مقایسه شوری سطحی آب خلیج‌فارس با استفاده از داده‌های میدانی و مدل عددی FVCOM

مریم دبستانی[۱]، مهدی محمد مهدیزاده[۲*]، جعفر عزیزپور[۳]

۱- دکترا دانشکدهٔ علوم فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، پست الکترونیکی: dabestani.au@gmail.com
۲- استادیار دانشکدهٔ علوم فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، پست الکترونیکی: mehdizadeh@hormozgan.ac.ir
۳- پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، پست الکترونیکی: azizpour@inio.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۳۰ * نویسنده مسوول تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۱۵

چکیده

این مقاله به بررسی و برآورد تغییرات شوری سطحی آب خلیج‌فارس با استفاده از مدل عددی FVCOM می‌پردازد. شوری سطح دریا (SSS) یکی از پارامترهای مهم در مطالعات اقیانوس شناسی است. خلیج فارس دریای نیمه بسته و کم عمق است که به دلیل قرار گرفتن در محدوده‌ی کم بارش، شوری و چگالی آب خلیج فارس زیاد است. یکی از محدودیت های این منطقه کمبود داده های میدانی در ارتباط با شوری سطحی آب دریا است. هدف اصلی این تحقیق بررسی شوری سطحی آب با استفاده از مدل عددی FVCOM است که در عمق ۱ متری از سطح مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. در این مدل، از داده های باد ، جزرومد، شار گرمایی، دما و شوری استفاده می گردد. ابتدا برای ۵ سال (۲۰۰۵-۲۰۰۹) ، مدل اجرا شد و نتایج بدست آمده شوری سطحی توسط مدل تقریبا ۴۰ psu می‌باشد که با داده های میدانی در خلیج فارس مقایسه شده که دارای تطابق بسیار خوبی است.

کلمات کلیدی: *شوری سطحی آب، مدل عددی FVCOM، خلیج‌فارس.*

۱. مقدمه

شوری آب یک ویژگی اساسی در بررسی فرایندهای زیستی و فیزیکی مانند بیلان آب، فرایند تبخیر و جریانات دریایی و اقیانوسی است . درواقع شوری شاخصی اساسی برای چگالی آب محسوب می‌شود و تأثیر مستقیمی بر فرایندهای فیزیکی و بیوشیمیایی آب داشته و توزیع و تغییرات آن می‌تواند بر برخی از پدیده‌ها و فرایندهای اقیانوسی مؤثر باشد. درحال‌حاضر مطالعات شوری آب دریاها بسیار پراکنده و کم است به‌صورتی‌که نمی‌توان نمای مناسبی از تغییرات زمانی و مکانی شوری آب را به‌صورت جهانی ارائه داد (Ahn YH, Shanmugam P,2008). از این رو پژوهشگران این حوزه، برای برآورد شوری سطحی دریا از مدل های عددی استفاده کردند. مدل های عددی ابزاری بسیار مفید برای درک، پیش بینی و کنترل پدیده های طبیعی هستند. مدل‌های عددی بعلت محدودیت در مشاهدات و محدودیت در تفکیک و حل معادلات پیچیده ریاضی دارای دامنه کاربرد معین تعریف شده هستند (Haron, N.F,2016). در استفاده از مدل های عددی نیز، به‌دلیل تقریب‌های استفاده شده در ارائه مدل، محدودیت در تفکیک مکان- زمان و بحث پایداری مدل ها با خطا و محدودیت روبرو هستیم. تغییرات خطوط ساحلی و توپوگرافی پیچیده بستر از مشکل ترین موارد برای ارائه یک مدل عددی با دقت بالا است. استفاده از مختصات سیگما و شبکه مثلثی نامنظم این مشکلات را کاهش داده و مدل سازی مناطق کم عمق ساحلی را دقیق تر می‌نماید.(زمانی،۱۳۹۲) مدلی که در این پژوهش مورد

استفاده قرار گرفته است، مدل عددی FVCOM است، که برای مطالعه اهدافی چند منظوره نظیر: اثرات فیزیکی، بیولوژیکی وآلودگی مناطق ساحلی به روش عددی این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. خلیج‌فارس دریای نیمه بسته با میانگین عمق ۳۷ متر است که از طریق تنگهٔ هرمز به دریای عمان متصل شده است. به دلیل قرار گرفتن در محدودهٔ کم‌بارش، شوری و چگالی آب خلیج‌فارس بالاست. تنگهٔ‌هرمز محل تبادل آب چگال خلیج‌فارس و آب کم‌چگال اقیانوس هند است که باعث گردش آب در خلیج‌فارس می‌شود. مطالعات متعددی برای استخراج شوری سطحی دریا (SSS[1]) از مدل عددی انجام شده است. چندین پژوهش که از مدل عددی FVCOM[2] برای بررسی شوری و سایر پارامترهای اقیانوسی استفاده شده است در زیر آورده شده است.

