

## مقایسه شوری سطحی آب خلیج فارس با استفاده از داده‌های میدانی و مدل عددی FVCOM

مریم دبستانی<sup>۱</sup>، مهدی محمد مهدیزاده<sup>۲\*</sup>، جعفر عزیزپور<sup>۳</sup>

۱- دکترا دانشکده علوم فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، پست الکترونیکی: dabestani.au@gmail.com

۲- استادیار دانشکده علوم فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، پست الکترونیکی: mehdizadeh@hormozgan.ac.ir

۳- پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران، پست الکترونیکی: azizpour@imio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۱۵

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۳۰

### چکیده

این مقاله به بررسی و برآورد تغییرات شوری سطحی آب خلیج فارس 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 محدوده کم بارش، شوری و چگالی آب خلیج فارس زیاد است. یکی از محدودیت‌های این منطقه کمبود داده‌های 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 داده‌های باد، جزرومد، شار گرمایی، دما و شوری استفاده می‌گردد. ابتدا برای ۵ سال (۲۰۰۵-۲۰۰۹)، مدل اجرا شد و نتایج بدست آمده شوری سطحی توسط مدل تقریباً ۴۰ psu می‌باشد که با داده‌های میدانی در خلیج فارس مقایسه شده که دارای تطابق بسیار خوبی است.

کلمات کلیدی: شوری سطحی آب، مدل عددی FVCOM، خلیج فارس.

### ۱. مقدمه

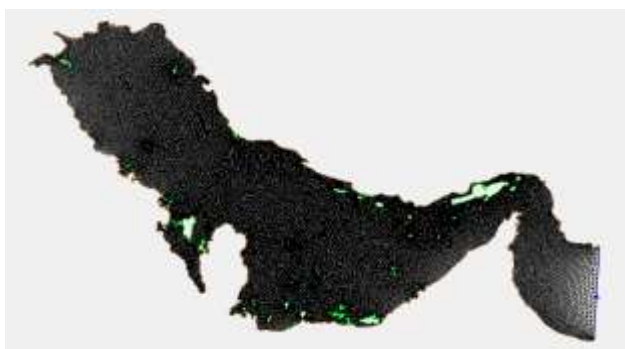
های عددی استفاده کردند. مدل‌های عددی ابزاری بسیار مفید برای درک، پیش‌بینی و کنترل پدیده‌های طبیعی هستند. مدل‌های عددی بعلاوه محدودیت در مشاهدات و محدودیت در تفکیک و حل معادلات پیچیده ریاضی دارای دامنه کاربرد معین تعریف شده هستند (Haron, N.F, 2016). در استفاده از مدل‌های عددی نیز، به دلیل تقریب‌های استفاده شده در ارائه مدل، محدودیت در تفکیک مکان-زمان و بحث پایداری مدل‌ها با خطا و محدودیت روبرو هستیم. تغییرات خطوط ساحلی و توپوگرافی پیچیده بستر از مشکل‌ترین موارد برای ارائه یک مدل عددی با دقت بالا است. استفاده از مختصات سیگما و شبکه مثلثی نامنظم این مشکلات را کاهش داده و مدل‌سازی مناطق کم عمق ساحلی را دقیق‌تر می‌نماید. (زمانی، ۱۳۹۲) مدلی که در این پژوهش مورد

شوری آب یک ویژگی اساسی در بررسی فرایندهای زیستی و فیزیکی مانند بیلان آب، فرایند تبخیر و جریانات دریایی و اقیانوسی است. در واقع 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. در حال حاضر مطالعات شوری آب دریاها بسیار پراکنده و کم است به صورتی که نمی‌توان نمای مناسبی از تغییرات زمانی و مکانی شوری آب را به صورت جهانی ارائه داد (Ahn YH, Shanmugam P, 2008). از این رو پژوهشگران این حوزه، برای برآورد شوری سطحی دریا از مدل

## 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 المان‌های مثلثی جهت معرفی هندسه و هیدروگرافی مدل استفاده شده است. بسته به دقت مورد نیاز و اهمیت پدیده‌های مختلف در بخش‌های 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 سلول‌های و گره‌های 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: حوزه 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 انعطاف پذیر 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

