

## مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.2.3.0

درصد همانندی: ۱٪

## مدلسازی جبهه‌های آب در سواحل مکران

محمد رضا خلیل آبادی<sup>۱</sup>، سعید دانش مهر<sup>۲</sup>، محمد اکبر نژاد بایی<sup>۳</sup>

khalilabadi@mut.ac.ir

<sup>۱</sup> دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی هوادریا، ایران.

daneshmehr@mut.ac.ir

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، کارشناس ارشد آکوستیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی هوادریا، ایران.

akbarnejad@mut.ac.ir

<sup>۳</sup> دکتری فیزیک دریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی هوادریا، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

## چکیده

مدلسازی جبهه‌های آب در شمال اقیانوس هند و سواحل مکران رویکرد مهمی است که تغییرات جبهه‌های آب در این منطقه را بررسی و پیش‌بینی می‌کند. مدلسازی جبهه‌های آب در شمال اقیانوس هند با استفاده از داده‌های شوری و دما، به تصویر کشیدن الگوهای جغرافیایی و زمانی جابه‌جایی جبهه‌ها کمک می‌کند و به‌عنوان ابزاری پیشرفته و پژوهشگرانه در این زمینه استفاده می‌شود. این مقاله بخشی از یک مدلسازی جامع را در آب‌های اقیانوس هند ارائه می‌دهد که به شکل‌گیری توده‌های آب، جبهه‌های دما و شوری مرتبط است. در این مدلسازی از مجموعه مدل سه‌بعدی Delft3D استفاده شده و جبهه‌های سطحی و زیرسطحی آب در منطقه مورد مطالعه استخراج شده است. نتایج این مطالعه، شکل‌گیری چند جبهه مهم در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. یکی از این جبهه‌ها در امتداد سواحل مکران شکل می‌گیرد و محدود به لایه سطحی آب دریا می‌شود. جبهه دیگر در غرب دریای عمان واقع شده است و می‌تواند به دلیل خروج آب گرم و شور خلیج فارس به خلیج عمان باشد. گستره این جبهه در فصل‌های سرد سال در عمق‌های حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر تقریباً کل ناحیه غرب خلیج عمان را پوشش می‌دهد، اما در فصل گرم، بیشتر در لایه سطحی دریا گسترده شده است و هرچه به سمت عمق پیش رویم جبهه به سمت سواحل جنوب غرب محدود می‌شود. جبهه مهم دیگر در مرز بین اقیانوس هند و دریای عمان قرار گرفته است که در بخش جنوبی و در نزدیکی رأس الحد شدت بیشتری دارد. در بین جبهه‌های آب استخراج شده، جبهه‌ای که در امتداد سواحل مکران شکل گرفته است، بیشترین شدت را در لایه سطحی دارد و سایر جبهه‌ها بیشتر در زیرسطح (عمق بیش از ۱۰۰ متر) اهمیت دارند زیرا در لایه سطحی تحت تأثیر اختلاط و چرخه‌های جریانی که در این منطقه وجود دارد گرادیان افقی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سواحل مکران، نیم‌رخ دما، جبهه‌های آب، دریای عمان، نیم‌رخ شوری.

## ۱. مقدمه

در اقیانوس‌شناسی فیزیکی، به مرزهایی از حوضه اقیانوسی که مشخصات هیدروفیزیکی توده آب تغییرات قابل ملاحظه‌ای دارد، جبهه آب گفته می‌شود. مدل‌سازی جبهه‌های آب در سواحل مکران و شمال اقیانوس هند رویکرد مهمی است که تغییرات جبهه‌های آب را بررسی و پیش‌بینی می‌کند. این مدل با استفاده از داده‌های شوری و دما، به تحلیل و پیش‌بینی الگوهای شکل‌گیری و حرکت جبهه‌های آب در اقیانوس هند می‌پردازد. تحلیل داده‌های شوری و دما در مدل‌سازی جبهه‌های آب، به ما کمک می‌کند تا عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و حرکت جبهه‌های آب را درک کنیم. این اطلاعات به مسئولان محلی و تصمیم‌گیران این امکان را می‌دهد که مناطق ساحلی را بهبود دهند و از وقوع خسارت‌های احتمالی ناشی از جابه‌جایی جبهه‌های آب جلوگیری کنند. شوری آب نشان‌دهنده میزان نمک در آب است و تغییرات در شوری می‌تواند به شکل مستقیم یا غیرمستقیم بر جابه‌جایی جبهه‌های آب تأثیر بگذارد. همچنین، تغییرات دما نیز می‌تواند نقش مهمی در شکل‌گیری و حرکت این جبهه‌ها ایفا کند. تحلیل داده‌های دما به ما امکان می‌دهد، الگوهای تغییرات جبهه‌های آب را در طول زمان شناسایی و پیش‌بینی کنیم. مدل‌سازی جبهه‌های آب در سواحل مکران و شمال اقیانوس هند با استفاده از این داده‌ها، به تصویر کشیدن الگوهای جغرافیایی و زمانی جابه‌جایی جبهه‌ها کمک می‌کند [۱ و ۲]. این اطلاعات می‌توانند به مسئولان محلی و تصمیم‌گیران در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی مناطق ساحلی کمک کنند. با استفاده از این مدل، مسئولان قادر خواهند بود بهبودهای لازم را در زیرساخت‌ها و سیستم‌های هشداردهنده در این مناطق اعمال کنند، که در نتیجه باعث کاهش خسارت‌های احتمالی ناشی از جابه‌جایی جبهه‌های آب می‌شود. با توجه به تحلیل داده‌های شوری و دما، مدل‌سازی جبهه‌های آب در سواحل مکران و شمال اقیانوس هند به‌عنوان یک ابزار پیشرفته و پژوهشگرانه، به ما کمک می‌کند تا بهترین تخمین را در خصوص شکل‌گیری و حرکت این جبهه‌ها ارائه دهیم [۳ و ۴].

در مدل‌سازی جبهه‌های آب در سواحل مکران و شمال اقیانوس هند، برای تحلیل و پیش‌بینی تغییرات جبهه‌های آب از مواد و روش‌های متنوعی استفاده می‌شود. در ادامه به برخی از این مواد و روش‌ها اشاره می‌شود [۵ و ۷]:

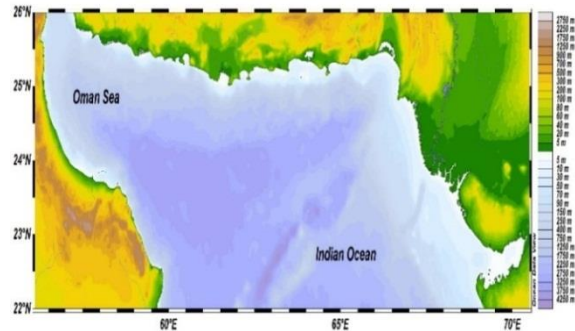
۱. داده‌های شوری و دما: داده‌های شوری و دما از منابع مختلف مانند سنجش‌های از دور، تجزیه و تحلیل نمونه‌های آب و داده‌های ماهواره‌ای جمع‌آوری می‌شوند. این داده‌ها به‌عنوان عوامل کلیدی در مدل‌سازی استفاده می‌شوند.
  ۲. الگوریتم‌ها و مدل‌های ریاضی: برای تحلیل داده‌ها و پیش‌بینی تغییرات جبهه‌های آب، الگوریتم‌ها و مدل‌های ریاضی به کار می‌روند. این الگوریتم‌ها و مدل‌ها بر اساس قوانین فیزیکی و زمین‌شناسی، الگوهای جبهه‌زنی آب را شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌کنند.
  ۳. سامانه‌های هشداردهنده: برای اطلاع‌رسانی به مسئولان محلی و تصمیم‌گیران در خصوص جابه‌جایی جبهه‌های آب، سامانه‌های هشداردهنده استفاده می‌شود. این سامانه‌ها با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده و مدل‌سازی، هشدارهای زود هنگام را ارائه می‌دهند.
  ۴. نرم‌افزارهای مدل‌سازی: برای پیاده‌سازی مدل‌سازی جبهه‌های آب، نرم‌افزارهای خاصی وجود دارد که به تحلیل داده‌ها، اجرای الگوریتم‌ها و پیش‌بینی الگوهای جبهه‌های آب کمک می‌کنند.
- با استفاده از این مواد و روش‌ها، مدل‌سازی جبهه‌های آب در سواحل مکران و شمال اقیانوس هند امکان شناسایی الگوهای جغرافیایی و زمانی جابه‌جایی جبهه‌ها را فراهم می‌کند [۸ و ۹].
- منطقه مورد مطالعه برای شکل‌گیری جبهه‌های آب در شکل ۱ نشان داده شده است، حوضه اقیانوسی انتخابی اقیانوسی برای مدل‌سازی گسترده از این محدوده انتخاب شده تا خط‌های مربوط به شرایط مرزی به حداقل برسد.

مرز جبهه‌ها و هسته‌های آب با دمای متفاوت نیز استخراج شده است.

همچنین نتایج پژوهش حاضر با مقاله عظام و همکاران [۱۱] نیز مقایسه شده است. عظام و همکاران بیشتر به جبهه آب تشکیل شده در غرب دریای مکران تمرکز کرده‌اند که منشأ آن خروجی شورآب خلیج فارس است. نتایج مقایسه نشان می‌دهد مشخصات کلی این جبهه (گستره جبهه و مشخصات فیزیکی آن) در هر دو پژوهش یکسان است اما با توجه به اینکه در پژوهش حاضر، ابعاد شبکه با رزولوشن بالاتری انتخاب شده‌اند؛ همچنین داده‌های ورودی شار گرمای خورشید به صورت روزانه وارد شده نسبت به پژوهش یادشده جزئیات بیشتری را نشان می‌دهد. برای مثال در پژوهش عظام و همکاران تغییرات مشخصات فیزیکی توده آب خروجی خلیج فارس ناچیز بیان شده است اما در این پژوهش شکل و اندازه جبهه‌های دما و شوری در فصل‌های زمستان و تابستان تغییرات قابل ملاحظه‌ای دارند که به اختلاف رژیم آمیختگی قائم ستون آب در منشأ آن (یعنی خلیج فارس) بر می‌گردد. تفاوت مطالعه حاضر با مطالعات بالا، در روش انجام کار، مدل انتخاب شده است و رزولوشن بالاتری نیز نسبت به مطالعات قبلی دارد که به وضوح در خروجی‌های مدل مشخص است. جزئیات روش پژوهش در بخش مواد و روش شرح داده شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور مدل‌سازی جبهه‌های آب در سواحل مکران و شمال اقیانوس هند و امکان شناسایی الگوهای جغرافیایی و زمانی جابه‌جایی جبهه‌ها از مجموعه مدل‌های سه‌بعدی Delft استفاده شده است. این مجموعه شامل دو بسته نرم‌افزاری Delft3D-Flow و Delft3D-FM است. این بسته مدل‌سازی، در کشور ما، نسبت به سایر مدل‌های هیدروفیزیکی و هیدرودینامیکی شناخته شده و کمتر با آن کار شده است. با توجه به قابلیت‌های بالای این مجموعه مدل و به خصوص این ویژگی مهم که امکان ایجاد هر دو شبکه منظم و نامنظم را برای کاربر فراهم می‌سازد، در



شکل ۱. توپوگرافی منطقه مورد مطالعه سواحل مکران و شمال اقیانوس هند

در سال‌های گذشته، در داخل کشور مطالعاتی در زمینه شکل‌گیری و مشخصه‌های جبهه‌های آب در منطقه مورد مطالعه، انجام گرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

یزدانفر و همکاران در سال ۱۳۹۷ با استفاده از مدل MITgcm جبهه‌های آب را در خلیج عمان مدل‌سازی نمودند و برخی مشخصه‌های این جبهه‌ها را استخراج کردند. در این مطالعه فقط جبهه‌های سطحی مورد مطالعه قرار گرفت [۱۰]. عظام و همکاران در سال ۲۰۱۰، با استفاده از مدل POM، جبهه خروجی آب خلیج فارس را مدل‌سازی کردند [۱۱]. اکبری نسب و همکاران [۱۲] و کارمی و همکاران [۱۳]، در پژوهش‌های جداگانه به آشکارش جبهه‌های آب در خلیج فارس و خلیج عمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج به دست آمده با پژوهش‌های سنجش‌ازدور نیز مقایسه شد، نتایج اکبری‌نسب و همکاران [۱۲] که تطبیق خوبی در نتایج در جبهه‌های سطحی مشاهده شد، اما چون پژوهش‌های سنجش‌ازدور متکی به تصاویر ماهواره‌ای هستند، فقط به جبهه‌های سطحی محدود شده‌اند و مقایسه جبهه‌های عمیق‌تر با نتایج این پژوهش‌ها امکان‌پذیر نیست. گستره این جبهه در فصل سرد سال در عمق‌های حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر تقریباً کل ناحیه غرب خلیج عمان را پوشش می‌دهد اما در فصل گرم سال، بیشتر در لایه سطحی دریا گسترده شده است و هرچه به سمت عمق پیش رویم جبهه به سمت سواحل جنوب غرب محدود می‌شود که از لحاظ کیفی با نتایج یزدان‌فر و همکاران [۱۰] تطبیق خوبی دارد اما در مطالعه حاضر، با توجه به نوع مدل، نوع شبکه طراحی شده و روش حل انتخاب شده نتایج با قدرت تفکیک بالاتری نمایش داده شده‌اند، به طوری که برخی جزئیات مانند شکل

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega P - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (P_a) = 0 \quad (3)$$

که  $h(x, y, t)$  عمق آب به متر،  $d(x, y, t)$  عمق متغیر در زمان آب به متر،  $\zeta(x, y, t)$  تغییرات سطح آب به متر،  $p, q(x, y, t)$  فلاکس‌های جریان در راستای  $x$  و  $y$  به مترمربع بر زمان،  $C(x, y)$  تابع زبری شزی نیر به معکوس مجذور متر بر زمان،  $g$  شتاب گرانش به متر بر مجذور زمان،  $f(V)$  ضریب اصطکاک باد،  $V, V_x, V_y(x, y, t)$  سرعت باد در راستای  $x$  و  $y$  به متر بر زمان،  $\Omega(x, y)$  ضریب کورلیوس به معکوس زمان (وابسته به ارتفاع جغرافیایی)،  $P_a(x, y, t)$  فشار اتمسفر برحسب کیلوگرم بر متر بر مجذور زمان، فشار مؤلفه‌های مؤثر تنش برشی هستند [۱۵].