اکبری و همکارانش (۱۳۹٤) به بررسی توزیع دامنه‌ی مؤلفه‌های جزرومدی در خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب با استفاده از مدل اقیانوسی سه بعدی FVCOM با مد باروتروپیک استفاده کردند و طبق نتایج به دست آمده از این پژوهش در خلیج فارس چهار نوع جزر و مد روزانه، ومختلط نیمروزانه مشاهده می شود. درسایرمناطق جزرومد ازنوع مختلط نیمروزانه خواهد بود. همچنین بررسی مقادیربیشینه ی سرعت جزر و مدی درمنطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهدکه مقدار این سرعت دردریای عمان ودریای عرب کمتراز ۰,۱ متر بر ثانیه است.

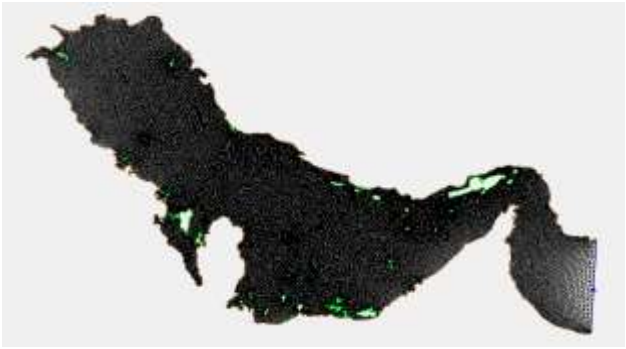
چن و همکارانش (۲۰۱٤) به بررسی توزیع فضایی شوری و دمای بدست آمده از مدل FVCOM در دریای سرخ برای یک دوره ۵۰ ساله و همچنین میانگین ماهانه آب و هوایی پرداخته است. نتایج بدست آمده تفاوت محسوسی را به خصوص در نواحی شرقی و غربی نشان می دهد. ژیگان لی و همکارانش (۲۰۱٦) با استفاده از مدل FVCOM و داده میدانی در دریای چین شمالی به بررسی میزان شوری سطحی با در نظر گرفتن داده باد پرداخته است نتایج حاصل از مدل با داده های مشاهده شده، هم در مقادیر شوری و هم در توزیع مکانی سازگاری کامل دارند. به طور خاص مشاهدات، یک الگوی واضح از کنتورهای شوری برای شوری های کمتر از ۲۰ در قسمت شمال غربی و شوری‌های بیشتر از ۳۲ در شمال شرقی را نشان می دهد.

[1] sea surface salinity
[2] Finite Volume Community Ocean Model

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

حوزه آبی مورد مطالعه منطقه خلیج فارس است که با توجه به روش حل عددی مورد استفاده در مدل FVCOM، از یک شبکه نامنظم متشکل از المان های مثلثی جهت معرفی هندسه و هیدروگرافی مدل استفاده شده است. بسته به دقت مورد نیاز و اهمیت پدیده‌های مختلف در بخش های مختلف مدل، شبکه بندی بی ساختار با گسسته سازی متغیر از حدود ۵ کیلومتر در نزدیکی سواحل تا ۲۵ کیلومتر در نواحی دور از ساحل و با تعداد سلول های و گره های به ترتیب ۳۰۵۵۲ و ۱۵۷۷۹ تعبیه گردید (شکل ۱). با توجه به ماهیت کم عمق بودن خلیج فارس از مختصات سیگما برای لایه بندی عمودی به تعداد ۱۳ لایه استفاده شد.