استفاده قرار گرفته است، مدل عددی FVCOM است، که برای مطالعه اهدافی چند منظوره نظیر: اثرات فیزیکی، بیولوژیکی و آلودگی مناطق ساحلی به روش عددی این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. خلیج فارس دریای نیمه بسته با میانگین عمق ۳۷ متر است که از طریق تنگه هرمز به دریای عمان متصل شده است. به دلیل قرار گرفتن در محدوده کم بارش، شوری و چگالی آب خلیج فارس بالاست. تنگه هرمز محل تبادل آب چگال خلیج فارس و آب کم چگال اقیانوس هند است که باعث گردش آب در خلیج فارس می‌شود. مطالعات متعددی برای استخراج شوری سطحی دریا (SSS<sup>۱</sup>) از مدل عددی انجام شده است. چندین پژوهش که از مدل عددی FVCOM<sup>۲</sup> برای بررسی شوری و سایر پارامترهای اقیانوسی استفاده شده است در زیر آورده شده است.

اکبری و همکارانش (۱۳۹۴) 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، و مختلط نیمروزانه مشاهده می‌شود. در سایر مناطق جزرومد از نوع مختلط نیمروزانه خواهد بود. همچنین بررسی مقادیر بیشینه‌ی سرعت جزر و مدی در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقدار این سرعت در دریای عمان و دریای عرب کمتر از ۰٫۱ متر بر ثانیه است.

چن و همکارانش (۲۰۱۴) 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 می‌دهد. ژینگان لی و همکارانش (۲۰۱۶) 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 داده‌های 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 شوری‌های کمتر از ۲۰ در قسمت شمال غربی و شوری‌های بیشتر از ۳۲ در شمال شرقی را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> sea surface salinity

<sup>۲</sup> Finite Volume Community Ocean Model

تخیر با بزرگنمایی ۰/۵ درجه و گام زمانی 6 ساعته از ECMWF تهیه شد. داده‌های نیم رخ دما و شوری در مرز باز از خروجی مدل HYCOM و در عمق‌های استاندارد (https://hycom.org) استفاده شده است. داده‌های نیم رخ دما و شوری در محل گره‌های مرز باز مدل و از ابتدای سال 2005 تا انتهای سال 2009 استخراج و به عمق‌های استاندارد مورد نیاز مدل درون‌یابی شدند. این داده‌ها به صورت داده‌های روزانه در سایت مدل HYCOM و رایگان قرار دارند. داده‌های دبی رودخانه اروندرود از داده‌های ارایه شده در مقاله‌ی الحکیم و همکاران (2015) و به صورت متوسط روزانه استخراج و به مدل (از نزدیک‌ترین گره به مختصات 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

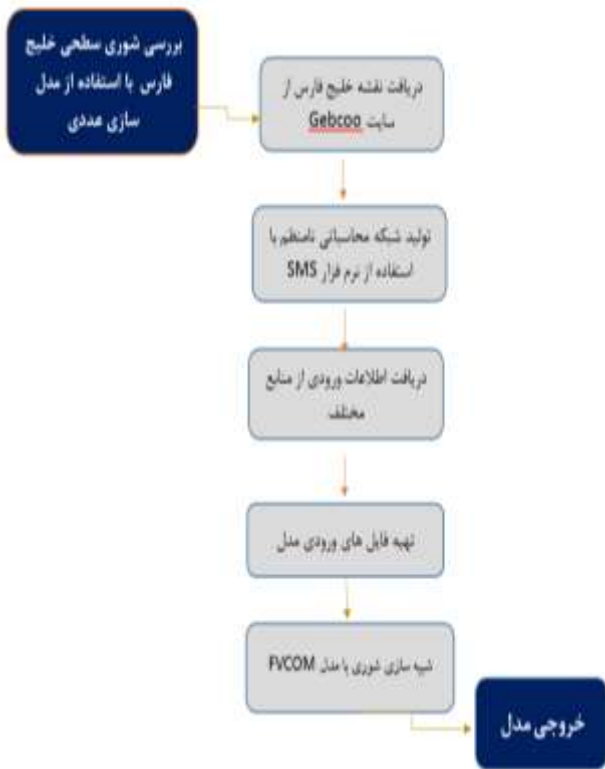
برای جمع‌آوری داده‌های واقعی مربوط به محدوده خلیج فارس از بویه‌ی که در ایستگاه دریایی بوشهر مستقر بود استفاده شده است. این بویه در شکل ۲ نشان داده شده است که اغلب داده‌هایی به صورت پراکنده از آن جمع‌آوری می‌شود. همان‌گونه که در شکل ۲ نمایش داده شده است در محدوده جنوب غربی بوشهر با مختصات جغرافیایی 28° 55' N و 50° E در 45' در خلیج فارس 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.