### تنظیمات مدل

تفاوت عمده بین دو ماژول مدل Flow و FM در ویژگی مش‌بندی و حل معادله‌ها در این مش‌بندی‌هاست. به طوری که مدل Flow توانایی حل مش‌های مربعی را داشته درحالی که در مدل FM می‌توان از مش‌های بدون ساختار استفاده نمود و بهتر مناطق ساحلی را از دریا و اقیانوس جدا کرد. بنابراین برای مش‌بندی منطقه مورد مطالعه برای هر یک از مدل‌ها روش‌های مختلفی استفاده شده است. برای مش‌بندی منطقه مورد مطالعه از دو روش مش‌بندی مستطیلی و مش‌بندی بدون ساختار می‌توان استفاده کرد. در روش مش‌بندی بدون ساختار از المان‌های مثلثی عمود بر هم<sup>۴</sup> استفاده شده است و با توجه به رزولوشن‌های موجود با استفاده از داده‌های جهانی با دقت ۱۰ متر در مناطق ساحلی و با دقت ۹۰۰ متر در پستی بلندی‌های بستر<sup>۵</sup> منطقه مورد مطالعه به مش‌بندی و استخراج داده‌های المان‌ها در فرمت 14 و nc. به دو زبان مش‌نویسی می‌پردازیم. بنابراین این مراحل را به ترتیب به شکل‌های زیر و مراحل انتخاب در هر شکل توضیح داده می‌شود [۱۶].

این پژوهش برای مدل‌سازی جبهه‌های هیدروفیزیکی آب مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه، جزئیات مربوط به مدل‌سازی با این مجموعه مدل تشریح شده است. مدل‌های Delft3D-Flow و Delft3D-FM از معادله‌ها و روابط فیزیکی-ریاضی متعددی برای مدل‌سازی فراسنج‌های هیدروفیزیکی دریاها استفاده می‌کنند. این روش‌های متعدد از یک روش جامع به‌عنوان معادله‌های حاکم بر سیالات که معروف به معادله‌های بقای جرم، مومنتوم و انرژی است، ساده‌سازی و نتیجه‌گیری می‌شود.

جامع‌ترین رابطه موجود از این روابط، رابطه ناویر-استوکس<sup>۱</sup> است. این رابطه پارامترهای متعددی داشته و نتایج موجود برای مدل‌سازی دریاها در منابع با استفاده از این روابط به دست می‌آیند. در ادامه روابط ناویر-استوکس که برای تمامی مدل‌سازی‌ها در این حوضه مطالعاتی استفاده می‌شود، ارائه شده است. از آنجاکه نتایج این قسمت تنها بررسی و ارزیابی شده است و به‌عنوان ورودی مدل‌سازی استفاده می‌شوند، به‌عنوان توضیح اولیه آورده شده و برای توضیحات تکمیلی به منابع مورد استفاده ارجاع می‌شود [۱۴]. معادله‌های حاکم بر جریان در دریاها به معادلات هیدرودینامیک<sup>۲</sup> معروف هستند. این معادله‌های جریان‌های غیرایستا<sup>۳</sup> را در هر لایه به شکلی که جریان در جهت عمودی پیوسته باشد فرمول‌بندی می‌کنند. این معادله‌ها به سه معادله بقای جرم، بقای مومنتوم و بقای انرژی تقسیم‌بندی می‌شوند که در رابطه‌های زیر، ارائه شده‌اند.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (1)$$

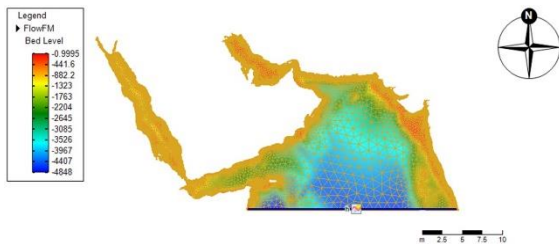
$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \quad (2)$$

عمودپذیری<sup>۷</sup> است پیروی کنند و در نهایت slp که برای در نظر گرفتن شیب بستر با استفاده از داده‌های تراز ارتفاع بستر به دست می‌آید معرفی می‌شود. در این تحقیق شیب‌های بیش از ۱۰ درصد در نظر گرفته است. در ادامه با اجرای این کد داده نهایی به شکل یک فایل با فرمت و نام Mesh.14 در پوشه اولیه مدل شبکه مدل ارائه می‌شود.

**گام چهارم:** سپس با استفاده از ابزارهای ارائه‌شده از شرکت Delft3D، فایل Mesh.14 ارائه‌شده را به شبکه مدل مورد استفاده در این نرم‌افزار تبدیل می‌کنیم که در قالب نهایی net.nc است. برای به‌کارگیری کدهای شرکت Deltares می‌بایست ابتدا فایل oesettings.m در قسمت command window متلب اجرا شود تا بتوان از تمامی ویژگی‌های نرم‌افزار به‌طور کامل استفاده کرد.

**گام پنجم:** سپس با اجرای این کد و مسیریابی فایل تولیدشده مانند شکل زیر فایل موردنظر به فرمت نرم‌افزار Delft3D-FM تبدیل می‌شود.

**گام ششم:** در نهایت شکل شبکه مدل منطقه مورد مطالعه به شکل زیر تولید می‌شود.



شکل ۲. مش‌بندی منطقه مورد مطالعه با داده‌های تراز بستر و داده‌های مرزی در پایین منطقه مطالعاتی

لازم به توضیح است که کد نوشته‌شده برای ایجاد شبکه مدل، داده‌های بستر را نیز به همراه داشته و نیاز به مرحله‌ای اضافی برای افزودن این داده‌ها به مدل نیست.

### آماده‌سازی شرایط اولیه و مرزی

در این قسمت به آماده‌سازی شرایط اولیه از قبیل دما، شوری و داده‌های جزر و مدی در مرزهای منطقه مورد مطالعه می‌پردازیم. برای این کار ابتدا باید مرز منطقه مطالعاتی را در نرم‌افزار Delft3D-FM مشخص کرده و فایل‌های اولیه برای

این روش با استفاده از سورس کدهای روش‌های به‌روز جهانی در نرم‌افزار متلب به مش بندی منطقه مورد مطالعه می‌پردازد. این سورس کدها از دو منبع مختلف شامل سورس کدهای شرکت Deltares که برای نرم‌افزار Delft3D ارائه شده است و دیگری از مقاله‌های معتبر در روش‌های مش‌بندی استفاده شده تا درحالی‌که کاربری آسان باشد از جدیدترین روش‌های روز استفاده شود. از این‌رو با استفاده از نرم‌افزار متلب و سورس کد معتبر OceanMesh2D به مش‌بندی منطقه مورد مطالعه می‌پردازیم. ابتدا باید این سورس کدها دانلود شده و به ترتیب قدم‌های زیر استفاده شود.

### گام اول: استخراج کدهای مدل<sup>۶</sup>

کدهای مورد نیاز برای تنظیم چیدمانی تنظیمات مدل در سپتامبر ۲۰۲۲ استخراج شده است. لازم به یادآوری است موارد استخراج‌شده در زمان شروع فرایند مدل‌سازی، بروزترین نسخه موجود بوده است [۱۷].

