

## ارزیابی عملکرد نسخه جدید مدل COHERENS(V2.11) در خلیج فارس

پوران خدري<sup>۱\*</sup>، مسعود صدری نسب<sup>۲</sup>، امیر اشتری لرکی<sup>۳</sup>

<sup>۱\*</sup> و <sup>۳</sup> - دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر خرمشهر، ایران

<sup>۲</sup> - دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران تهران، ایران

\* ایمیل نویسنده مسئول: Pooran.khedri@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۲

### چکیده

در این مطالعه مدل COHERENS V2.11 با به کارگیری اطلاعات دقیق عمق سنجی و نیرو با دقت بالای مکانی و زمانی در خلیج فارس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مدل تطابق بالایی با مطالعات پیشین و اندازه گیری های موجود داشت. براساس نتایج، گردش چرخندی پایداری در مرکز خلیج روند رو به رشد خود را در طی ماههای آوریل تا جولای در جهت شمال غربی ادامه می دهد. ماه آگوست بیشترین فعالیت پیچکی بر اثر ناپایداری باروکلینیکی را در طول جبهه شوری نشان می دهد. بقایای این پیچک های میان مقیاس تا ماه دسامبر ادامه داشته و با افزایش شدت باد، سرد شدن هوا و از بین رفتن لایه بندی ناپدید می شوند. نتایج شوری سطحی نشان می دهد که شوری خلیج فارس تحت تاثیر شارهای گرمایی گرادیان شدید مکانی و زمانی را در طی سال تجربه می کند. همچنین در فصل زمستان پلوم آب شیرینی از سمت اروندرود به سمت سواحل عربستان سعودی حرکت می کند و این پلوم در فصل تابستان به سمت سواحل ایرانی تغییر جهت می دهد. سبکترین توده آب در انتهای شمال غربی خلیج (ورودی اروندرود) و تنگه هرمز تشکیل شد و چگالتزین توده آب کم مناطق کم عمق خلیج یعنی سمت جنوب و جنوب غربی مشاهده شد که ناشی از شوری بالای آب های سطحی در این مناطق می باشد.

### واژگان کلیدی

خلیج فارس، مدل COHERENS V2.11، ناپایداری باروکلینیکی، پیچک

## Evaluating the new version of COHERENS (V2.11) numerical model implementation in the Persian Gulf

Pooran khedri<sup>1,\*</sup>, Masoud Sadri nasab<sup>2</sup>, Amir Ashtari Laraki<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>. Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

<sup>2</sup>. Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

\*Email Address: Pooran.khedri@gmail.com

### Abstract

In this study, the new version of COHERENS model is evaluated with Applying the most accurate bathymetry data and forces with high temporal resolution and spatial resolution in the Persian Gulf. The results correspond well to observations and previous modeling studies. According to the results obtained in this research, a cyclonic gyre forms in the central Gulf from April to July. During August, the baroclinic instability creates the most activity mesoscale eddies along the salinity front. The remnants of eddies are seen until September, after which they dissipate as wind intensifies and stratification decreases due to winter cooling. The surface salinity results show that a fresh plume heads from the Arvandrood towards the Saudi coast in winter and towards the Iranian coast in summer. Dense salty water is formed in the northwest part of the Gulf and in the southern banks, but the latter reaches the Strait of Hormuz from November to April only.

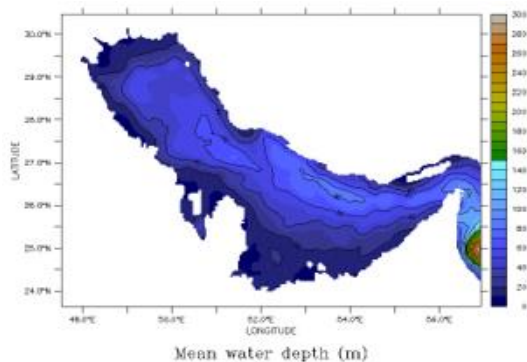
### Keywords

Persian Gulf, COHERENS V2.11 model, baroclinic instability, eddy

## ۱. مقدمه

مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود. Kampf and Sadrinasab (2006) با بکار گیری مدل COHERENS V1.0 گردش و مشخصه های توده آب خلیج فارس را پیش بینی کردند. آنان مدل خود را با دقت مکانی افقی ۷ کیلومتر و ۵ لایه عمودی سیگما اجرا نمودند. نتایج این مطالعه، که تطابق بسیار بالایی با مشاهدات داشتند، نشان می داد که یک چرخه فصلی مجزا در خلیج فارس وجود دارد که در آن گردش چرخندی در فصول بهار و تابستان ایجاد می شود و در فصول سرد سال با از بین رفتن لایه بندی این گردش ناپدید می شود. در مطالعه دیگری صدری نسب (۱۳۸۹) با استفاده از این مدل، بررسی نحوه گردش آب در تنگه هرمز در ۱۰ لایه از سطح تا بستر را مورد مطالعه قرار داد. مدل مذکور به صورت روزانه الگوی جریان از سطح تا بستر را براساس تغییرات چگالی و شوری و تبادل باروکلینیکی بین گرادیان فشار و گرادیان چگالی را محاسبه و شبیه سازی نموده است. عبدالخانیان و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از این مدل به بررسی پخش آلودگی در اروندرود در فصل های کم آبی و پرآبی پرداختند. نتایج حاصل از مدلسازی نشان داد که نحوه پخش آلودگی در اروند رود متناسب با مکان و زمان رهاسازی آلودگی است. حسینی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از نسخه اولیه مدل مدلسازی و بررسی آلودگی در خلیج بوشهر را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش پس از تنظیم مدل برای خلیج بوشهر نحوه پخش آلودگی پیش بینی و با مشاهدات میدانی مورد اعتبار سنجی قرار گرفت. نتایج مدل نشان می دهد که پخش آلودگی در خلیج بوشهر، تحت تاثیر جریان های اغلب کشندی این خلیج رخ می دهد و این نتایج همخوانی خیلی خوبی با مشاهدات میدانی دارند. استفاده گسترده و نتایج قابل قبول نسخه اولیه مدل در مطالعات پیشین از یک سو و افزوده شدن قابلیت های گسترده در نسخه جدید مدل از سوی دیگر، ضرورت برپایی و اجرای مجدد این مدل در آبهای کشور را نشان می دهد. Yao و همکاران (2008)، گردش آب و تغییر فصلی توده آب خلیج فارس و تبادل آب با اقیانوس هند را از طریق تنگه هرمز با استفاده از مدل HYCOM مورد مطالعه قرار دادند نتایج مدل در فصل تابستان یک چرخه کاملا رشد یافته در تابستان را نشان داد که طول این ادی حدود ۱۰۰ کیلومتر برآورد شد. هم چنین نتایج مدل نشان داد که در فصل تابستان آب های سطحی اقیانوس هند به درون خلیج در تابستان بیشتر از زمستان گسترش می یابد. Prasad و همکاران (2009)، با استفاده از مدل HYCOM گردش آب و ادی های میان مقیاس خلیج فارس را مورد بررسی قرار دارند. یافته های مدل، سه پیچک چرخندی در طول آگوست تا سپتامبر ۲۰۰۵ را نشان داد که به خوبی با تصاویر ماهواره ای MODIS دمای سطح آب و کلرو فیل منطبق بود. Pous و همکاران (2015)، گردش کلی در خلیج فارس و تنگه هرمز را با استفاده از یک مدل با دقت مکانی ۳ کیلومتر مدل سازی کردند. نتایج مطالعه آنان نشان می دهد یک

