

## مطالعه و بررسی بهینه‌سازی دمای سطح دریا با استفاده از طرحواره رانش در روش همسان‌سازی داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی خلیج فارس)

محمود رضا عباسی<sup>۱\*</sup>، وحید چگینی<sup>۲</sup>، مسعود صدری‌نسب<sup>۳</sup>، سیدمصطفی سیادت‌موسوی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری فیزیک دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، پست الکترونیکی:  
*phys.ocean.abbasi@gmail.com*

۲- استادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، پست الکترونیکی: *v\_chegini@gmail.com*

۳- دانشیار گروه مهندسی طراحی محیط زیست دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، پست الکترونیکی:  
*masoud.sadri@ut.ac.ir*

۴- استادیار گروه آب دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، پست الکترونیکی: *siadatmousavi@just.ac.ir*

تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۷

\* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۸

### چکیده

در این مقاله به بررسی قابلیت‌های استفاده از روش همسان‌سازی داده‌ها<sup>۱</sup> با استفاده از طرحواره<sup>۲</sup> رانش<sup>۳</sup> (واهلش نیوتنی<sup>۴</sup>) روی مدل<sup>۵</sup> FVCOM و با استفاده از داده‌های دمای سطح دریا<sup>۶</sup> (SST) ماهواره AVHRR پرداخته شده است. همسان‌سازی داده‌ها فرآیندی است که داده‌های مشاهداتی را با مدل عددی به منظور بهینه‌سازی حالت مدل ترکیب می‌کند. این کار با تصحیح خطاهای مدل بر اساس داده‌های مشاهداتی به دو منظور صورت می‌گیرد: یکی ۱- بهینه پارامتر مورد نظر و ۲- تهیه حالت اولیه بهینه برای مدل. حوزه مورد مطالعه خلیج فارس در بازه زمانی ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۳ بود. مدل با تنظیمات یکسان در دو مرحله با و بدون استفاده از روش همسان‌سازی داده‌ها اجرا شد و خروجی‌های دمای سطحی حاصل از دو اجرا با داده‌های معتبر<sup>۷</sup> OISST در حوزه‌های زمانی-مکانی به منظور ارزیابی میزان تاثیر روش همسان‌سازی داده‌ها مقایسه شدند. بررسی کمیت‌های آماری نتایج SST مدل با استفاده از این روش بهبود چشمگیری را در مقادیر پارامترهای آماری نشان داد. همچنین توزیع مکانی دمای سطحی در کل خلیج فارس خصوصاً در نواحی کم عمق و نیز تنگه هرمز کاملاً بهینه شده است.

کلمات کلیدی: روش همسان‌سازی داده‌ها، رانش، دمای سطح دریا، FVCOM، OISST، خلیج فارس.

<sup>1</sup> Data Assimilation

<sup>2</sup> Scheme

<sup>3</sup> Nudging

<sup>4</sup> Newtonian Relaxation

<sup>5</sup> Finite Volume Community Ocean Model

<sup>6</sup> Sea Surface Temperature

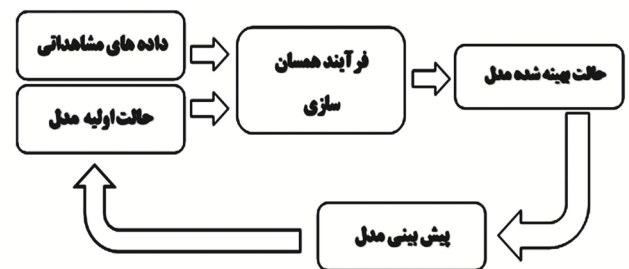
<sup>7</sup> NOAA Optimum Interpolation Daily SST

## ۱. مقدمه

همانگونه که اشاره شد هرچه داده‌های مشاهداتی از پوشش مکان-زمانی بیشتری برخوردار باشند، تاثیر روش همسان سازی داده‌ها بیشتر است. اما حوزه‌های دریایی به دلیل وسعت زیاد و نیز وجود مشکلاتی در فرآیند اندازه‌گیری میدانی<sup>۱</sup> دمای سطح دریا، این داده‌ها از پوشش مناسب زمانی-مکانی برخوردار نیستند. از سوی دیگر، ماهواره‌ها با اندازه‌گیری همزمان پارامترهای مختلف اقیانوسی-جوی با پیمایش خوب مکانی و نیز بازه‌های زمانی متناوب، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها در جمع-آوری داده‌های محیطی هستند.