شکل ۱: حوضه مورد مطالعه

۲-۲ مدل FVCOM

مدل هیدرودینامیکی مورد استفاده در این پروژه مدل FVCOM است که در واقع یک مدل گردش عمومی آب با روش حجم محدود محسوب می‌شود. این مدل برای خورها، دریاهای کم عمق با توپوگرافی پیچیده و همچنین برای دریاهایی با جزایر و سواحل پیچیده، بسیار مناسب است. این مدل از شبکه انعطاف‌پذیر مثلثی که امکان تغییر فاصله‌ی بین گره‌ها وجود دارد، استفاده می‌کند. این مدل از روش سطح آزاد و معادلات مقدم برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند. بر خلاف مدل‌هایی که به روش تفاضل محدود و اجزای محدود گسسته‌سازی معادلات را انجام می‌دهند، این مدل با روش انتگرالی، معادلات را گسسته‌سازی و حل می‌کند. در این روش پایداری جرم تضمین شده است. از نظر

فنی این روش به لحاظ سادگی در کدنویسی شبیه به روش تفاضل محدود و به لحاظ انعطاف‌پذیری در شکل سواحل و ساختار زمین مشابه روش اجزای محدود است (Chen C.,2003) معادلات حاکم که توسط مدل به روش حجم محدود حل می‌شوند، شامل معادلات تکانه، پیوستگی، دما، شوری، چگالی و معادله‌ی حالت هستند. تهیه‌ی کدهای اصلی این مدل در یک مرکز تحقیقاتی-آزمایشگاهی مدل‌سازی دینامیکی دریایی توسط چن از دانشگاه ماساچوست- دارتموت و با همکاری بردسلی از مؤسسه‌ی اقیانوس شناسی Woods Hole رهبری و انجام شده است.

از دید تکنیکی و تخصصی FVCOM شامل بهترین خواص روش‌های تفاضل محدود (از نظر سادگی گسسته‌سازی کدها و مفید بودن محاسباتی) و المان محدود (مناسب بودن هندسه محیط) است. همانطور که پیشتر ذکر شد، مدل FVCOM از شبکه ی محاسباتی انعطاف پذیر برای شبیه سازی بهره می برد که این شبکه ضمن دارا بودن قابلیت انعطاف پذیری برای انطباق بر خط ساحلی، می‌تواند با تفکیک پذیری مکانی متغیر تعریف گردد. (Chen C., 2006) داده های ژرفاسنجی از داده های GEBCO08 با قدرت تفکیک ۳۰ثانیه (http://www.gebco.net) استفاده شده است. بیشینه و کمینه عمق استفاده شده در مدل به ترتیب۲۸۵۰ و ۰,۰۵ متر در نظر گرفته شده است. برای تولید شبکه‌ی محاسباتی از نرم افزار تخصصی SMS 10.0 (http://www.aquaveo.com) استفاده شد.

تعداد سلول‌های و گره های به ترتیب ۱۹۵۵۲ و ۱۰۲۴۵ تعبیه گردید. فاصله‌ی بین نقاط شبکه از کمینه‌ی حدود ۵ کیلومتر در داخل حوضه تا حدود ۳۵ کیلومتر در مرز باز (مرز باز در طول جغرافیایی ۵۸درجه شرقی) متغیر است. گام زمانی مد داخلی و مد خارجی به ترتیب عبارت اند از ۳۰ و ۳ ثانیه. گام زمانی مد خارجی از روش پایداری CFL به دست آمده است. با توجه با ماهیت کم عمق بودن خلیج فارس از مختصات سیگما برای لایه بندی عمودی به تعداد ۱۳ لایه استفاده شد. نوسانات سطح آب در گره های مرز باز، به صورت دامنه و فاز 8 مؤلفه ی جزر و مدی M2, S2, N2, K2, K1, P1, O1, Q1 اعمال شده است. این اطلاعات از مدلTMD (Padman and Erofeeva, 2005) استخراج شده است. میدان باد از سال 2005 تا 2009 به صورت Operational با بزرگنمایی ۰/۵ درجه از ECMWF تهیه و برای مدلسازی استفاده گردید. داده های شار حرارتی مدل، بارش و تبخیر با بزرگنمایی ۰/۵ درجه و گام زمانی 6 ساعته از ECMWF تهیه شد. داده‌های نیم رخ دما و شـــوری در مرز باز از خروجی مدل HYCOM و در عمق های اســـتاندارد (https://hycom.org) استفاده شده است. داده های نیم رخ دما و شوری در محل گره های مرز باز مدل و از ابتدای ســـال 2005 تا انتهای ســـال 2009 اســـتخراج و به عمق های اســـتانداراد مورد نیاز مدل درون یابی شدند. این داده ها به صورت داده های روزانه در سایت مدل HYCOM و رایگان قرار دارند. دادهای دبی رودخانه اروندرود از داده های ارایه شده در مقاله ی الحکیم و همکاران(2015) و به صـــورت متوســـط روزانه اســـتخراج و به مدل (از نزدیک ترین گره به مختصـــات جغرافیایی رودخانه) اعمال شده است (Saleh, 2010). در این مقاله فایل‌های ورودی مورد استفاده و فرمت آن‌ها به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱: ورودی مدل