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 اقیانوس‌شناسی Woods Hole رهبری و انجام شده است.

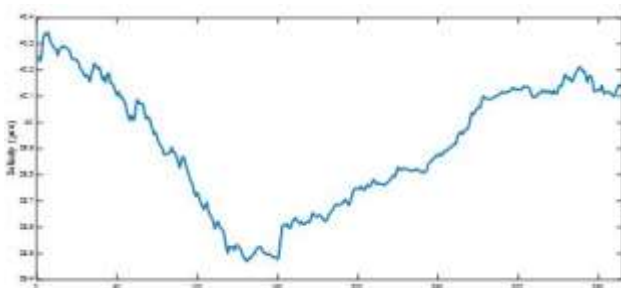
از دید تکنیکی و تخصصی FVCOM شامل بهترین خواص روش‌های تفاضل محدود (از نظر سادگی گسسته‌سازی کدها و مفید بودن محاسباتی) و المان محدود (مناسب بودن هندسه محیط) است. همانطور که پیشتر ذکر شد، مدل FVCOM از شبکه‌ی محاسباتی انعطاف‌پذیر برای شبیه‌سازی بهره می‌برد که این شبکه ضمن دارا بودن قابلیت انعطاف‌پذیری برای انطباق بر خط ساحلی، می‌تواند با تفکیک‌پذیری مکانی متغیر تعریف گردد. (Chen C., 2006) داده‌های ژرفاسنجی از داده‌های GEBCO08 با قدرت تفکیک ۳۰ متری (http://www.gebco.net) استفاده شده است. بیشینه و کمینه عمق استفاده شده در مدل به ترتیب ۲۸۵۰ 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 گره‌های 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 ۵۸ درجه شرقی) متغیر است. گام زمانی مد داخلی و مد خارجی به ترتیب عبارت‌اند 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 گره‌های مرز باز، به صورت دامنه و فاز 8 مؤلفه‌ی جزر و مدی M2, S2, N2, K2, K1, P1, O1, Q1 اعمال شده است. این اطلاعات از مدل TMD (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. داده‌های شار حرارتی مدل، بارش و

(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 ۴: 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.



شکل ۲: تصویری از بویه ایستگاه بوشهر

### ۴-۲ مراحل اجرای مدل FVCOM

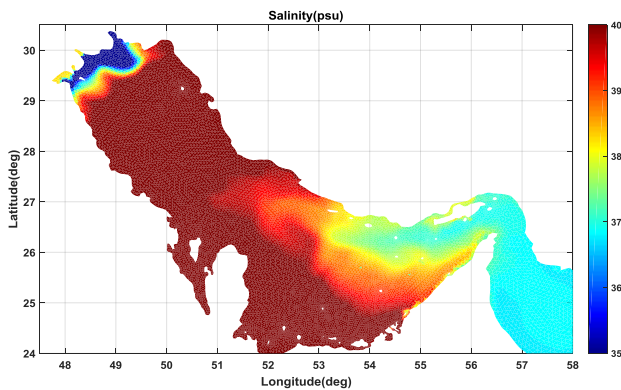
در این بخش ابتدا می‌بایست داده‌های مختلفی از منابع‌های متعددی جمع‌آوری گردد. این داده‌ها شامل داده‌های باد، جزرومدی، دما و شوری می‌باشد این داده‌های متعدد به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه به کمک مدل عددی FVCOM شوری سطحی شبیه‌سازی می‌گردد و نهایتاً خروجی مدل که همان شوری سطحی است بدست می‌آید. پس از انجام کار شوری سطحی بدست آمده از مدل‌سازی با داده‌های میدانی مقایسه می‌گیرند.

### ۳. نتایج

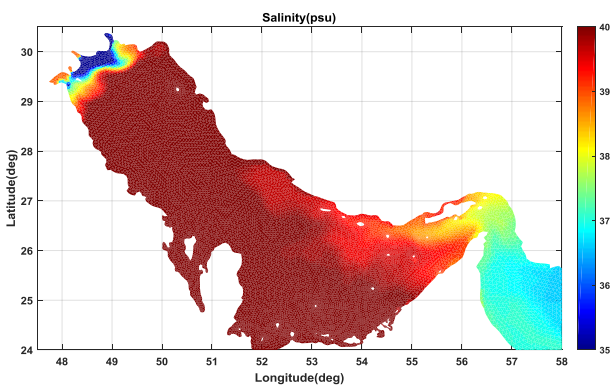
#### ۳-۱ پایداری مدل

مدل به مدت ۵ سال (از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹) اجرا شده تا طی آن خواص توده آب در خلیج فارس در مدت مورد نظر به یک چرخه پایدار برسند. نتایج براساس سال ۲۰۰۹ که داده‌های اندازه‌گیری موجود بود ارائه شده است. میانگین مکانی تغییرات زمانی شوری در شکل (۴) رسم شد.