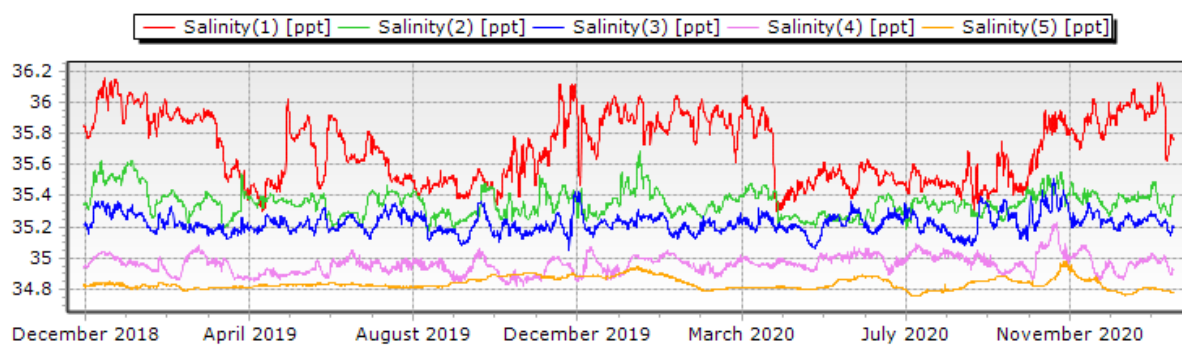
**گام دوم:** استفاده از نرم‌افزار متلب در مسیر سورس کد در قدم قبل.

**گام سوم:** انتخاب موارد توضیح داده شده:

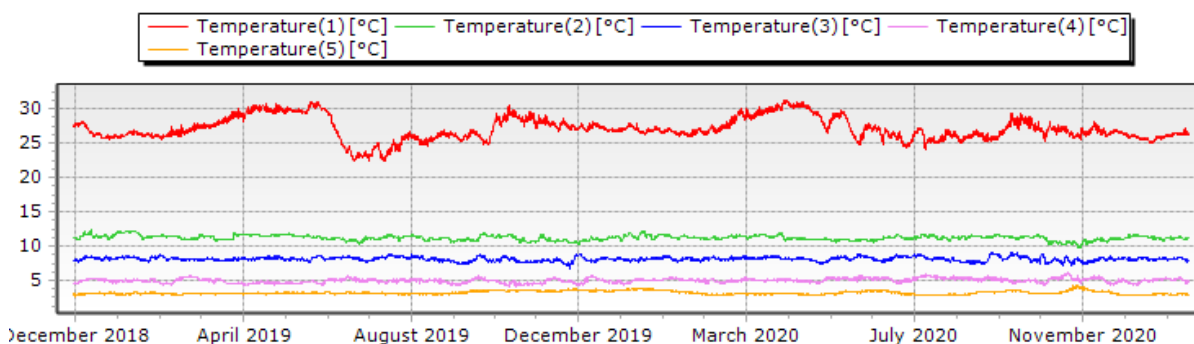
در خطوط اولیه مسیرهای مدل بازنشانی شده، سپس منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود. در قسمت min\_el کوچک‌ترین طول مش، در قسمت max\_el بزرگ‌ترین طول مش، در قسمت max\_el\_ns بزرگ‌ترین طول مش در سواحل، در قسمت wl تعداد المان‌ها برای حل مشکل موج M2 در منطقه مورد مطالعه که به‌صورت پیش‌فرض بهترین حالت در مقاله‌های حداکثر برابر ۱۰ انتخاب می‌شود، در قسمت dt مشخص کردن بیشینه زمان مدل‌سازی برای پایداری مدل، در قسمت grade دقت شبکه مدل بر اساس نسبت که هر چه به ۰/۱ نزدیک‌تر باشد، بهتر است ولی در مدل مورد اشاره بر اساس مقاله‌های دیگر به دلیل بزرگ بودن منطقه مورد مطالعه برابر ۰/۲ انتخاب شده است. در قسمت R تعداد المان‌هایی که ویژگی‌های شبکه مدل را رعایت کنند معرفی می‌شود که در تحقیق حاضر برابر ۱- انتخاب شده است به این معنی که تمامی اجزای شبکه مدل باید از این ویژگی‌های که شامل

pli را در خطوط موردنظر به کد ارائه کرده و از قبل داده‌های دما و شوری برای منطقه موردنظر و زمان موردنظر را به فرمت NetCDF به کد بازنشانی کرد. سپس با تعیین تعداد لایه‌ها این کد داده‌های مرزی شوری و دما را به فرمت bc که برای ورود به نرم‌افزار Delft3D-FM نوشته شده است ارائه می‌دهد. مدل یادشده داده‌های مدل Hycom در فرمت NetCDF را به فرمت نرم‌افزار Delft3D-FM تبدیل می‌کند. در نهایت داده‌های مرزی دما و شوری برای اعمال به مدل به شکل نمودارهای (۳) و (۴) آماده خواهد شد. این دو شکل به ترتیب، نمونه‌ای از سری زمانی داده‌های شوری و دمای اعمال شده به مدل را در یکی از نقاط مرز مدل‌سازی در حوزه اقیانوس هند را نشان می‌دهند.

تعریف دما و شوری و داده‌های جزر و مد آماده شوند. پس از ایجاد فایل pli و ذخیره‌سازی فایل می‌توان داده‌های شرایط مرزی را به مدل اضافه کرد. برای آماده‌سازی داده‌های مرزی شوری و دما نیاز به نوشتن کد برنامه‌نویسی است. به‌عنوان مثال، کدی برای اعمال داده‌های دما و شوری به مدل دلفت تدوین شده است به این ترتیب که این کد برای هر دو مدل Delft3D-Flow و Delft3D-FM قابل استفاده است. در اینجا برای مدل نهایی Delft3D-FM ارائه شده است. برای این کار از نرم‌افزار jupyter lab برای اجرای کد استفاده شده است که می‌توان روی هر پایتون و سیستم‌عاملی آن را نصب و اجرا کرد. برای اجرای کد از فایل Salinity\_Temp.ipynb که در قسمت ذخیره فایل در قسمت codes ارائه شده استفاده می‌شود. در این کد می‌بایست فایل



شکل ۳. نمونه‌ای از سری زمانی داده‌های شوری اعمال شده در یکی از نقاط مرز مدل‌سازی



شکل ۴. نمونه‌ای از سری زمانی داده‌های دما در یکی از نقاط مرز مدل‌سازی

بارگذاری نمود و پیش از آماده‌سازی خودکار به فرمت قابل قبول مدل، به مدل اعمال نمود. بنابراین با استفاده از این ماژول آماده شده، می‌توان داده‌های جوی را به صورت فرمت‌های استاندارد به مدل ارائه کرد تا از خطاهای احتمالی کاسته و از روش‌های به‌روز برای مدل‌سازی بهره برد. با استفاده از گام‌های زیر می‌توان به ترتیب داده‌های هواشناسی

برای تهیه داده‌های هواشناسی و داده‌های اولیه مشخصه‌های هیدروفیزیکی دما و شوری، می‌توان این داده‌ها را از پایگاه‌های داده معتبر که نمونه‌هایی از آن‌ها در فصل قبل معرفی شد دانلود نمود. این داده‌ها را می‌توان به روش دستی با ورود به سایت‌های مربوطه دانلود نمود یا اینکه بهتر است با تدوین کدهای برنامه‌نویسی به صورت مستقیم از سایت