ردیف	نام فایل	شرح محتوی	فرمت
۱	Musa_cor.dat	اطلاعات مربوط به محاسبه فراسنج کوری‌ولی‌س.	ASCII
۲	Musa_grd.dat	اطلاعات مربوط به شبکه محاسباتی افقی.	ASCII
۳	Musa_wnd.nc	سری زمانی اطلاعات باد.	NetCDF
۴	Musa_julian_obc.nc	اطلاعات مربوط به ارتفاع کشند در مرز باز	NetCDF
۵	Musa_tsobc.nc	اطلاعات مربوط به دما و شوری در مرز باز	NetCDF

۲-۳ داده میدانی

برای جمع‌آوری داده‌های واقعی مربوط به محدوده خلیج‌فارس از بویهٔ که در ایستگاه دریایی بوشهر مستقر بود استفاده شده است. این بویه در شکل۲نشان داده شده است که اغلب داده‌هایی به‌صورت پراکنده از آن جمع‌آوری می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۲ نمایش داده شده است در محدودهٔ جنوب غربی بوشهر با مختصات جغرافیایی 28° 55' N و 50° E 45' در خلیج‌فارس نصب و راه‌اندازی شده است. این بویه داده‌هایی مانند رطوبت هوا، فشار هوا، سرعت باد و ارتفاع موج و را با دقت مناسب در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهد. داده‌های شوری که در کار پژوهشی حاضر از اهمیت اصلی برخوردار هستند، نیز با دقت مناسبی در فاصله‌های زمانی هر یک ساعت به وقت گرینویچ از این بویه برداشت می‌شوند.

شکل ۲: تصویری از بویهٔ ایستگاه بوشهر

۴-۲ *مراحل اجرای مدل FVCOM*

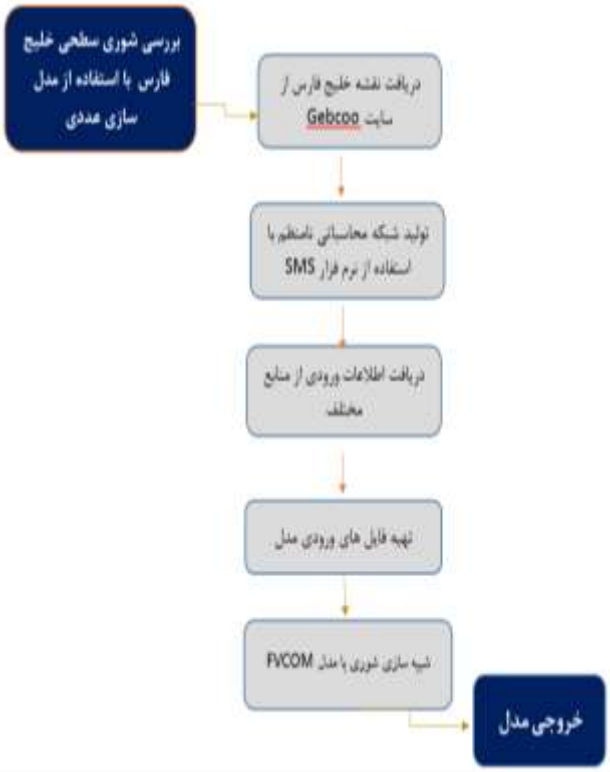
در این بخش ابتدا می‌بایست داده‌های مختلفی از منابع های متعددی جمع آوری گردد. این داده ها شامل داده های باد، جزرو مدی، دما و شوری می باشد این داده های متعدد به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه به کمک مدل عددی FVCOM شوری سطحی شبیه سازی می‌گردد و نهایتا خروجی مدل که همان شوری سطحی است بدست می آید. پس از انجام کار شوری سطحی بدست آمده از مدل‌سازی با داده‌های میدانی مقایسه می‌گیرند.