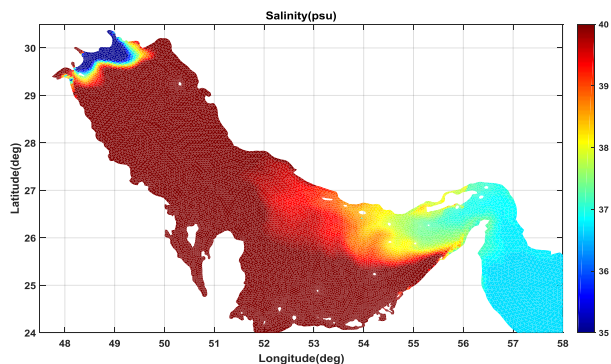
۲-۳ شکل های فصلی شوری سطحی در خلیج فارس



شکل ۶: تغییرات شوری سطحی خلیج فارس در فصل تابستان



شکل ۷: تغییرات شوری سطحی خلیج فارس در فصل پاییز



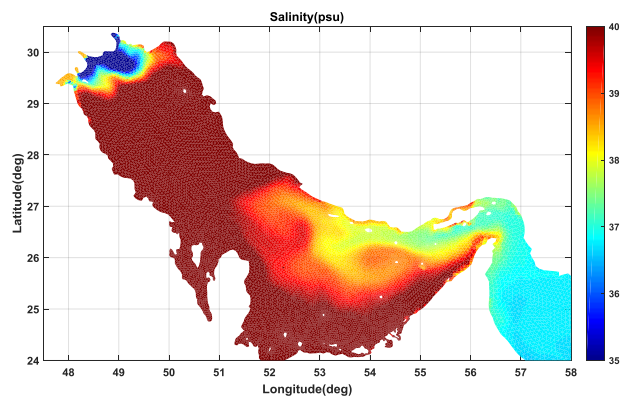
شکل ۸: تغییرات شوری سطحی خلیج فارس در فصل زمستان

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 شده‌اند. همانگونه که در این نمودار از داده‌های واقعی استنباط می‌گردد، شوری سطحی در ۱۰۰ روز اول سال که مربوط به فصول سرد می‌باشد در حدود ۴۰ تا ۴۱ می‌باشد.

بررسی کلی شکل‌های (۵) (۶) (۷) (۸) توزیع شوری آب در فصل زمستان در مناطق جنوبی خلیج فارس نشان می‌دهد که دامنه تغییرات شوری بین ۳۹psu تا ۴۰ psu است. هم در بررسی مقالات موجود و هم در این تحقیق مشخص شد که آب‌های همجوار با سواحل جنوبی و بخصوص آب‌های جنوب بحیرین دارای بیشترین شوری در طول سال می‌باشند. همچنین کمترین شوری در آب‌های مجاور حوزه تنگه هرمز و در نواحی شمال غربی خلیج فارس (حوزه ورودی رودخانه اروند) مشاهده می‌شود.

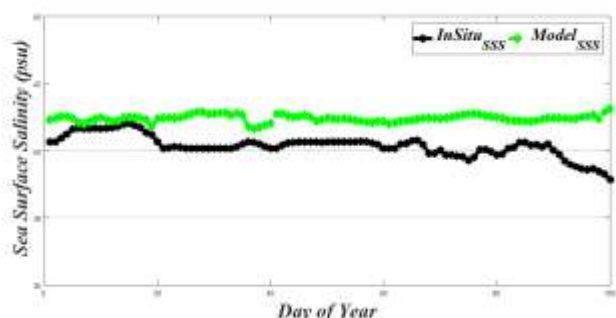
در نواحی اطراف تنگه هرمز، در واقع توده آب‌های ورودی از دریای عمان به خلیج فارس می‌باشند که دارای شوری کمتری نسبت به سایر نقاط مورد مطالعه هستند. با توجه به این مساله می‌توان گفت که شوری کمیت مناسبی برای بررسی میزان نفوذ آب دریای عمان به خلیج فارس در طول سال است. مطالعه نمودارهای شوری نشان می‌دهد که نفوذ آب دریای عمان به داخل خلیج فارس از اوایل بهار شروع شده و در اواخر بهار و اوایل تابستان به بیشترین مقدار خود می‌رسد و به همین دلیل است که شوری سطحی آب در تابستان کمتر از زمستان می‌باشد. در حوزه ورودی رودخانه اروند، نفوذ آب‌های شیرین‌تر 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 بادهای نسبت به تابستان و همچنین به علت عمق کم مناطق خلیج فارس، سرعت تبخیر سطحی افزایش یافته و به طبع آن شوری آب‌های سطحی نیز زیادتر می‌شود.