تحقیق و مطالعه در خصوص پدیده های هیدرودینامیکی حاکم بر خلیج فارس در دهه اخیر به دلیل اهمیت منطقه بویژه در کشورهای حاشیه رشد قابل توجهی داشته است. در حال حاضر استفاده از مدل های عددی در کنار اندازه گیری های میدانی یکی از متداولترین روش ها در پروژه های دریایی و پیش بینی پدیده های اقیانوسی است. ضرورت این امر با توجه به هزینه بر بودن اندازه گیری های میدانی و موانع منطقه ای و سیاسی روز به روز بیشتر احساس می شود و این امر منجر به توسعه مدل های عددی متعدد کد باز گردیده است. دسترسی رایگان و امکان تغییر کدها توسط کاربر از مهمترین مزایای این گونه مدل ها می باشد. نسخه اولیه مدل COHERENS یکی از انواع مدل های کد باز است که در مطالعات بسیاری در داخل و خارج از کشور مورد استفاده قرار گرفته است. نسخه اولیه مدل توسط یک گروه اروپایی به رهبری Luyten در سال 1999 منتشر شد. گسترش و بروز رسانی مدل در سال 2003 تحت پروژه های EU-FP5 و FP6 آغاز شد و این فرآیند در سالهای 2009-2006 توسط پروژه های ODON (2003-2005) و ECOOP (2006-2009) ادامه پیدا کرد و قابلیت های جدید بسیاری به مدل افزوده شد که از آن جمله می توان به بازنویسی کدها از زبان فرترن ۷۷ به فرترن ۹۰ نام برد که باعث می شود، فضای سه بعدی با استفاده از تکنیک های آرایه ای پردازش، و به صورت یک بردار واحد، برای اجرای سریع تر، طراحی شود. در نسخه پیشین مدل از طرح واره های صریح برای حل معادلات استفاده می شد. این طرح واره فقط به صورت مشروط پایدار است و انتخاب گام زمانی را محدود می کند. پایداری و همگرایی مدل به مشخصات پارامتری خاصی همچون گام زمانی و فاصله افقی بستگی دارد که این معیار با شرط CFL معرفی می شد. در مدلسازی مقیاس افقی با دقت بالا، با کوچک شدن گام زمانی این شرط می تواند بسیار محدود کننده باشد و موجب افزایش زمان محاسبات گردد. این مشکل با افزوده شدن طرحواره ضمنی در نسخه جدید مرتفع شد. طرح واره های ضمنی کاملاً پایدارند، اما لازم است در هر گام زمانی دستگاهی از معادلات همزمان حل شود. گام زمانی که در طرح واره ضمنی می توان انتخاب کرد بسیار بزرگتر از گام زمانی در طرح واره صریح است که این امر باعث کاهش زمان محاسبات به طور چشمگیری می شود. امکان تعریف شبکه های عمق سنجی تودرتو، قابلیت جفت شدگی با مدل های موج، توانایی خواندن فایل های ورودی در انواع مختلف فرمت های داده از دیگر قابلیت های نسخه جدید می باشد. نسخه جدید مدل برای شبیه سازی پدیده های اقیانوسی متفاوت در مناطق مختلف مانند دریای بالتیک (Tuomi et al., 2018)، دریای سرخ (Gharbi et al., 2018) بکار برده شده است و قابلیت آن در مدل سازی به اثبات رسیده است ولی تاکنون در مطالعات داخل کشور مورد استفاده قرار نگرفته است. نسخه پیشین در بسیاری از پژوهش های آبهای داخل کشور



