbour", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 33, No.3, pp. 321-332.

8. Dolatshahi, P.M, Aghajanlou, K, and Montazeri Namin, M, (2013), Numerical Simulation of Oil Spill Behavior in the Persian Gulf., *International Journal of Environmental Research* 7, no. 1, pp. 96-81.

9. Ezam, M., Bidokhti, A.A. and Javad, A.H., (2010) Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea, *ocean science*, 6, 887-900, doi: 10.5194/os-6-887.

10. Falconer, R.A., (1980.), Numerical Modeling of Tidal Circulation in Harbors, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Division, ASCE*, Vol. 106, No. WW1.

11. Lohrasebi, A, Dolatshahi, P.M, and Lavaie, A, (2016), model of solitary wave over bed rising using Navier Stokes equations with mapping technique, 6th International Conference on the Application of Physical Modelling in Coastal and Port Engineering and Science.

12. Lyard, F, Lefevre, F, Letellier, T, Olivier, F, (2006), Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004, *Ocean Dynamics*, DOI 10.1007/s10236-006-0086-x, pp.394-415

13. Mike Software Produced by DHI, (2011), Mike 21 flow model, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation.

14. Soltanpour, A, Pirouznia, M, Aminjafari, S, Zareian, P, (2016), Persian Gulf and Oman Sea Tide modelling using satellite altimetry and Tide Gauge data (TM-IR01), *Geomatic Conference of National Cartography Center of*