محور افقی شماره ماه و اعداد محور قائم شوری برحسب (psu)



شکل ۶. میانگین تغییرات ماهانه شوری در دو سال آخر اجرای مدل (اعداد محور افقی شماره ماه و اعداد محور قائم دما برحسب c)

حال مدل نهایی آماده شده و برای مدل‌سازی نهایی ماژول‌های موردنظر و محدوده زمانی مورد مطالعه تعیین شده و در نهایت اجرا می‌شود [۱۸]. این مراحل را به طور خلاصه می‌توان به صورت زیر فهرست نمود:

- تعیین محدوده زمانی مورد مطالعه و داده‌های زمان اولیه و پایانی و عدد CFL و بیشینه زمان محاسباتی؛
- انتخاب ماژول‌های جزر و مدی، شوری، موج و دما؛
- داده‌های شروع اولیه مدل‌سازی؛
- روش‌های مورد استفاده در مدل‌سازی بستر و ویژگی‌های مدل‌سازی برای آب؛
- ماژول‌های مشخصات باد؛
- ماژول‌های پارامتری محاسباتی؛
- ویژگی‌های خروجی و داده‌های خروجی موردنظر شامل داده‌های ارتفاع آب، سرعت آب، شوری و دما؛
- تعیین ویژگی‌های پیشرفته مدل‌سازی (شامل انتخاب روش‌های حل معادله‌ها)؛
- ویژگی‌های متفرقه مدل‌سازی شامل نحوه حل بین روش‌های مستقیم<sup>۸</sup> و ضمنی<sup>۹</sup> و نوع مدل توربالانس<sup>۱۰</sup>؛
- اجرای اولیه مدل؛
- اجرای نهایی مدل.

### اعتبارسنجی مدل

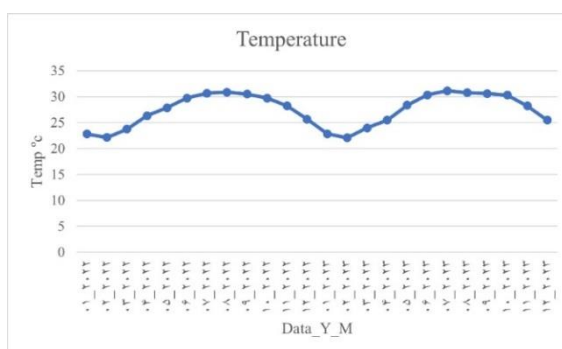
به منظور بررسی صحت نتایج مدل داده‌های خروجی مدل با داده‌های موجود در پایگاه داده‌های هایکام مقایسه شد. نتایج این مقایسه که در نقاط مختلف حوزه مورد مطالعه بررسی شد

را به دست آورد. برای تبدیل داده‌های داندلود شده در قسمت قبل به فرمت قابل قبول مدل دلفت از برنامه‌نویسی در محیط پایتون استفاده شده است. فایل‌های آماده شده دارای فرمت .nc خواهند بود.

مدل Delft3D-FM توانایی مدل‌سازی با استفاده از روش‌های متعدد محاسباتی و حل عددی دارد. بنابراین با توجه به پیچیدگی مسئله و پارامترهای مورد نیاز مدل‌سازی در شکل‌های زیر به ترتیب مسیر انتخاب و نحوه انتخاب ویژگی‌های موردنظر در تحقیق حاضر به طور کامل به همراه مراحل ساخت و بارگذاری داده‌های ساخته شده در قدم‌های قبل ارائه شده است. پس با استفاده از مراحل قبلی، داده‌های مورد نیاز برای ایجاد یک مدل جدید آماده می‌شود. ابتدا به ترتیب نرم‌افزار Delft3D-FM را باز کرده و مسیر داده‌ها را به مدل ارائه داده، سپس شبکه ساخته شده به مدل بازنشانی (import) می‌شود [۱۸].

### بررسی پایداری مدل

برای بررسی وضعیت پایداری مدل، باید میانگین ماهانه دما و شوری دو سال آخر اجرای مدل در یک یا چند نقطه از منطقه مدل‌سازی بررسی شود و نمودار دوسالانه این پارامترها رسم شود. به علت تبادل سریع شارهای گرمایی بین هوا و دریا، پایداری دمایی خیلی سریع اتفاق می‌افتد، درحالی که پایداری شوری مستلزم گردش کامل آب ورودی به حوضه و به تعادل رسیدن میزان ورودی‌ها و خروجی‌های حوضه است. شکل‌های ۵ و ۶، به ترتیب میانگین دما و شوری را در دو سال آخر اجرای مدل نشان می‌دهند. همان‌طور که از این شکل‌ها مشخص است این دو فراسنج به پایداری رسیده‌اند.

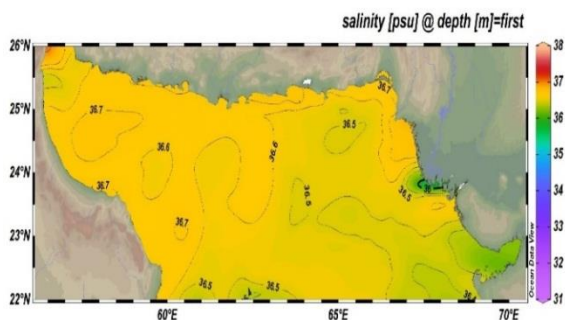


شکل ۵. میانگین تغییرات ماهانه دما در دو سال آخر اجرای مدل (اعداد

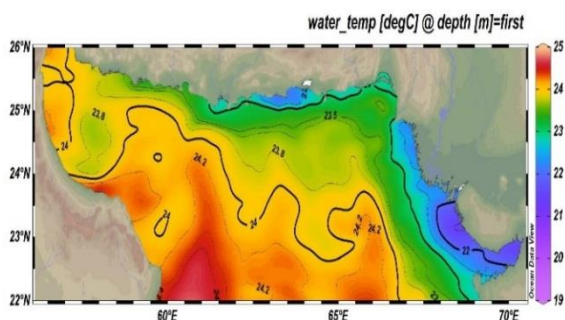
## ۳. یافته‌ها

با استخراج داده‌ها، نمایه دما برحسب عمق و نمایه شوری نسبت به عمق در منطقه مورد مطالعه را رسم نموده‌ایم. شوری و دما در اقیانوس هند شمالی و سواحل مکران ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلف قرار گیرد. این شامل جریانات آب شور و شیرین، تبخیر و ترسیب، بارش و دماست. همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، در این پژوهش برای تحلیل و بررسی نمایه شوری و دما در اقیانوس هند شمالی و سواحل مکران، از مدل‌سازی عددی با استفاده از بسته مدل‌سازی دلفت استفاده شد. با توجه به وسعت و پیچیدگی اقیانوس هند شمالی، نمایه دما در این منطقه ممکن است متنوع باشد. در طول سال، دما در اقیانوس هند شمالی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند تأثیر موسم بارش‌های مونسون، جریانات دریایی و اقلیم منطقه قرار می‌گیرد. برای بررسی نمایه دما در این منطقه، این داده‌ها، به صورت نقشه‌ها و نمودارها، نمایه دما را در طول زمان و عمق نشان می‌دهند [۱۹ و ۲۰].