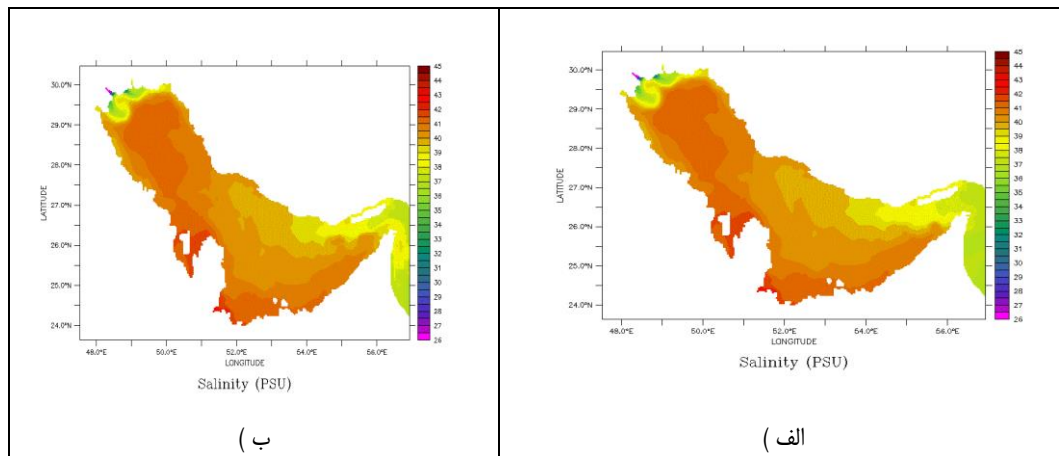
شکل ۱: عمق سنجی منطقه ی مورد مطالعه

انتخاب شرایط اولیه واقعی و مناسب موجب افزایش دقت نتایج مدل می گردد. در ساخت فایل شرایط اولیه مدل خروجی های دما و شوری Reanalysis مدل HYCOM در اول ژانویه مورد استفاده قرار گرفت. این داده ها دارای قدرت تفکیک پذیری ۰/۸ درجه بوده و در ۴۰ تراز در مختصات Z ارایه می شوند. این اطلاعات قبل از استفاده در مدل آماده سازی شد. آماده سازی شامل درون یابی افقی اطلاعات در محدوده ی شبکه ی عمق سنجی مدل، درون یابی عمودی داده ها از ۴۰ لایه به ۲۰ لایه بود شایان ذکر است با توجه به تفاوت مختصات عمودی دو مدل، تبدیل داده های مدل HYCOM از مختصات Z به سیگما با کد نویسی های گسترده در محیط فرترن انجام شد (شکل ۲ و شکل ۳). همچنین اطلاعات سری زمانی دما و شوری از پایگاه اطلاعاتی HYCOM به صورت روزانه در محل ۸۴ نقطه مرز باز شرقی و در ترازهای عمودی مدل که معادلات روی آن حل می شود، به مدل معرفی شده است. مرز رودخانه ای اروندرود در شمال غربی خلیج فارس، با دبی سالیانه  $\frac{m^3}{s} 1456$  (Pous et al., 2015) و شوری دهانه ۳۵ psu به صورت ثابت نسبت به مکان و زمان در نظر گرفته شد. به منظور اعمال نیروی واداشت سطحی، داده های فشار سطح آب، سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، نرخ بارش و پوشش ابر متغیر در مکان و زمان با دقت مکانی ۰/۳×۰/۳ درجه و دارای گام زمانی ۶ ساعته از پایگاه NCEP استخراج شد. داده های دامنه و فاز کشندی از پایگاه OSU با دقت  $\frac{1}{60}$  درجه دریافت شدند و با استفاده از نرم افزار OTPS دامنه و فاز هشت مولفه ی کشندی روزانه و نیم روزانه (K2, S2, M2, N2, K1, P1, O1, Q1) متغیر در مکان در سلول های مرز باز استخراج شدند و به مدل معرفی گردیدند (Egbert and Erofeeva, 2002). مدل برای چهار سال اجرا شد، ولی نتایج سال آخر بحث شده است.

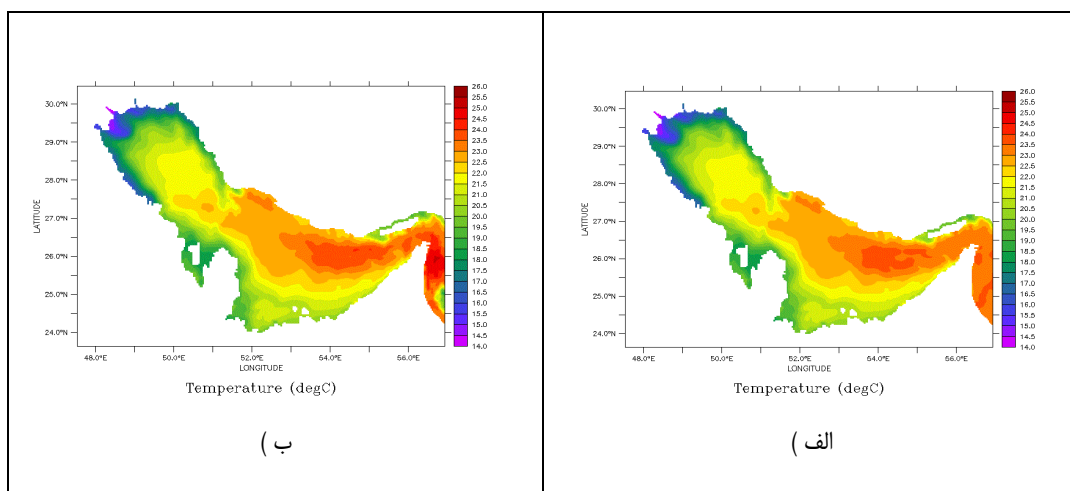
گردش چرخندی باروتروپیک از ماه آوریل تا جولای، بر گردش کلی خلیج فارس حاکم است. پس از آن این گردش چرخندی به دو چرخابه میان مقیاس شکسته می شود. همچنین نتایج آنان نشان می دهد آب شور و چگال شکل گرفته در سواحل جنوبی صرفا در ماههای نوامبر تا آوریل به تنگه هرمز می رسد. مطالعات پیشین ذکر شده در خلیج فارس گردش در مقیاس حوزه را بخوبی بررسی کرده اند. مهمترین اهمیت گردش، تبدیل آن به یک سری پیچکها می باشد که در اثر ناپایداری بوجود می آید. مشاهدات محدود فصلی موجود برای توصیف جزئیات ناپایداریها و پیچکها کافی نیستند و به مطالعه عددی با دقت بالا نیاز است. بنابراین هدف از این پژوهش، برپایی نسخه جدید مدل مذکور با دقت بالای اطلاعات عمق سنجی و نیرو می باشد. در این مطالعه سعی شده است علاوه بر مقایسه عملکرد مدل در گردش مقیاس حوزه و با مطالعات پیشین به بررسی مکانیزم ایجاد پیچکها و تغییرات فصلی آنها نیز پرداخته شود. هم چنین بررسی عملکرد مدل در توزیع الگوی دما و شوری از دیگر اهداف تحقیق می باشد.