استفاده از داده‌های دمای سطحی در روش همسان‌سازی داده-ها دارای پیشینه‌ای بیش از سه دهه است. Derber و همکاران (۱۹۸۹) و Carton و همکاران (۱۹۹۰) داده‌های SST و اندازه‌گیری‌های نیمرخ عمودی دما را در یک مدل گردش اقیانوسی بکار بردند. در این دو پژوهش تنها به بررسی ویژگی‌های بزرگ مقیاس اقیانوسی متأثر از روش همسان‌سازی داده‌ها پرداخته شده است. در این بررسی‌ها به تاثیر همسان‌سازی داده‌های دمای سطحی در بهبود و تصحیح نیمرخ عمودی دما نیز اشاره شده است که از قابلیت‌های چشمگیر خوب این روش است. Clancy و همکاران (۱۹۹۰، ۱۹۹۲) از طرحواره درون‌یابی بهینه<sup>۲</sup> برای ترکیب داده‌های اندازه‌گیری شده توسط کشتی، بتی ترموگراف، بویه و ماهواره جهت تهیه ساختار بهینه دمایی و نیز بهینه‌سازی مدل لایه مخلوط استفاده کردند. در این مقاله آنها به مزیت‌های روش درون‌یابی بهینه در تلفیق و استفاده همزمان از چندین منبع داده اندازه‌گیری اشاره کرده‌اند که امتیاز بزرگی در برابر روش رانش است. همچنین از مزایای دیگر این روش وزن-دهی مکانی به داده‌های اندازه‌گیری است که این مزیت در روش-های بعدی همسان‌سازی نیز به صورت‌های دیگری اعمال گردید. Behringer (1994) داده‌های SST و XBT<sup>۳</sup> را برای ارتقاء مدل تراز سطح دریا بکار برد. این محقق از دو متغیر مستقل همزمان در یک روش همسان‌سازی داده استفاده کرده است. نکته حائز اهمیت در این مطالعه استفاده از یک پارامتر دمایی مانند دمای سطحی دریا در بهینه‌سازی تراز سطح آب است که گرچه تاثیر آن کوچک است اما در بلندمدت تاثیر خوبی در تصحیح نتایج مدل‌سازی و افزایش دقت پیش‌بینی مدل می‌گذارد. She و

دمای سطح دریا یکی از مهم‌ترین پارامترها در مطالعه و بررسی فرآیندهای اقیانوسی و جوی و نیز اندرکنش این دو است. از این پارامتر برای بیان تغییرات اقلیمی نیز استفاده می‌شود. بنابراین اطلاع از نحوه توزیع و نیز تغییرات زمانی مکانی آن، برای مطالعه فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی منطقه ناحیه مورد تحقیق از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین منظور امروزه برای بدست آوردن توزیع مکان-زمانی این پارامتر از مدل‌های عددی استفاده می‌شود. اما این مدل‌ها با وجود ارایه خروجی‌های بسیار دقیق از پارامترهای مورد نظر، به دلیل وجود خطاهایی مانند خطاهای شرایط اولیه و شرایط مرزی مدل، خطاهای پارامترهای جوی (باد، دمای هوا و ...)، خطاهای ژرفاسنجی، خطای گسسته‌سازی معادلات مدل و برخی خطاهای دیگر که در بطن مدل‌سازی وجود دارد، همواره نتایج آن‌ها همراه با مقداری خطا است و در نتیجه یکی از دغدغه‌های مدل‌سازان استفاده از روش‌های مختلف برای کاهش این خطاها است. یکی از جدیدترین ابزارها برای کاستن این خطا، استفاده از روش همسان‌سازی داده‌ها است. در این روش با کمک داده‌های مشاهداتی<sup>۱</sup> - دقت مدل افزایش می‌یابد<sup>۲</sup> - چهارچوبی برای تعیین خطاهای مدل فراهم می‌شود<sup>۳</sup> - بهینه‌یا محتمل‌ترین حالت سیستم بدست می‌آید. بنابراین هسته مرکزی این روش، داده‌های مشاهداتی است و در نتیجه هر چه این داده‌ها از دقت و نیز پوشش مناسب‌تر زمان-مکانی برخوردار باشند، نتایج حاصل از بکارگیری آن نیز موثرتر خواهد بود. امروزه کمتر مدل‌های اقیانوسی-جوی و حتی مدل‌سازی در سایر حوزه‌ها را می‌توان یافت که از این روش با طرحواره‌های مختلف استفاده نکنند و از این رو به تدریج بر میزان دقت این روش‌ها و پیچیدگی آنها افزوده می‌شود. نمایی از فرآیند همسان‌سازی داده‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