۳. نتایج

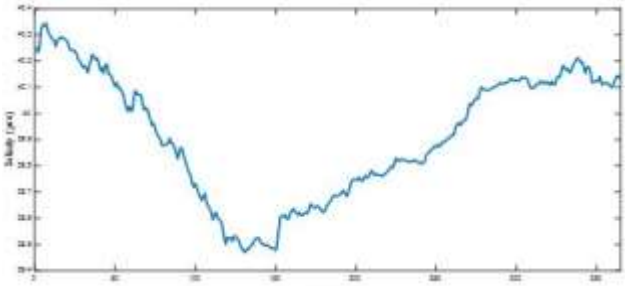
۳-۱ *پایداری مدل*

مدل به مدت ۵سال (از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹) اجرا شده تا طی آن خواص توده آب در خلیج فارس درمدت مورد نظر به یک چرخه پایدار برسند. نتایج براساس سال ۲۰۰۹ که داده های اندازه‌گیری موجود بود ارائه شده است. میانگین مکانی تغییرات زمانی شوری در شکل (٤) رسم شد.

(نمودار پایداری)، همان طور که قابل ملاحظه است یک شکل تکرارپذیر را خواهیم داشت که نشان دهنده رسیدن برنامه به حالت پایدار است.



شکل ۳: روند اجرایی محاسبه شوری سطحی بر مبنای مدل سازی عددی



شکل ٤: میانگین مکانی تغییرات زمانی شوری سطحی در خلیج فارس

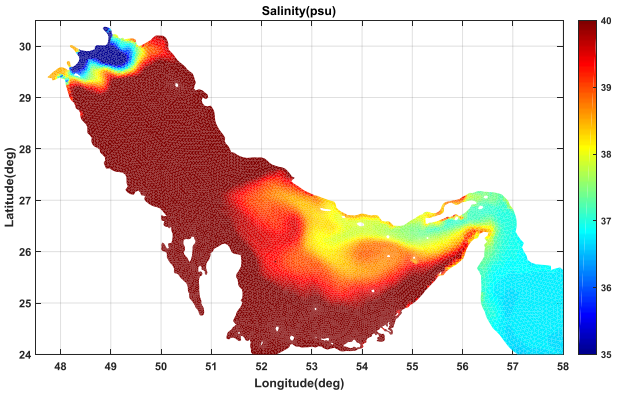
خروجی ارائه شده در مدل شامل فایل nc (netcdf) که شامل داده های جهت و سرعت جریان، دما و شوری آب است. با توجه به اینکه هدف این رساله شوری سطحی خلیج فارس با استفاده از مدلسازی عددی و مقایسه آن با اندازه گیری میدانی است لذا فقط داده های لایه سطحی مدلسازی عددی ارائه شده است. داده های لایه سطحی نیز به مانند لایه های مختلف دارای داده های سرعت و جهت جریان، دما و شوری است.

۳-۲ شکل های فصلی شوری سطحی در خلیج فارس

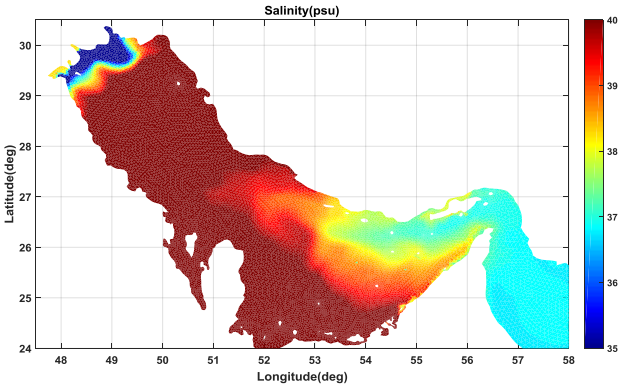
بررسی کلی شکل‌های (۵) (٦) (۷) (۸) توزیع شوری آب در فصل زمستان در مناطق جنوبی خلیج فارس نشان می دهد که دامنهٔ تغییرات شوری بین ۳۹psu تا ٤٠ psu است. هم در بررسی مقالات موجود و هم در این تحقیق مشخص شد که آب های همجوار با سواحل جنوبی و بخصوص آب های جنوب بحرین دارای بیشترین شوری در طول سال می باشند. همچنین کمترین شوری در آب های مجاور حوزه تنگه هرمز و در نواحی شمال غربی خلیج فارس (حوزه ورودی رودخانه اروند) مشاهده می-شود.