## ۲. مواد و روش کار

این مطالعه با مدل سه بعدی هیدرودینامیکی COHERENS2.11 صورت گرفته، به طوری که در بخش هیدرودینامیکی مدل از معادله های تکانه (با تقریب بوسینیک)، دما و شوری با فرض تعادل هیدروستاتیکی و معادله ی پیوستگی استفاده شده است. معادلات اندازه حرکت و پیوستگی به طور عددی با استفاده از تکنیک مد تقسیمی حل می شوند. در این مدل، برای توپوگرافی بستر در راستای قائم از مختصات سیگما استفاده و گسسته سازی شده است. در این مطالعه از طرحواره ضمنی TVD برای حالت باروکلینیک و طرحواره مرتبه اول صریح اولبری برای حالت باروتروپیک استفاده شد (Luyten; 2013). معادله حالت طبق رابطه (McDougall et al. (2003)، تنش سطحی و شار گرمایی نیز طبق رابطه (Large and Pond (1981، 1982) محاسبه شدند و برای اختلاط عمودی طرحواره k-ε بکار برده شد. برای اجرای مدل در منطقه مورد نظر داده های عمق سنجی با دقت دو دقیقه از پایگاه اطلاعاتی ETOPO2 استخراج گردید (شکل ۱). با توجه به اینکه تغییر شکل شعاع راسی در منطقه در فصل تابستان ۵ کیلومتر و در فصل زمستان ۲۰ کیلومتر می باشد بنابراین شبکه بندی افقی با این ابعاد برای توصیف هیدرودینامیک منطقه و شبیه سازی پیچک ها و فرآیندهای غیر خطی در منطقه مدلسازی مناسب به نظر می رسد (Yao and Johns. 2010). ابعاد شبکه شامل ۲۸۳×۲۰۶ سلول می باشد به طوری که ابعاد تقریبی هر سلول ۳۶۰۰×۳۶۰۰ کیلومتر است. از طرفی در لایه قائم ۲۰ لایه سیگما با فاصله عمودی یکنواخت از سطح تا بستر در نظر گرفته شد.



شکل ۲: توزیع شوری اولیه بر روی الف) لایه سطحی ب) لایه بستر

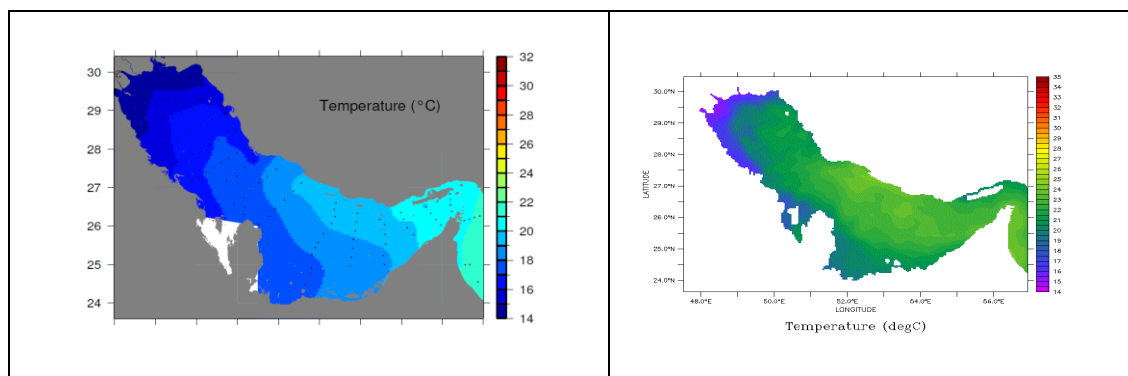


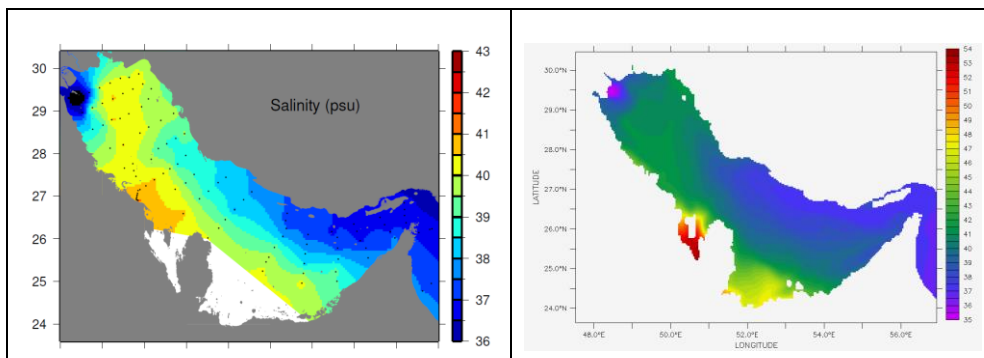
شکل ۳: توزیع دمای اولیه بر روی الف) لایه سطحی ب) لایه بستر

مشاهدات وجود دارد. سپس ویژگی های شناخته شده در خلیج فارس با نتایج سایر مطالعات مورد مقایسه قرار گرفت تا اطمینانی باشد بر صحت نتایج مدل در پیش بینی صحیح ساختارهای جریان خلیج فارس. در شکل های ۶ و ۷ میانگین فصلی جریان های سطحی و زیر سطحی بر روی چگالی نشان داده شده است.