## فصل سرد سال

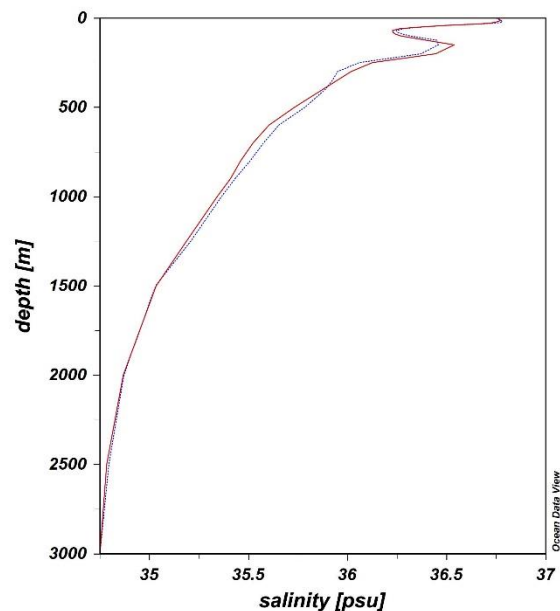


شکل ۹. شوری در فصل زمستان در عمق ۱۵ متری

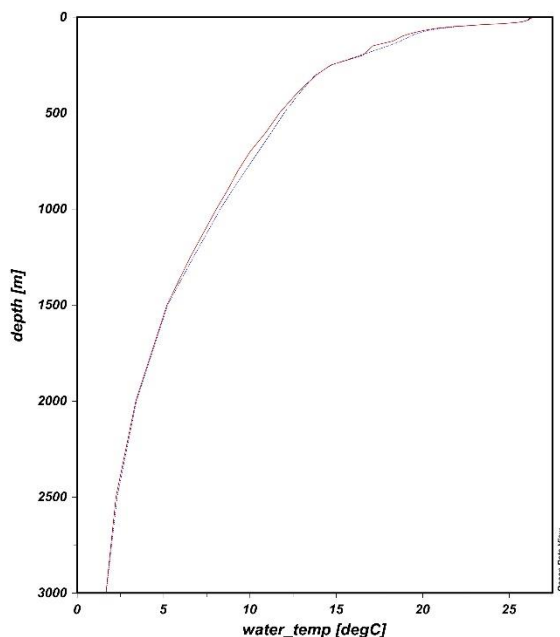


شکل ۱۰. دما در فصل زمستان در عمق ۱۵ متری

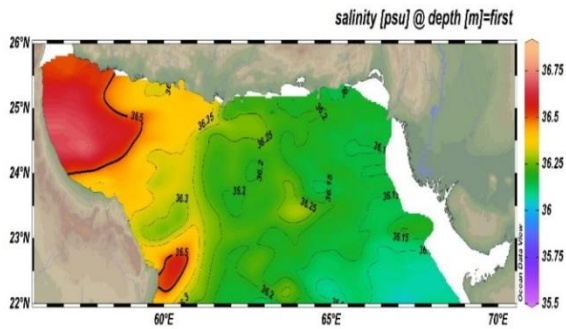
نشان می‌دهد تطبیق بسیار خوبی بین این دو داده وجود دارد و بیشینه خطا که مربوط به لایه سطحی است کمتر از ۴ درصد است. برای نمونه دو مورد از مقایسه پروفایل‌های شوری و دما در نقطه‌ای به مختصات ۲۴ درجه شمالی و ۶۰ درجه شرقی به ترتیب در شکل‌های زیر آورده شده است.



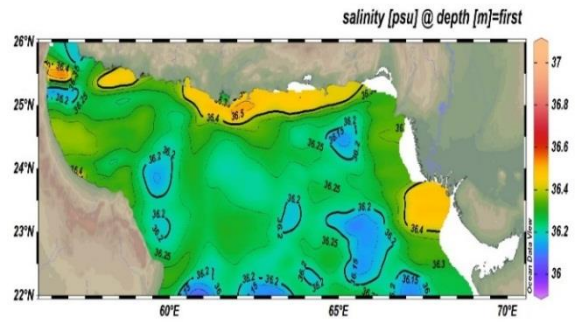
شکل ۷. مقایسه پروفایل شوری حاصل از مدل‌سازی (خط پیوسته) با پایگاه داده (خط چین)



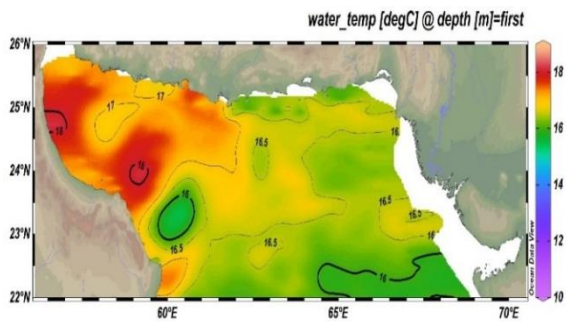
شکل ۸. مقایسه پروفایل دما حاصل از مدل‌سازی (خط پیوسته) با پایگاه داده (خط چین)



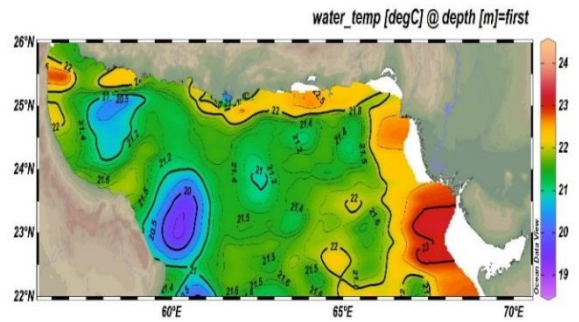
شکل ۱۵. شوری در فصل زمستان در عمق ۳۰۰ متری