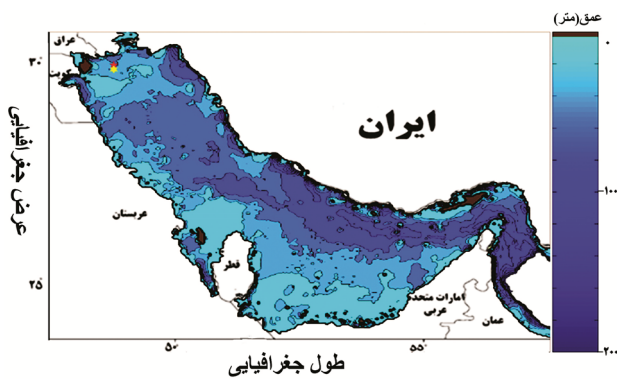


شکل ۱: نمودار فرآیند روش همسان‌سازی داده‌ها

<sup>1</sup> In situ<sup>2</sup> Optimal Interpolation<sup>3</sup> Expendable bathythermograph

## ۲-۲ حوزه مطالعاتی

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 ۲). با توجه به ماهیت کم عمق بودن خلیج فارس از مختصات سیگما برای لایه بندی عمودی به تعداد ۱۰ لایه استفاده شد.



شکل ۲: حوزه مورد مطالعه.

میدان باد<sup>۳</sup> ECMWF از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۱ به صورت بازتحلیل (ERA-40) با بزرگنمایی ۱/۱۲۵ درجه و از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ به صورت عملیاتی با بزرگنمایی ۰/۵ درجه از پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی تهیه گردید. داده‌های شار حرارتی مدل، بارش و تبخیر با بزرگنمایی ۰/۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته از ECMWF تهیه شد.

## ۳-۲ داده‌های مورد نیاز برای روش همسان‌سازی و برای مقایسه

در این تحقیق برای انجام روش همسان‌سازی داده‌ها از داده‌های دمای سطح ماهواره‌ای NOAA/AVHRR به دلیل بزرگنمایی مناسب و ریز زمانی - مکانی استفاده شد.

همکاران (۲۰۰۷) و Larsen و همکاران (۲۰۰۷) از داده‌های SST ماهواره‌ای به جای داده‌های میدانی در دریای بالتیک استفاده کردند. آنها در مطالعات خود به استفاده از روش‌های ترکیبی همسان‌سازی داده‌ها که رویکرد جدیدی در این روش است روی آورده‌اند که هر دو از قابلیت روش‌های همسان‌سازی بهره می‌برند. کاربرد این روش ترکیبی موجب کاهش خطای اختلاف معیاری<sup>۱</sup> نتایج مدل‌سازی در منطقه مورد نظر در مقایسه با دو روش دیگر گردید. همچنین خطای RMS مدل‌سازی کاهش چشمگیری یافت که این موضوع موجب بهینه شدن دقت پیش بینی مدل گردید. در این مقاله از روش رانش در مدل FVCOM در منطقه خلیج فارس استفاده شده است. این روش گرچه در مقایسه با دیگر روش‌ها از سادگی برخوردار است و جزو طرحواره‌های اولیه محسوب می‌گردد، اما از سرعت و کارایی بالایی جهت کاربرد در مدل‌های عملیاتی برخوردار است. این موضوع را Manda و همکاران (۲۰۰۵) با مقایسه این طرحواره با طرحواره پیچیده فیلتر کالمن به اثبات رساندند.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱-۲ مدل FVCOM

مدل FVCOM مدلی با شبکه‌بندی بی‌ساختار است که معادلات سه بعدی تکانه، پیوستگی، دما، شوری و چگالی را در مختصات کروی و به روش حجم محدود حل می‌کند و ابتدا توسط Chen و همکاران (۲۰۰۳) معرفی گردید و به تدریج با همکاری پژوهشگران دانشگاه ماساچوست-دارتموث و موسسه اقیانوس‌شناسی وودز هول<sup>۲</sup> توسعه یافت. این مدل در راستای عمودی از مدل توربولانسی اقیانوسی (Burchard (2002) و در راستای افقی از طرحواره بستر تلاطمی (Smagorinsky (1963) بهره می‌گیرد. این مدل در انتگرال‌گیری زمانی از روش‌های مختلف جداسازی و طرحواره‌های نیمه‌ضمنی و در انتگرال‌گیری مکانی از طرحواره‌های انتقال افقی مرتبه دو استفاده می‌کند. روش حجم محدود شبکه بی‌ساختار آن هم از ویژگی محاسباتی ساده روش تفاضل محدود و هم از انعطاف‌پذیری هندسی روش المان محدود استفاده می‌کند.