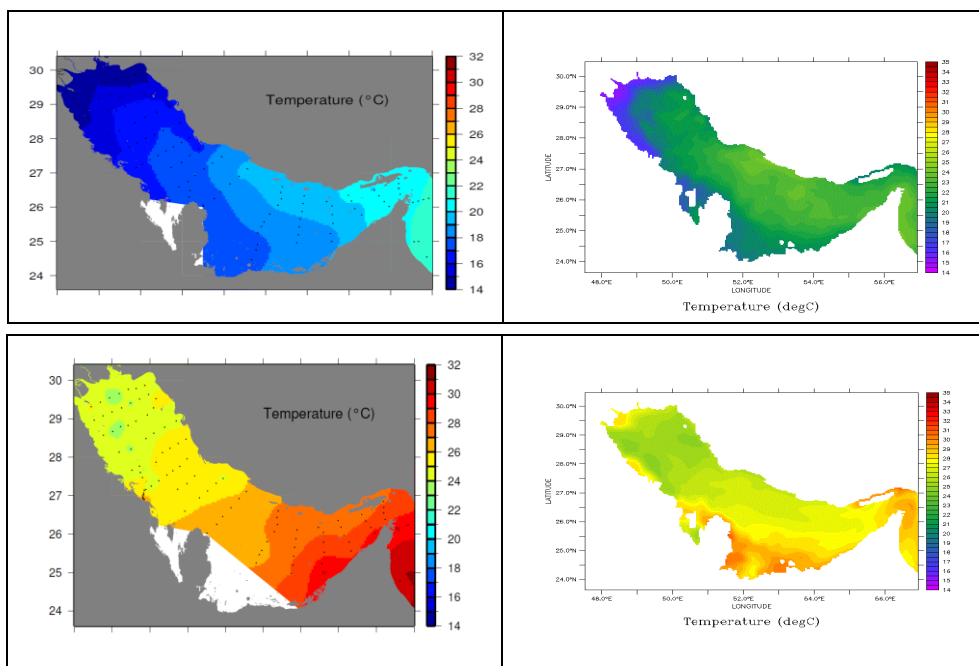
### ۳. نتایج

در این تحقیق به منظور ارزیابی صحت نتایج مدل، نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج (Reynolds, 1992) در اوایل فصل زمستان و تابستان مقایسه شده است. همانطور که در شکل های ۴ تا ۵ دیده می شود تطابق بسیار خوبی بین نتایج مدل و این





شکل ۴: شوری لایه سطحی حاصل از نتایج (Reynolds, 1992) (شکل های چپ) و نتایج اجرای مدل (شکل های راست)، در اوایل زمستان (شکل های بالا) در اوایل تابستان (شکل های پایین)



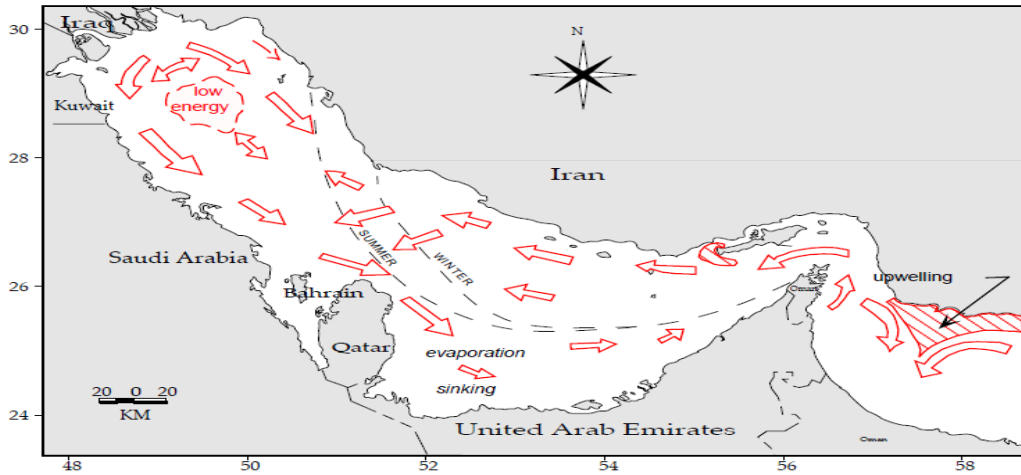
شکل ۵: دمای لایه سطحی حاصل از نتایج (Reynolds, 1992) (شکل های چپ) و نتایج اجرای مدل (شکل های راست)، در اوایل زمستان (شکل های بالا) در اوایل تابستان (شکل های پایین)

الگوی جریان در توافق با مشاهدات پیشین از جمله نتایج حاصل از مشاهدات اندازه گیری شده توسط (Reynolds, 1992) می باشد (شکل ۶). گردش چرخندی در طی ماههای آگوست و جولای (شکل ۸ و شکل ۹) دچار تغییرات عمده ای می شود که ناشی از تشکیل پیچکهای چرخندی و واچرخندی در ساختار جریان است. تشکیل این پیچکها در اثر ایجاد ناپایداری باروکلینیکی می باشد. این نوع ناپایداری به دلیل مختلفی همچون اختلاف چگالی در توده های آب و جریان های اصلی بزرگ مقیاس و تنش باد در سطح، موجب شیبدار شدن خطوط ایزوپیکنال و ایجاد ناپایداری باروکلینیکی در خلیج فارس شده است. با تشکیل ترموکلاین و ورود آب دریای عمان از طریق تنگه هرمز، شرایط لازم برای تشکیل پیچک های میان مقیاس در سواحل ایران ایجاد می شود (Prasad, et al., 2009).