در نواحی اطراف تنگه هرمز، در واقع توده آب های ورودی از دریای عمان به خلیج فارس می باشند که دارای شوری کمتری نسبت به سایر نقاط مورد مطالعه هستند. با توجه به این مساله می توان گفت که شوری کمیت مناسبی برای بررسی میزان نفوذ آب دریای عمان به خلیج فارس در طول سال است.

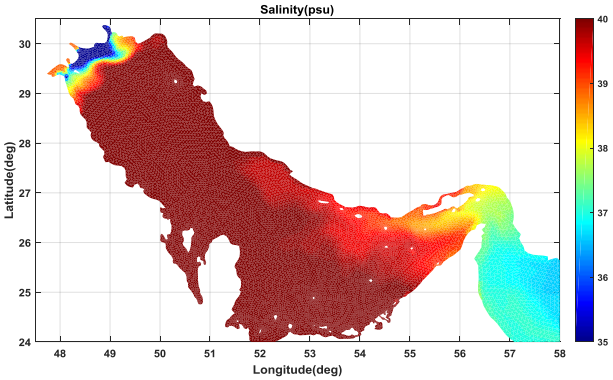
مطالعه نمودارهای شوری نشان می دهد که نفوذ آب دریای عمان به داخل خلیج فارس از اوایل بهار شروع شده و در اواخر بهار و اوایل تابستان به بیشترین مقدار خود می رسد و به همین دلیل است که شوری سطحی آب در تابستان کمتر از زمستان می باشد. در حوزه ورودی رودخانه اروند، نفوذ آب های شیرین تر به خلیج فارس دلیل اصلی شوری سطحی کمتر در این مناطق می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، به طوری کلی در مجموعه خلیج فارس در زمستان بدلیل تشدید وزش بادها نسبت به تابستان و همچنین به علت عمق کم مناطق خلیج فارس، سرعت تبخیر سطحی افزایش یافته و به طبع آن شوری آب های سطحی نیز زیادتر می‌شود.



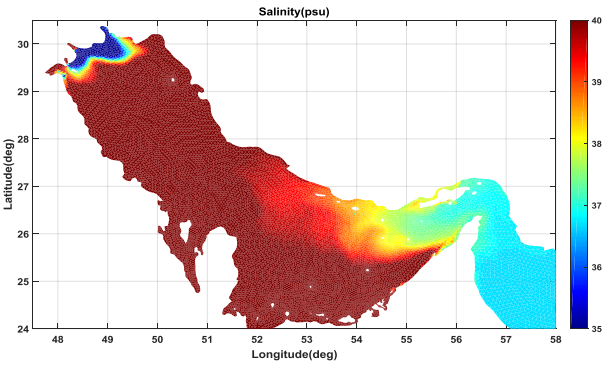
شکل ۵: تغییرات شوری سطحی خلیج فارس در فصل بهار



شکل ٦: تغییرات شوری سطحی خلیج فارس در فصل تابستان



شکل ۷: تغییرات شوری سطحی خلیج فارس در فصل پاییز

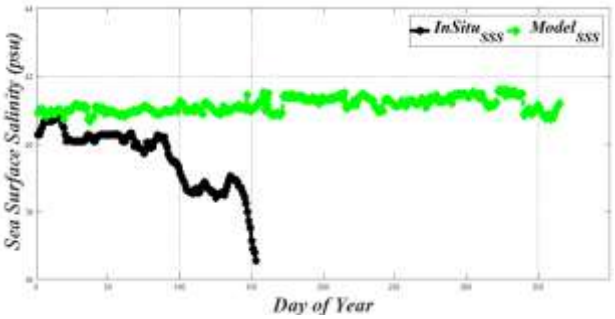


شکل ۸: تغییرات شوری سطحی خلیج فارس در فصل زمستان

۴. بحث و نتیجه‌گیری

آنالیز شوری سطحی مربوط به داده‌های واقعی بویه، نتایج حاصل از تحلیل به کمک مدل عددی برای سال ۲۰۰۹ در نمودار ۱ نشان داده شده اند. همانگونه که در این نمودار از داده های واقعی استنباط می‌گردد، شوری سطحی در ۱۰۰ روز اول سال که مربوط به فصول سرد می باشد در حدود ٤٠ تا ٤١ می باشد.