<sup>1</sup> Bias

<sup>2</sup> WHOI

<sup>3</sup> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

## ۲-۴ طرحواره رانش

این طرحواره گرچه جزو اولین و ساده‌ترین طرحواره‌ها محسوب می‌گردد، اما به دلیل سرعت و کارایی بالا یکی از پرکاربردترین طرحواره‌ها خصوصاً در کاربردهای پیش‌بینی است. این طرحواره برای کارهای همسان‌سازی در سیستم‌های عملیاتی به دلیل پایین بودن حجم عملیات محاسباتی در مقایسه با دیگر روش‌های همسان‌سازی بسیار محبوب است. از اولین کاربردهای این روش می‌توان به Rizzoli و Young (۱۹۹۲) اشاره کرد. در این روش همان‌گونه که از نامش پیداست مدل به آهستگی<sup>۱</sup> به سمت داده‌های مشاهداتی در هر بازه زمانی با استفاده از روش نیوتنی با اضافه کردن یک عبارت تجربی به معادلات مدل سوق داده (رانده) می‌شود (فرمول ۳).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = F + G_{\alpha}(T - T_{obs}) \quad (3)$$

که در آن  $T_{obs}$  مقدار دمای مشاهداتی،  $T$  مقدار پیش‌بینی مدل،  $F$  معادلات خود مدل و  $G_{\alpha}$  ضریب رانش است. البته مقدار  $G_{\alpha}$  باید قید پایداری مدل را برآورده سازد یعنی

$$G_{\alpha} < \frac{1}{\Delta t} \quad (4)$$

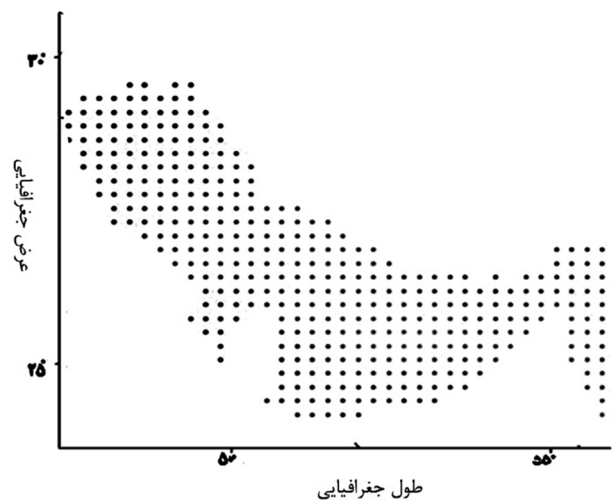
در این معادلات، با کوچک شدن بازه‌های زمانی میزان تاثیر این روش و نزدیک شدن داده‌های مدل به داده‌های مشاهداتی بیشتر می‌شود.

## ۳. نتایج و بحث

برای بررسی میزان قابلیت‌های روش همسان‌سازی داده‌ها، مدل در مدت ۵ سال و بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ با تنظیمات یکسان در دو حالت با و بدون روش همسان‌سازی داده‌ها اجرا شد و سپس نتایج حاصل از هر دو اجرا به طور مجزا با داده‌های مرجع مقایسه شد. این مقایسه با استفاده از روش‌های آماری و در دو مقیاس مکانی و زمانی انجام گردید.

Ahmadabadi و همکاران (۲۰۰۹)، نشان دادند که بیشینه، کمینه و میانگین خطای دمای سطحی این ماهواره در خلیج فارس به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۰۹- و ۰/۴۳± درجه سلسیوس است که مقادیر قابل قبولی است.