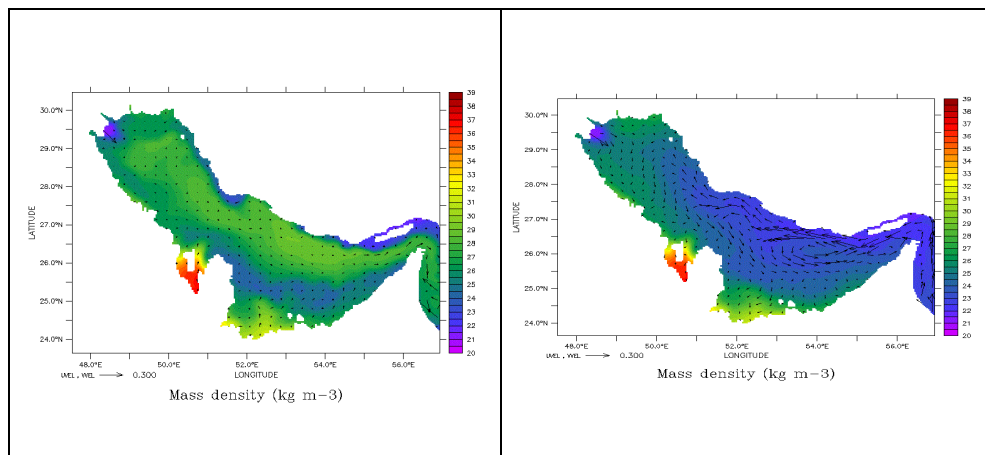
همچنین نتایج الگوهای ماهانه در شکل های ۸ تا ۱۰ قابل مشاهده است. گردش در خلیج فارس در دو مقیاس حوزه و میان مقیاس قابل بررسی است. طبق نتایج، یک گردش چرخندی پایدار ( $52^{\circ}$ - $55^{\circ}$ E) در مرکز خلیج با شروع ماه آوریل تشکیل شده و تا ماه جولای روند رشد خود را در جهت شمال غربی ادامه می دهد (شکل ۶). این گردش نتیجه تبادل آبی ناشی از چگالی در تنگه هرمز و لایه بندی قوی می باشد. این بخش از جریان قویترین جریان در خلیج فارس محسوب می شود بخشی از این جریان به انتهای شمال غربی خلیج فارس می رسد و پس از دور زدن خلیج فارس به پلوم ارونرد می پیوندد و در امتداد سواحل عربستان در جهت جنوب شرقی ادامه پیدا می کند. ضلع جنوبی گردش در مقیاس حوزه، جریان واقع در بخش سواحل کشورهای عربی می باشد که به طرف جنوب شرق در حرکت است. این

هوا، از شدت و تعداد پیچکها کاسته می شود به طوریکه بقایای این پیچکها تا ماه دسامبر (شکل ۱۰) ادامه داشته و با شروع فصل زمستان و از بین رفتن ترموکلاين این پیچکها کاملا ناپدید می شوند. نتایج در سالهای مختلف مدلسازی نشان داد که این پیچکها هر ساله در بازه زمانی اشاره شده ایجاد می شوند.

نتایج مدل نشان داد که پیدایش پیچکها در طول جبهه شوری است که نشان دهنده این مهم است که جبهه شوری محل ناپایداری باروکلینیکی می باشد. پیچک های میان مقیاس در ماه آگوست بیشترین فعالیت را دارند (شکل ۹) و بر گردش در ناحیه بزرگتری مسلط می باشند. و با شروع فصل پاییز و کاهش دمای



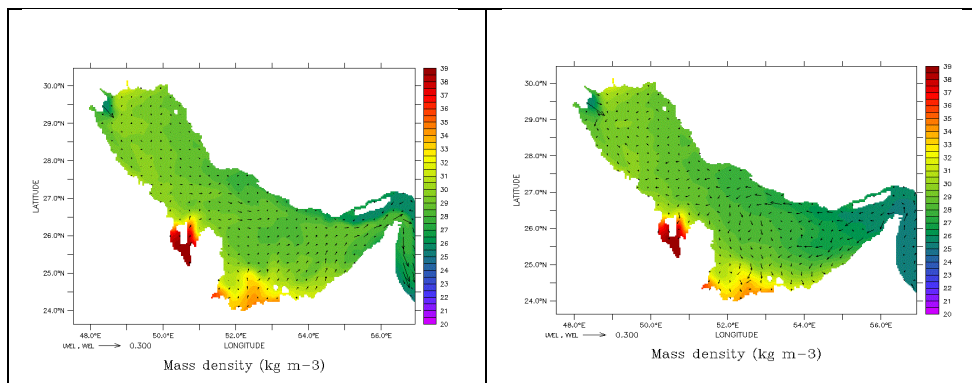
شکل ۶: الگوی کلی گردش آب در خلیج فارس (Reynolds, 1992)



(ب)

(الف)

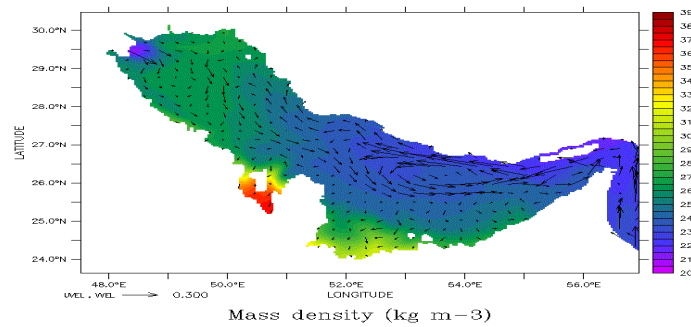
شکل ۷: میانگین بردار سرعت بر روی چگالی (الف) لایه سطحی (ب) لایه بستر در فصل تابستان



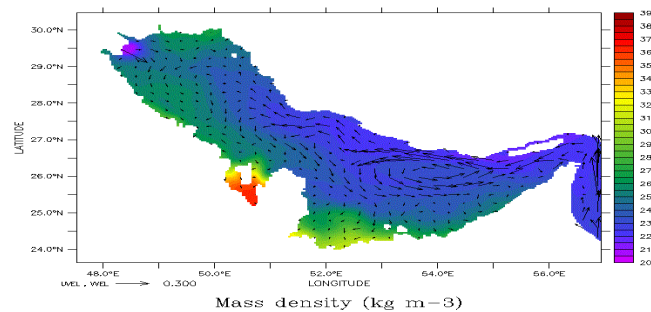
(ب)

(الف)

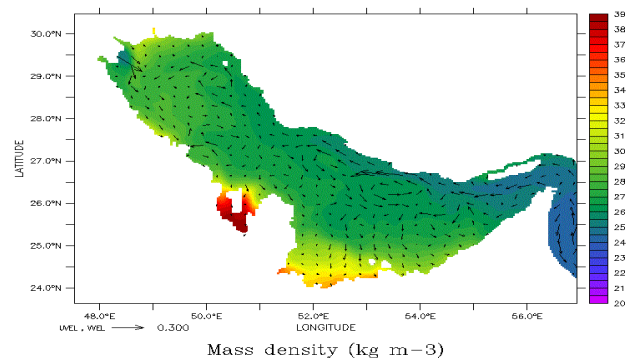
شکل ۸: میانگین بردار سرعت بر روی چگالی (الف) لایه سطحی (ب) لایه بستر در فصل زمستان