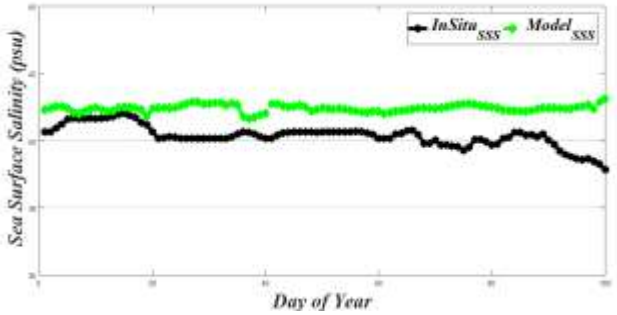
نگاه کلی به این داده های واقعی نشان می دهد که با نزدیک تر شدن به فصول گرم به تدریج از شوری سطحی کاسته می شود. نکته قابل ملاحظه دیگر آن است که دسترسی به تمامی داده‌های واقعی برای کل سال ممکن نبوده است و همانگونه که ملاحظه می‌گردد برای روز ۱۵۵ به بعد عملا داده ی واقعی نداریم. این به نوبه خود سختی و محدودیت آنالیزهای ثانویه بر مبنای این داده های واقعی محدود را تایید می‌کند. علاوه بر موارد فوق به دلایل فنی ممکن است داده های واقعی بر اثر گذرزمان و مستهلک شدن بویه ها از دقت کافی برخوردار نباشد. چنانچه در این نمودار ملاحظه می گردد برای روزهای ۱۳۰ تا ۱۵۵ داده های واقعی افت شدید شوری را نشان می دهند. این امر می تواند به دلیل انباشت نمک حاصل از آب دریا در اطراف سنسور اندازه‌گیر بویه باشد و بنابراین این امر نیز می‌تواند محدودیت دیگری را در اندازه گیری های محلی نمایان سازد



نمودار ۱: سری زمانی سال ۲۰۰۹ بر حسب داده های بویه و مدل عددی

از آنجایی که نمودار ۱ کل روزهای سال را پوشش می‌دهد، تنها به تمامی آنالیزهای فوق برای فقط ۱۰۰ روز اول دسترسی داریم و همچنین اولین نکته حائز اهمیت آنالیز شوری سطحی برای ۱۰۰ روزه دوم سال همانگونه که که ملاحظه می گردد به تدریج با نزدیکتر شدن به نیمه دوم سال از میزان شوری کاسته می‌گردد و این مهم را از افت ملایم اولیه داده های واقعی در این نمودار می توان درک کرد. از طرف دیگر ممکن است علاوه بر محدودیت هایی که برای دسترسی به داده های واقعی داریم، اما با تمامی این محدودیت‌ها، چنانچه مدل سازی ما با دقت و روش مناسبی انجام شده باشد به راحتی می توان شوری سطحی را تحلیل نمود. نتایج مدل و داده های واقعی در ۲۰ روز اول تقریبا بر هم منطبق هستند. همچنین در سایر روزها یعنی روزهای ۲۰ تا ۵۰ نیز مدل با دقت بالایی و با خطای ۲,۵ درصد (۰,۰۲۵=۴۱/۴۰-۴۰ نحوه محاسبه خطای نسبی) و در محدوده روزهای ۳۵ تا۵۰ با خطای کمتر ، داده های واقعی را دنبال می‌کند. لذا برای مقایسه عملکرد آنالیزهای مبتنی بر مدل و مقایسه آن با داده های واقعی، محدوده ۱۰۰ روزه اول در نمودار ۲ بزرگ نمایی شده است.

نمودار ۲ آنالیز های مختلف شوری را برای محدوده ۱۰۰ روزه اول سال نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد داده های واقعی بویه متوسط ۴۰ را برای شوری در غالب این روزها نشان می‌دهد. مقایسه داده های واقعی بویه در این شکل با نتایج حاصل از مدل عددی نشان می‌دهد نتایج آنالیزهای مدل شوری سطحی را در تمامی این روزها به طور متوسط ۴۱ نشان می‌دهد. این یعنی خطای مدل درمقایسه با داده های واقعی بسیار ناچیز و در حدود ۲,۵ درصد است. دلیل اصلی این امر آن است که در مدل پیشنهادی ما پارامترهای متعددی (باد، جزر و مد ،شار گرمایی ، دما ، شوری) جهت تحلیل شوری در نظر گرفته شده است.