همچنین برای تعیین میزان تاثیر روش همسان‌سازی داده‌ها، از مجموعه داده OISST با بزرگنمایی ۰/۲۵ درجه Reynolds و همکاران (۲۰۰۷) استفاده گردید (شکل ۳). علت استفاده از داده‌های OISST به عنوان داده‌های مرجع مقایسه ۱- بزرگنمایی این داده‌ها با تفکیکی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه ۲- این داده‌ها ترکیبی از داده‌های ماهواره‌ای و میدانی با دقت ۰/۵-۰/۸ درجه سلیوس از سال ۱۹۸۱ تاکنون است و ۳- استفاده از این داده‌ها در اکثر مقالات معتبر به عنوان داده‌های مرجع است ( Kilpatrick et al., 2015; Narayanan et al., 2013; Hughes et al., 2009; Kawai et al., 2006).



شکل ۳: نقاط اندازه‌گیری شده داده‌های OISST

برای بیان کمی میزان تاثیر از پارامترهای آماری خطای اختلاف معیاری و انحراف معیار  $\sigma_{\epsilon}$  از فرمول‌های ۱ و ۲ استفاده گردید.

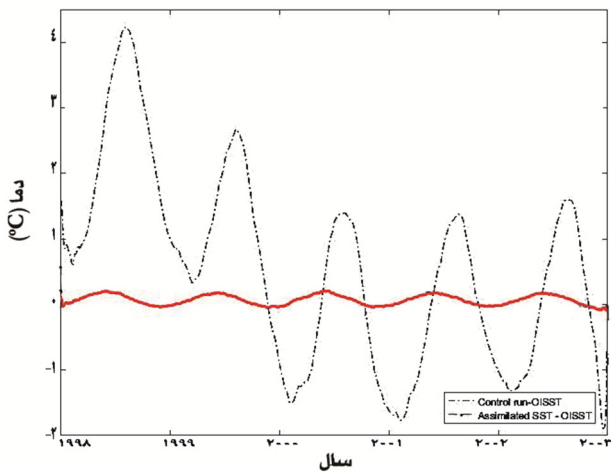
$$\text{Bias} = \bar{x} - \bar{y} \quad (1)$$

$$\sigma_{\epsilon} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\epsilon_i - \bar{\epsilon})^2}{N}} \quad (2)$$

در این فرمول‌ها  $x$  و  $y$  مقادیر مدل و داده‌های اندازه‌گیری میدانی و ماهواره‌ای هستند.

<sup>1</sup> Relaxed

دو دلیل می‌تواند باشد: ۱- عدم وجود داده‌های مناسب ماهواره‌ای در مناطق کم عمق و کالیبره نبودن این داده‌ها و ۲- عدم اطلاع دقیق از ضرایب شار دمایی مدل برای منطقه خلیج فارس. با نگاهی به مقیاس‌های اختلاف دمایی، دیده می‌شود که روش همسان‌سازی داده‌ها خطای توزیع سطحی دما در کل بازه مکانی مورد مطالعه را به میزان بسیار زیادی کاهش داده است. به طوری که بیشینه این خطا مقداری زیر ۱ درجه سانتیگراد است. اما در مقابل این بیشینه اختلاف دمایی در مدل اولیه بدون کاربرد روش همسان‌سازی در حدود ۱۴ درجه سانتیگراد است. شکل ۵ اختلاف میانگین دمای سطحی حاصل از دو اجرای مدل و داده‌های OISST در بین سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۳ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل دیده می‌شود که نتایج حاصل از اجرای مدل با استفاده از روش همسان‌سازی که در اطراف مقدار صفر در تمام مدت اجرای مدل نوسان می‌کند دارای بی‌هنجاری<sup>۱</sup> کمتری نسبت به نتایج مدل اولیه است. اما این اختلاف دمایی برای مدل اولیه اولاً تابع فصول مختلف است و دوماً دارای اختلاف چشمگیری نسبت به نتایج همسان‌سازی شده است. به عنوان مثال همان‌گونه که دیده می‌شود این اختلاف دمایی در فصول گرم سال دارای مقادیر بیشتری نسبت به داده‌های مرجع است.