شکل ۹: میانگین ماهیانه بردار سرعت بر روی چگالی در لایه سطحی در ماه جولای



شکل ۱۰: میانگین ماهیانه بردار سرعت بر روی چگالی در لایه سطحی در ماه آگوست



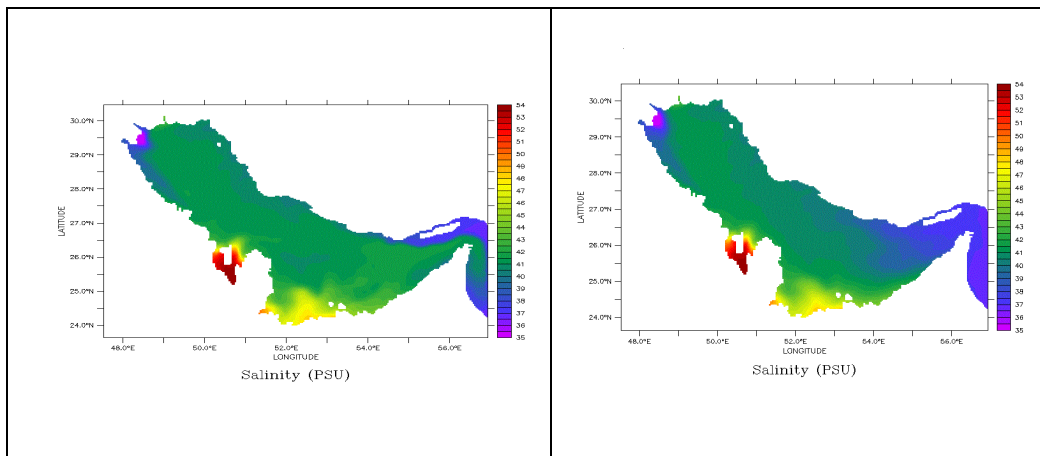
شکل ۱۱: میانگین ماهیانه بردار سرعت بر روی چگالی در لایه سطحی در ماه دسامبر

آب کم مناطق کم عمق خلیج یعنی سمت جنوب و جنوب غربی بیشتر می باشد که ناشی از شوری بالای آب های سطحی در این مناطق می باشد. کم عمقی و تبخیر تواما باعث افزایش چگالی در این مناطق می شود. نتایج نشان می دهد که شوری خلیج فارس تحت تاثیر شارهای گرمایی گرادیان شدید مکانی و زمانی را در طی سال تجربه می کند. گرادیان افقی دما در خلیج فارس از گرادیان افقی شوری آن ضعیف تر است. نتایج مدل مربوط به توزیع دمای سطحی گرادیان دمایی در جهت شمال غربی- جنوب شرقی را نشان می دهد به طوری که جنوب شرقی خلیج بسیار گرمتر از بخش شمال غربی می باشد. کمینه دما در نواحی مجاور اروند رود در ماه فوریه و بیشینه دما در ماههای آگوست و سپتامبر در امتداد سواحل امارات متحده عربی می باشد. بیشینه

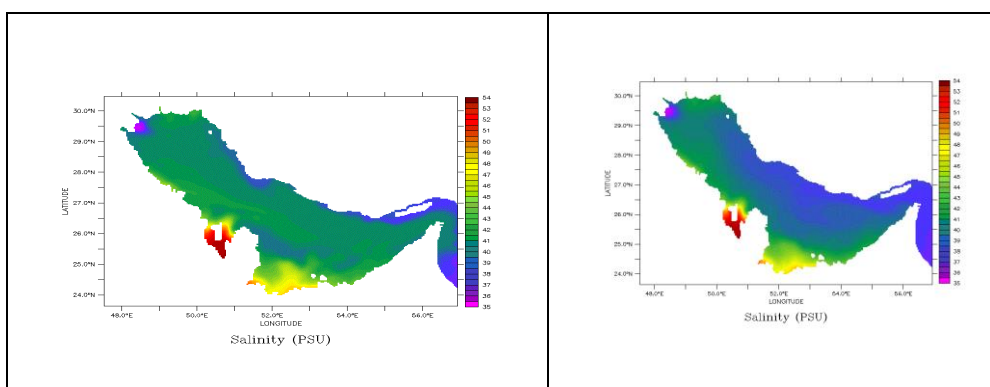
الگوهای میانگین فصلی گردش در لایه بستر نشان می دهد که در بستر خلیج فارس در طول سال آب چگال در نواحی کم عمق نزدیک بحرین، قطر و سواحل امارات در اثر نیروی شناوری به سمت تنگه هرمز رانده می شود. اصلی ترین عامل تشکیل الگوی جریان بستری را می توان ناشی از وجود چگالتین توده آب در نواحی کم عمق جنوبی دانست که موجب ازدیاد گرادیان فشار بین این نواحی و عمق مشابه آن در تنگه هرمز می شود. سرعت جریان بستری در قسمت جنوبی تنگه هرمز ۲۰-۱۰ cm/s و میانگین سرعت سالیانه جریان بستری ۱۹ cm/s بدست آمد. با توجه به نتایج پیشینه و کمینه چگالی به ترتیب در فصل زمستان و تابستان رخ می دهد. سبکترین توده آب در انتهای شمال غربی خلیج (ورودی اروند رود) و تنگه هرمز وجود دارد و چگالتین توده

به دلیل اختلاط قائم و جریان های تلاطمی ناشی از باد، آب شور لایه بستر خلیج فارس با آب های لایه سطحی مخلوط شده و ساختار عمودی یکنواختی در بیشتر نواحی خلیج فارس بوجود می آید.

شوری سطحی خلیج فارس در طی فصل زمستان (شکل ۱۱) رخ می دهد که علت آن افزایش آهنگ تبخیر سطحی در فصل زمستان می باشد. افزایش تبخیر سطحی خلیج فارس بدلیل افزایش تنش باد و به تبع آن کمتر بودن رطوبت نسبی روی سطح دریا در فصل زمستان می باشد. هم چنین در فصل زمستان



شکل ۱۲: میانگین فصلی شوری لایه الف) سطحی ب) بستر در فصل زمستان



شکل ۱۳: میانگین فصلی شوری لایه الف) سطحی ب) بستر در فصل تابستان

۳۵ psu بدست آمده است به طوری که شوری های بیشتر از ۵۰ psu در هر دو فصل زمستان و تابستان در مناطق کم عمق جنوبی تشکیل شده است. کمینه ی شوری در فصل تابستان و در ماه آگوست روی داده است که همزمان با ورود حداکثر آب های شیرین تر دریای عمان به خلیج فارس می باشد.