شکل ۵: تغییرات شوری سطحی خلیج فارس در فصل بهار

روزهای ۳۵ تا ۵۰ با خطای کمتر، داده های واقعی را دنبال می کند. لذا برای مقایسه عملکرد آنالیزهای مبتنی بر مدل و مقایسه آن با داده های واقعی، محدوده ۱۰۰ روزه اول در نمودار ۲ بزرگ نمایش داده شده است.

نمودار ۲ آنالیزهای 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 می دهد. مقایسه داده های واقعی بویه در این شکل با نتایج حاصل از مدل عددی نشان می دهد نتایج آنالیزهای مدل شوری سطحی را در تمامی این روزها به طور متوسط ۴۱ نشان می دهد. این یعنی خطای مدل در مقایسه 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.

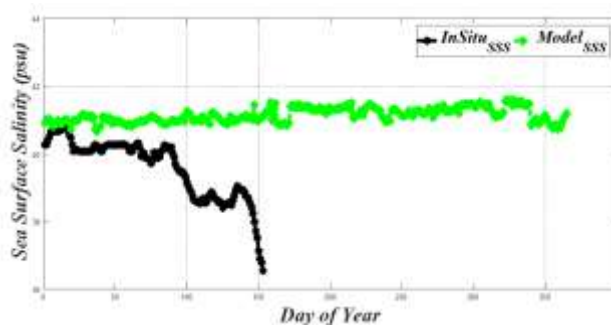


نمودار ۲: سری زمانی روز ۱-۱۰۰ بر حسب داده های بویه و مدل عددی

از مجموعه آنالیزهای مبتنی بر نمودارهای ۱ و ۲ می توان جمع بندی نهایی را اینگونه انجام داد که هرگاه داده های 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 ( $0,025 = 41/40 - 40$ ) نحوه محاسبه خطای تقریبی) می تواند این شوری سطحی را به دست آورد. همچنین این مدل قابلیت این را دارد که در مواقعی داده های اندکی در دسترس هستند نیز شوری سطحی را به خوبی تعیین کند.

علاوه بر همه این موارد در مقایسه با داده های واقعی که مبتنی بر اندازه گیری های محلی انجام می گردند و در طی گذشت زمان مستهلک شده و ممکن است دقت خود را از دست بدهند، اما آنالیزهای مبتنی بر مدل سازی عددی با حفظ دقت خود برای دوره زمانی طولانی تری قابل استفاده هستند.

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 داده های واقعی برای کل سال ممکن نبوده است و همانگونه که ملاحظه می گردد برای روز ۱۵۵ به بعد عملاً داده ی واقعی نداریم. این به نوبه خود سختی و محدودیت آنالیزهای ثانویه بر مبنای این داده های واقعی محدود را تأیید می کند. علاوه بر موارد فوق به دلایل فنی ممکن است داده های واقعی بر اثر گذر زمان 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 اندازه گیر بویه باشد و بنابراین این امر نیز می تواند 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 می دهد، 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 ملاحظه می گردد به تدریج با نزدیکتر شدن به نیمه دوم سال از میزان شوری کاسته می گردد 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 محدودیت ها، 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 تقریباً بر هم منطبق هستند. همچنین در سایر روزها یعنی روزهای ۲۰ تا ۵۰ نیز مدل با دقت بالایی و با خطای ۲,۵ درصد ( $0,025 = 41/40 - 40$ ) نحوه محاسبه خطای نسبی) و در محدوده

- Chen, C, R. C. Beardsley and G. Cowles, 2006d. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system. Special Issue entitled "Advance in computational 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 Engineering* (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 ultrichannel 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.
- زمانی، عمادالدین، صدری نصب، مسعود، سیه سرانی، امیر، نصری، فرامرز، ۱۳۹۲. مدل سازی مکانی پارامترهای فیزیکی دما و شوری در خلیج چابهار با استفاده از مدل عددی کوهیرنس. فصل نامه ی علوم و فناوری دریا، شماره ۶۶، 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 constituents 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.