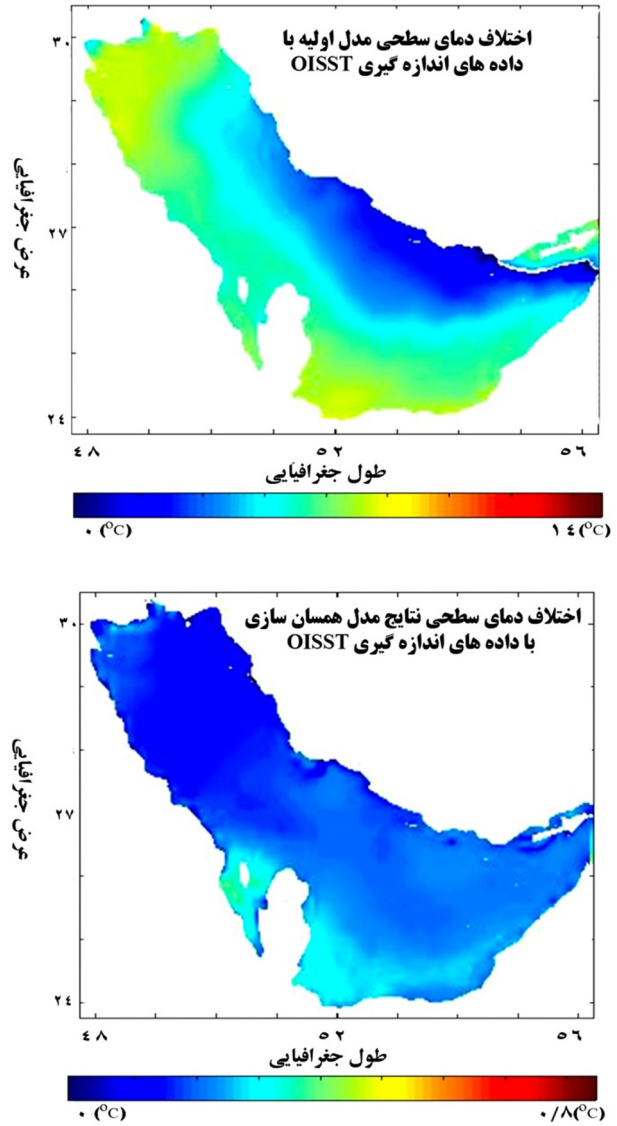


شکل ۵: سری زمانی اختلاف میانگین دمای سطحی حاصل از دو اجرای مدل و داده‌های OISST در بین سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۳

برای بیان کمی عملکرد کاربرد روش همسان‌سازی، از پارامترهای آماری خطای اختلاف معیاری و انحراف معیار  $\sigma_{\epsilon}$  استفاده شده است (جدول ۱).

<sup>۱</sup> Anomaly

اختلاف میانگین دمای سطحی مدل حاصل از دو اجرا با داده‌های مرجع OISST در کل بازه زمانی مورد اجرا در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: اختلاف میانگین دمای سطحی مدل حاصل از دو اجرا با داده‌های OISST در بین سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۳

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از روش همسان‌سازی داده‌ها با داده‌های OISST دارای اختلاف به مراتب کمتری نسبت به نتایج حاصل از اجرای بدون روش همسان‌سازی است. با توجه به شکل ۴ توزیع مکانی دمای سطحی در برخی نواحی مانند شمال تنگه هرمز و نیز ناحیه کم عمق جنوبی خلیج فارس از تصحیح خوبی برخوردار است که به

در این شکل دیده می‌شود که مدل اولیه بدون استفاده از روش همسان‌سازی در کل بازه اندازه‌گیری دارای اختلاف چشمگیری در توزیع دمای نسبت به دمای سطحی داده‌های مرجع OISST است. این اختلاف در سه ناحیه کاملاً به چشم می‌خورد: ناحیه کم عمق جنوبی خلیج فارس، تنگه هرمز و نواحی غربی خلیج فارس. از سوی دیگر تطابق بسیار خوب نتایج مدل با استفاده از روش همسان‌سازی با داده‌های مرجع دیده می‌شود. این اختلاف را می‌توان ناشی از سه عامل دانست:

(۱) عدم کالیبره بودن داده‌های دمای ورودی به مدل در منطقه خلیج فارس

(۲) عدم اطلاع از ضرایب دقیق معادلات دمایی در مدل FVCOM در این حوزه

(۳) خطای اندازه‌گیری ماهواره‌ای در مناطق آبی کم عمق مانند خلیج فارس.