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از شبکه ی عمق سنجی و ورودی های با دقت بالای مکانی و زمانی به بررسی قابلیت و توانایی نسخه جدید مدل COHERENS در خلیج فارس پرداخته شد. بررسی نتایج مدل و تطابق آنها با مطالعات پیشین و اندازه گیری

نتایج شوری لایه سطحی نشان می دهد که در فصل زمستان پلوم آب شیرینی از سمت ارون درود به سمت سواحل عربستان سعودی حرکت می کند و این پلوم در فصل تابستان به سمت سواحل ایرانی تغییر جهت می دهد (شکل ۱۱ و شکل ۱۲) وجود این پلوم با نتایج Pous و همکاران (۲۰۱۵) در تطابق کامل است. هم چنین در فصل تابستان ورودی آب از تنگه هرمز بیشترین مقدار را دارد آب شیرین تر دریای عمان از تنگه هرمز تا عرض  $28^{\circ}N$  در امتداد سواحل ایران حرکت می کند ولی در فصل زمستان آب دریای عمان در مجاورت تنگه هرمز باقی می ماند. متوسط سالانه ی شوری سطحی در کل خلیج فارس  $37$ -



چرخندی دچار تغییرات مهمی می شود و بیشترین فعالیت پیچک های میان مقیاس در این ماه مشاهده می شود. نتایج نشان می دهد که شوری خلیج فارس تحت تاثیر شارهای گرمایی گرادیان شدید مکانی و زمانی را در طی سال تجربه می کند و نتایج شوری لایه سطحی نشان می دهد که در فصل زمستان پلوم آب شیرینی از سمت اروندرود به سمت سواحل عربستان سعودی حرکت می کند و این پلوم در فصل تابستان به سمت سواحل ایرانی تغییر جهت می دهد.

های موجود نشان داد که مدل با دقت بسیار بالایی گردش آب و مشخصه های فیزیکی آب در خلیج فارس را شبیه سازی کرده است. براساس نتایج، گردش چرخندی پایداری در مرکز خلیج روند رو به رشد خود را در طی ماههای آوریل تا جولای در جهت شمال غربی ادامه می دهد. این حرکت که از تنگه هرمز تا شمال قطر امتداد دارد، ضلع شمالی گردش را تشکیل می دهد. ضلع جنوبی گردش در مقیاس حوزه، جریان واقع در بخش سواحل کشورهای عربی می باشد که به طرف جنوب شرق در حرکت است. با تشکیل ترموکلاین و ورود آب دریای عمان از طریق تنگه هرمز، شرایط لازم برای تشکیل پیچک های میان مقیاس در سواحل ایران ایجاد می شود. در طی ماه آگوست، گردش

### منابع

- حسینی، س. ط.، فرجامی، ح.، محمدی، س. س.، محمودی، م.، ۱۳۸۹. مدلسازی پخش آلودگی در خلیج بوشهر با مدل عددی کوهیرنس، در: (مجموعه مقالات) چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، ۲۳-۲۱ اردیبهشت ماه ۱۳۸۹، ص ۳۰-۲۷.
- صدری نسب، م.، ۱۳۸۹. مدلسازی عددی سه بعدی گردش آب در تنگه هرمز، نشریه اقیانوس شناسی، شماره ۱، ص ۱۹-۲۴.
- عبدالخانیان، م.، علمی زاده، ه.، داداللهی، س.، سواری، ا.، فیاض محمدی، م.، ۱۳۹۶. مدلسازی پخش آلودگی در اروندرود در فصل کم آبی و پربابی. مجله علوم و فنون دریایی، دوره ۱۶، شماره ۴، ص ۲۴-۱۳.
- Gharbi, S. H., et al. 2018. Simulation of tidal hydrodynamics in the Red Sea using COHERENS model. *Regional Studies in Marine Science*, 22, P. 49-60.
- Kampf, J., Sadrinasab, M., 2006. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Science*, 2, P. 27-41.
- Luyten, P., 2013. COHERENS – A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model for Regional and Shelf Seas: User Documentation. Version 2. 5. 1. RBINS-MUMM Report.
- Large, W.G., Pond, S., 1981. Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds. *Journal of physical oceanography*, 11, P. 324-336.
- Large, W. G., Pond, S., 1982. Sensible and latent heat flux measurements over the ocean. *Journal of physical oceanography*, 12, P. 464-482.
- McDougall, T., Jackett, D., Wright, D., Feistel, R., 2003. Accurate and computationally efficient algorithms for potential temperature and density of seawater. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 20, P. 730-741.
- Pous, S., et al. 2015. A model of the general circulation in the Persian Gulf and in the Strait of Hormuz: Intraseasonal to interannual variability. *Continental Shelf Research*. 15, P. 55-70.
- Prasad, G., et al. 2009. A Modeling Study of Circulation and Eddies in the Persian Gulf. *Journal of Physical Oceanography*, 40, P. 2122-2134.
- Reynolds, R., Michel, Report of Activites-leg VI, A/B of the Mitchel Expedition. National oceanic Atmospheric Administration, HMRAD,92-10, SeattleWA USA, 110PP,1992b.
- Yao, F., Johns, W. E., 2010. A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 2. Formation and export of Persian Gulf water. *Journal of geophysical research*, 115, P. 1-23.
- Tuomi, F., et al. 2018. Evaluating hydrography, circulation and transport in a coastal archipelago using a high-resolution 3D hydrodynamic model. *Journal of Marine Systems* 180, P. 24-36
- Egbert, G. D., S. Y. Erofeeva. 2002. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides *Journal of atmospheric and oceanic technology*, 19(2), P. 183-204