نمودار ۲: سری زمانی روز۱۰۰-۱ بر حسب داده های بویه و مدل عددی

از مجموعه آنالیزهای مبتنی بر نمودارهای ۱ و۲ می توان جمع بندی نهایی را اینگونه انجام داد که هرگاه داده‌های واقعی جهت محاسبه شوری در دسترس نباشند می توان از مدل سازی عددی نیز با دقت به مراتب بالاتر یعنی در حدود ۹۷,۵ درصد (۰,۰۲۵=۴۱/۴۰-۴۰ نحوه محاسبه خطای تقریبی) می‌تواند این شوری سطحی را به دست آورد. همچنین این مدل قابلیت این را دارد که در مواقعی داده‌های اندکی در دسترس هستند نیز شوری سطحی را به خوبی تعیین کند.

علاوه بر همه این موارد در مقایسه با داده‌های واقعی که مبتنی بر اندازه‌گیری‌های محلی انجام می‌گردند و در طی گذشت زمان مستهلک شده و ممکن است دقت خود را ازدست بدهند، اما آنالیزهای مبتنی بر مدل سازی عددی با حفظ دقت خود برای دوره زمانی طولانی تری قابل استفاده هستند.

منابع

زمانی، عمادالدین، صدری نصب، مسعود، سیه سرانی، امیر، نصری، فرامرز،۱۳۹۲. مدل سازی مکانی پارامترهای فیریکی دما و شوری در خلیج چابهار با استفاده از مدل عددی کوهیرنس .فصل.نامه ی علوم و فناوری دریا، شماره ٦٦ ، صفحه ی ۳.

Ahn YH, Shanmugam P, Moon JE, Ryu JH. Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea. In Annales geophysicae atmospheres, hydrospheres and space sciences. 2008 Jul 28; 26(7): 2019–203 .

Akbari, P., Sadrinasab, M., Chegini, V. and Siadatmousavi, M., 2016. Tidal onstituents in the Persian Gulf, Gulf of Oman and Arabian Sea: a Numerical Study Chau, K.W. and Jiang, Y.W., 2001. 3D numerical model for Pearl River estuary. Journal of Hydraulic Engineering, 127(1), pp.72-82.

Chen, C., H. Huang, R. C. Beardsley, H. Liu, Q. Xu, and G. Cowles, 2006a. A finite-volume numerical approach for coastal ocean circulation studies: comparisons with finitedifference models. Journal of Geophysical Research, in press

Chen C., liu H., beardsley R., 2003. An Unstructured Grid, Finite-Volume, Three-Dimensional, Primitive Equations Ocean, Model: Application to Coastal Ocean and Estuaries, American Meteorological Society, 20: 159-186.

Chen, C, R. C. Beardsley and G. Cowles, 2006d. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system. Special Issue entitled “Advance in omputational Oceanography”, Oceanography, 19(1), 78-89.

Haron, N.F. and Tahir, W., 2016, July. Hydrodynamic and Salinity Intrusion Model in Selangor River Estuary. In IOP Conference Series: Materials Science and ngineering (Vol. 136, No. 1, p. 012083). IOP Publishing

Koblinsky CJ, Hildebrand P, LeVine D, Pellerano F, Chao Y, Wilson W, Yueh S, Lagerloef G. Sea surface salinity from space: Science goals and measurement approach. Radio Science. 2003 Aug;38(4).

Klemas V. Remote sensing of sea surface salinity: an overview with case studies. Journal of Coastal Research. 2011 Jul 6;27(5):830-38.

Lai, Z., R. Ma, G. Gao, C. Chen, and R. C. Beardsley (2015), Impact of ultichannel river network on the plume dynamics in the Pearl River estuary, J. Geophys. Res. Oceans, 120, 5766–5789, doi:10.1002/ 2014JC010490.

Salah, T.D., Shattri, M., Rodzi, A.M., Pirasteh, S., 2010. Monitoring sea surface salinity season variation from MODIS satellite data, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International IGARSS 2010, 25-30 July 2010, Honolulu, USA, p 628-631.