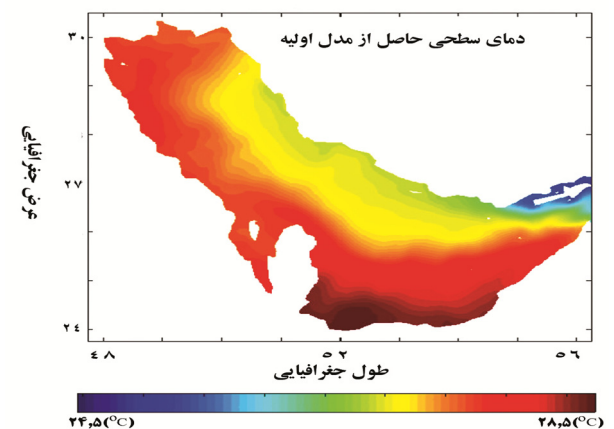
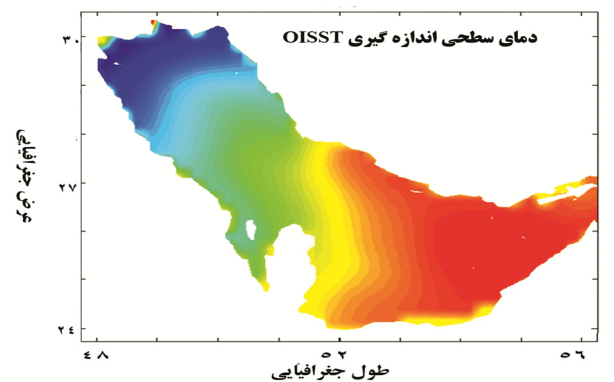
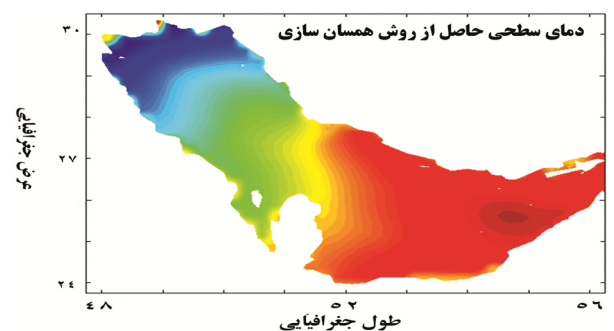
#### ۴. نتیجه‌گیری

از آنجاییکه کاربرد روش همسان‌سازی داده‌ها در مدل‌سازی دریایی تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته است، در این پژوهش برای نخستین بار به بررسی و مطالعه استفاده از این روش قدرتمند در مدل FVCOM پرداخته شده است. تحلیل نتایج حاصل از کاربرد این روش، نمود بهتری از توزیع مکان-زمانی توزیع دمای سطحی را در خلیج فارس در دوره مورد مطالعه ارائه می‌دهد. با مقایسه نتایج حاصل از مدل در دو مرحله با و بدون استفاده از این روش، بهبود چشمگیری در بهینه شدن دمای سطحی خصوصاً در مناطق کم عمق که داده‌های ورودی مدل از خطای بالایی برخوردار هستند، دیده می‌شود. یکی از بزرگترین مزایای این روش این است که در مدلهایی که ما حتی از ضرایب دمایی مدل در منطقه مورد مطالعه اطلاع دقیقی نداریم، کاربرد این روش نیاز اساسی را مرتفع می‌سازد که البته این قابلیت، مستلزم دانستن و صحت سنجی درست از داده‌های مورد استفاده در این روش است. اجرای مدل با استفاده از روش همسان‌سازی بهینه شدن تمام پارامترهای آماری را نشان می‌دهد (کاهش خطای اختلاف معیاری مدل از ۰٫۶ به ۰٫۵۷). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مدل با استفاده از روش همسان‌سازی در بهبود نتایج، کاملاً قابل قبول است و این روش را می‌توان در بقیه متغیرهای مدل مانند شوری، سرعت

جدول ۱: مقایسه آماری نتایج هر دو اجرا با داده‌های OISST

اجرای مدل	Bias [°C]	$\sigma_\epsilon$ [°C]
اجرا با روش همسان‌سازی	-۰٫۵۷	۰٫۲
اجرا بدون روش همسان‌سازی	-۰٫۶	۱٫۳۸

پارامترهای جدول ۱ به روشنی بهبود دقت و صحت الگوریتم همسان‌سازی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه داده‌های دمای سطحی با استفاده از روش همسان‌سازی با داده‌های OISST، مقایسه بین نتایج مدل در هر دو اجرای با و بدون استفاده از این روش، میزان افزایش دقت و بهینه شدن عملکرد مدل را در تولید داده‌های دمای سطحی نشان می‌دهد (شکل ۶).