شکل ۱۱. شوری در فصل زمستان در عمق ۱۲۵ متری

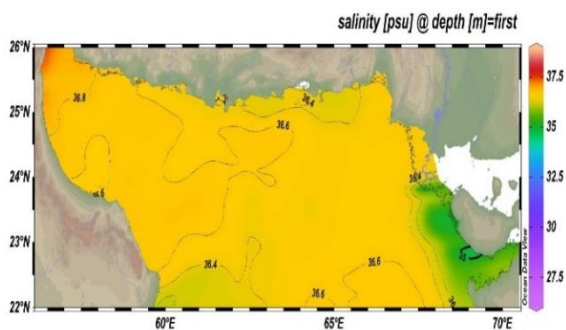


شکل ۱۶. دما در فصل زمستان در عمق ۳۰۰ متری

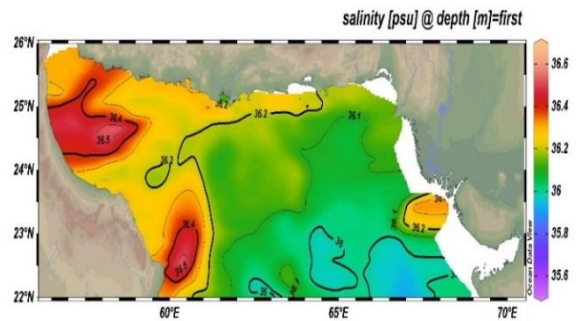


شکل ۱۲. دما در فصل زمستان در عمق ۱۲۵ متری

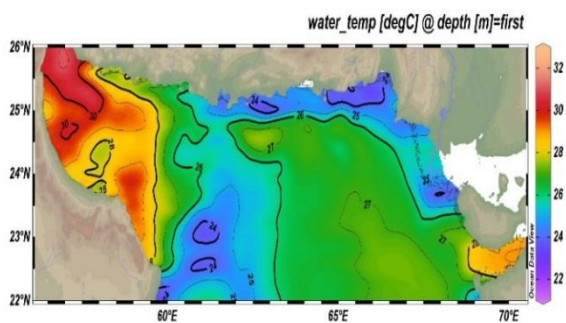
### فصل گرم سال



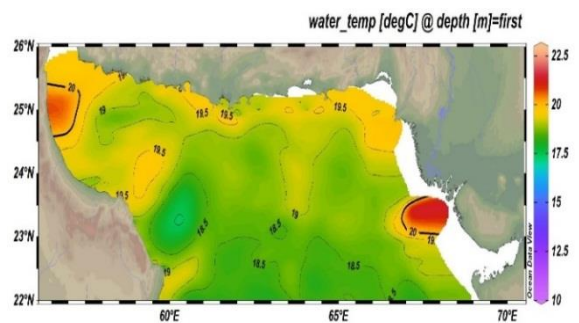
شکل ۱۷. شوری در فصل تابستان در عمق ۱۵ متری



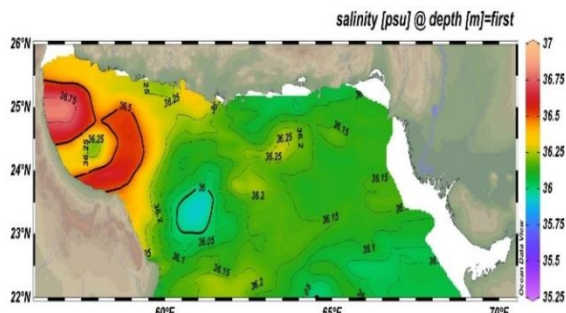
شکل ۱۳. شوری در فصل زمستان در عمق ۲۰۰ متری



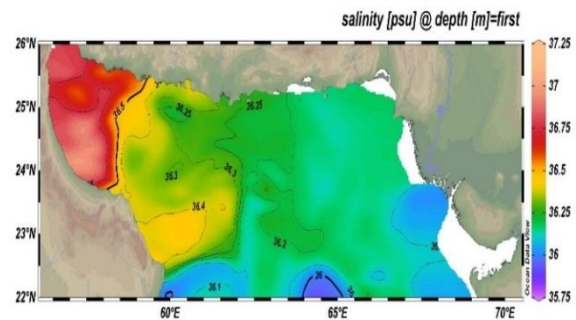
شکل ۱۸. دما در فصل تابستان در عمق ۱۵ متری



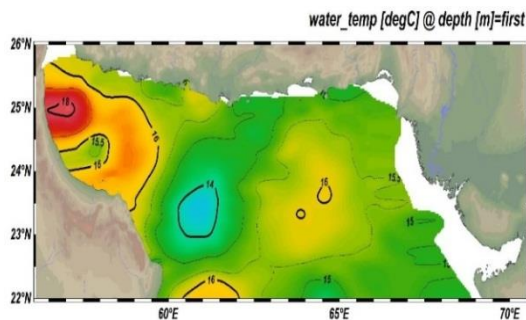
شکل ۱۴. دما در فصل زمستان در عمق ۲۰۰ متری



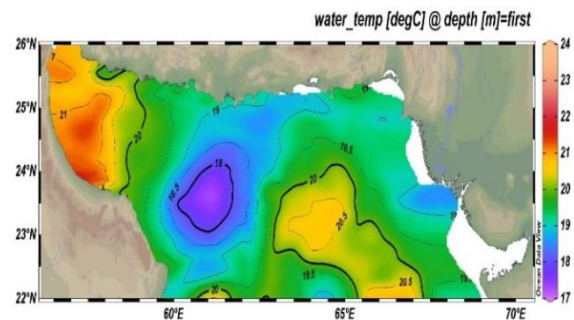
شکل ۲۳. شوری در فصل تابستان در عمق ۳۰۰ متری



شکل ۱۹. شوری در فصل تابستان در عمق ۱۲۵ متری

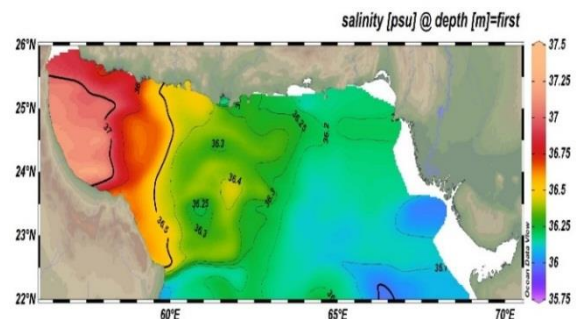


شکل ۲۴. دما در فصل تابستان در عمق ۳۰۰ متری

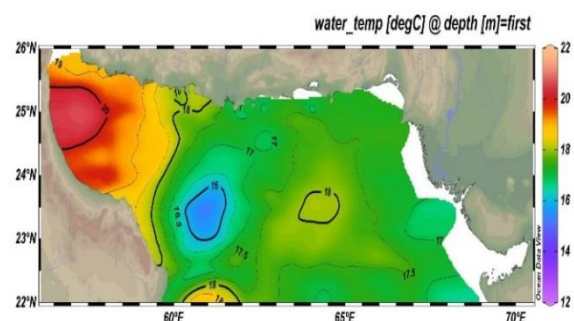


شکل ۲۰. دما در فصل تابستان در عمق ۱۲۵ متری

آب و هوای اقیانوس هند و سرزمین‌های اطراف آن از دمای سطح آب و جریان‌های آبی، اثر می‌پذیرد. دمای سطح آب اقیانوس هند می‌تواند تأثیر زیادی بر هوا و اقلیم مناطق اطراف داشته باشد. به طور مثال، در صورتی که دمای سطح آب اقیانوس هند بالا باشد، می‌تواند باعث تشکیل بارش‌های فصلی مونسون در مناطق مجاور شود. همچنین، جریان‌های آبی در اقیانوس هند نقش مهمی در انتقال گرما و رطوبت در مناطق اطراف اقیانوس دارند. به عنوان مثال، جریان خلیج بنگال که به سمت شمال شرق هند و بنگلادش جریان دارد، گرما و رطوبت را به مناطق ساحلی این مناطق منتقل می‌کند و تأثیر قابل توجهی بر آب و هوای این مناطق دارد؛ بنابراین، دمای سطح آب و جریان‌های آبی در اقیانوس هند می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر آب و هوای مناطق اطراف داشته باشند [۲۳-۲۲]. این ارتباط پیچیده بین عوامل مختلف را معمولاً به وسیله مدل‌سازی و بررسی داده‌های جغرافیایی و جوی مورد بررسی قرار می‌دهند. شوری آب در زمستان کمتر است که به دلیل عوامل مختلفی است که در این فصل تأثیر می‌گذارد. در زمستان، در برخی مناطق، بارش برف و یخبندان به صورت جامد و بدون شوری به زمین می‌ریزد. زمانی که این بارش‌ها ذوب شده و به شکل آبی به دریا و رودخانه‌ها می‌پیوندند،



شکل ۲۱. شوری در فصل تابستان در عمق ۲۰۰ متری



شکل ۲۲. دما در فصل تابستان در عمق ۲۰۰ متری

مهمی در شوری آب داشته باشند. در صورتی که جریان‌های آبی با شوری بالا به منطقه منتقل شوند، ممکن است شوری آب افزایش یابد. به‌عنوان مثال، جریان‌های شور از خلیج فارس به اقیانوس هند تأثیر مستقیم در شوری آب دارد. در نتیجه، تحلیل نمایه دما و شوری در اقیانوس هند شمالی می‌تواند ما را به درک بهتر از تأثیرات همبستگی بین این دو عامل بر آب‌وهوا و اقلیم در منطقه برساند.