شکل ۶: مقایسه بین اختلاف دمای سطحی مدل حاصل از دو اجرای با و بدون استفاده از روش همسان‌سازی در کل بازه زمانی مدل‌سازی

- and estuaries. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20(1): 159-86.
- Clancy, R.M.; Harding, J.M.; Pollak, K.D.; May, P., 1992. Quantification of improvements in an operational global-scale ocean thermal analysis system. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 9(1): 55-66.
- Clancy, R.M.; Phoebus, P.A.; Pollak, K.D., 1990. An operational global-scale ocean thermal analysis system. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 7(2): 233-54.
- Derber, J.; Rosati, A., 1989. A global oceanic data assimilation system. *Journal of Physical Oceanography*, 19: 1333-1347.
- Hughes, S.L.; Holliday, N.P.; Colbourne, E.; Ozhigin, V., 2009. Comparison of in situ time-series of temperature with gridded sea surface temperature datasets in the North Atlantic. *Journal of Marine Science*, 132: 45-62.
- Kawai, Y.; Kawamura, H.; Takahashi, S.; Hosoda, K.; Murakami, H.; Kachi, M.; Guan, L., 2006. Satellite-based high-resolution global optimum interpolation sea surface temperature data. *Journal of Geophysical Research*, 111(c6): 1-17.
- Kilpatrick, K.A.; Podesta, G.; Walsh, S.; Williams, E.; Halliwell, V.; Szczodrak, M.; Brown, O.B.; Minnet, P.J.; Evans, R., 2015. A decade of sea surface temperature from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 165: 27-41.
- Larsen, J.; Høyer, J.L.; She, J., 2007. Validation of a hybrid optimal interpolation and Kalman filter scheme for sea surface temperature assimilation. *Journal of Marine Systems*, 65(1): 122-33.
- Manda, A.; Hirose, N.; Yanagi, T., 2005. Feasible method for the assimilation of satellite-derived sst with an ocean. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22(6): 746-756.
- Narayanan, M.; Vasan, D.T.; Bharadwaj, A.K.; Thanabalan, P.; Dhileeban, N., 2013. Comparison and

جریان، کلروفیل آ، تراز سطح آب و... بکار برد که با توجه به کارهای انجام شده همگی بهینه شدن نتایج مدل را در اثر همسان-سازی نشان می‌دهند. نکته شایان ذکر این است که گرچه طرحواره رانش جزو ساده‌ترین و اولین طرحواره‌های روش همسان‌سازی است اما با این وجود کارایی خوب خود را در حالت‌های مختلف نشان داده است.

## ۵. سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مدیران و اساتید محترم پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی بابت همکاری در تهیه داده‌های ماهواره‌ای و مشاوره عملی سپاسگزاری بعمل می‌آید.

## منابع

- Abbaspour, M.; Rahimi, R., 2011. Iran atlas of offshore renewable energies. *renewable energy*, 36(1): 388-398.
- Ahmadabadi, M.N.; Arab, M.; Maalek-Ghaini, F.M., 2009. The method of fundamental solutions for the inverse space-dependent heat source problem. *engineering analysis with boundary elements*, 33(10): 1231-35.
- Behringer, D.W., 1994. Sea surface height variations in the Atlantic Ocean: a comparison of TOPEX altimeter data with results from an ocean data assimilation system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(c12): 24685-90.
- Burchard, H., 2002. Applied turbulence modelling in marine waters. *Lecture Notes in Earth Sciences*, Vol. 100, Springer, Berlin, 229.
- Carton, J.A.; Hackert, E.C., 1990. Data assimilation applied to the temperature and circulation in the Tropical Atlantic, 1983-84. *Journal of Physical Oceanography*, 20(8): 1150-65.
- Chen, C.; Liu, H.; Beardsley, R.C., 2003. An unstructured grid, finite-volume, three-dimensional, primitive equations ocean model: application to coastal ocean

- measurements for data assimilation? *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 17: 23-61.
- She, J.; Høyer, J.L.; Larsen, J., 2007. Assessment of sea surface temperature observational networks in the Baltic Sea and North Sea. *Journal of Marine Systems*, 65(1): 314-35.
- Smagorinsky, J., 1963. General circulation experiments with the primitive equations. *Monthly Weather Review*, 91(3): 99-164.
- validation of sea surface temperature (sst) using MODIS and AVHRR sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, 2(3): 1285-11292.
- Reynolds, R.W.; Smith, T.M.; Liu, C.; Chelton, D.B.; Casey, K.S.; Schlax, M.G., 2007. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *Journal of Climate*, 20(22): 5473-96.
- Rizzoli, P.M.; Young, R.E., 1992. No title how useful are localized clusters of traditional oceanographic