نتایج این مطالعه، شکل‌گیری چند جبهه مهم را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. یکی از این جبهه‌ها در امتداد سواحل مکران شکل می‌گیرد و محدود به لایه سطحی آب دریا می‌شود. جبهه دیگر در غرب دریای عمان واقع شده است و می‌تواند به دلیل خروج آب گرم و شور خلیج فارس به خلیج عمان باشد. گستره این جبهه در فصل سرد سال در عمق‌های حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر تقریباً کل ناحیه غرب خلیج عمان را پوشش می‌دهد، اما در فصل گرم سال، بیشتر در لایه سطحی دریا گسترده شده و هرچه به سمت عمق پیش‌روی جبهه به سمت سواحل جنوب غرب محدود می‌شود که از لحاظ کیفی با نتایج یزدان‌فر و همکاران [۱۰] تطبیق خوبی دارد، اما در مطالعه حاضر، با توجه به نوع مدل، نوع شبکه طراحی شده و روش حل انتخاب شده نتایج با قدرت تفکیک بالاتری نمایش داده شده‌اند؛ به طوری که برخی جزئیات مانند شکل مرز جبهه‌ها و هسته‌های آب با دمای متفاوت نیز استخراج شده است. همچنین نتایج پژوهش حاضر با کار عظام و همکاران [۱۱] نیز مقایسه شده است. عظام و همکاران بیشتر به جبهه آب تشکیل شده در غرب دریای مکران تمرکز کرده‌اند که منشأ آن خروجی شور آب خلیج فارس است. نتایج مقایسه نشان می‌دهد مشخصات کلی این جبهه (گستره جبهه و مشخصات فیزیکی آن) در هر دو پژوهش یکسان است اما با توجه به اینکه در پژوهش حاضر، ابعاد شبکه با رزولوشن بالاتری انتخاب شده‌اند و داده‌های ورودی شار گرمای خورشید به صورت روزانه وارد شده نسبت به پژوهش یادشده جزئیات بیشتری را نشان می‌دهد برای مثال در پژوهش عظام و همکاران تغییرات مشخصات فیزیکی توده آب خروجی خلیج فارس ناچیز ذکر شده است، اما در این

شوری آب کمتر می‌شود. علاوه بر این، در فصل زمستان، دما پایین‌تر است که باعث کاهش تبخیر و تبخیرات آب شور می‌شود. همچنین، در برخی مناطق، در فصل زمستان با جریان‌های آبی سردتر و خنک‌تر، جرم‌های آب شیرین در اقیانوس تغییر می‌کنند و شوری آب کمتر می‌شود [۲۴].

نتایج به دست آمده از این پژوهش با سایر پژوهش‌های شاخص دیگری که در این حوضه آبی انجام شده است مقایسه شده است. برای مثال شکل جبهه‌های آب استخراج شده در این پژوهش از لحاظ کیفی با نتایج یزدان‌فر و همکاران که با استفاده از مدل MITgcm اجرا شده است تطبیق خوبی دارد اما در مطالعه حاضر، با توجه به نوع مدل، نوع شبکه طراحی شده و روش حل انتخاب شده نتایج با قدرت تفکیک بالاتری نمایش داده شده‌اند؛ به طوری که برخی جزئیات مانند شکل مرز جبهه‌ها و هسته‌های آب با دمای متفاوت نیز استخراج شده است. نتایج به دست آمده با پژوهش‌های سنجش‌ازدور نیز مقایسه شد (برای مثال اکبری نسب و همکاران [۱۲]) که تطبیق خوبی در نتایج در جبهه‌های سطحی مشاهده شد اما چون پژوهش‌های سنجش‌ازدور متکی به تصاویر ماهواره‌ای هستند، فقط به جبهه‌های سطحی محدود شده‌اند و مقایسه جبهه‌های عمیق‌تر با نتایج این پژوهش‌ها امکان‌پذیر نیست.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش نمایه‌های دما و شوری، آب‌وهوای اقیانوس هند و سرزمین‌های اطراف آن تحت تأثیر دمای سطح آب و جریان‌های آبی قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد. دمای سطح آب اقیانوس هند و جوانبی مانند جریان خلیج بنگال تأثیر مهمی در آب‌وهوای مناطق مجاور دارند. بین نمایه دما و شوری در اقیانوس هند شمالی ارتباط مستقیم وجود دارد. اغلب در مناطقی که دمای سطح آب بالاست، شوری آب نیز بالا خواهد بود. این به دلیل تبخیر بیشتر در مناطق گرم و تر و ترسیب کمتر آب شیرین است. به‌عنوان مثال، در نواحی نزدیک استوا که دمای سطح آب بسیار بالاست، شوری آب نیز بسیار بالاست. همچنین، جریان‌های آبی می‌توانند نقش

- Offshore And Environmental Engineering (ijcoe). 2020 Oct 1;5(3):15-21.  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.25382667.2020.5.3.2.1>
- [6] Bavarsad NH, Mansouri V, Khalilabadi MR. Rmonitoring atmospheric low pressures and their effect on the water level of the Caspian Sea. *Hydrophysics Journal*. 2016; 3:51-65.  
[https://www.hydrophysics.ir/article\\_31961.html](https://www.hydrophysics.ir/article_31961.html)
- [7] Khalilabadi MR. 2D modeling of wave propagation in shallow water by the method of characteristics. *Archives of Acoustics*. 2022;47.
- [8] Khalilabadi M, Shahmirzaei H, Daneshmehr S. Underwater acoustic modeling in the Gulf of Oman. *Journal of Acoustical Engineering Society of Iran*. 2023;10(2):21-34.  
<http://joasi.ir/article-1-252-fa.html>
- [9] Peimani M, Kharestani N, Khalilabadi MR. Simulation of the effect of the holey-sock drogue on the drifter performance. *Journal of Oceanography*. 2022Jul15;13(50):107-16.  
<http://joc.inio.ac.ir/article-1-1668-en.html>
- [10] Yazdanfar S, Amir Ashtari Larki A, Akbarinasab M, Delbari A. Study of surface fronts in the Oman Sea. *Hydrophysics*. 2018 Aug 23;4(1):19-31.
- [11] Ezam M, Bidokhti AA, Javid AH. Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea. *Ocean Science*. 2010 Oct 11;6(4):887-900. doi:10.5194/os-6-887-2010
- [12] Akbarinasab, M., Karami, H., Safarad, T. Detection coastal fronts in Oman and persian gulf with canny algorithm. *Journal of Marine Science and Technology*. 2018; 17(3): 34-44.  
 doi: 10.22113/jmst.2017.42959
- [13] Akbarinasab, M., Karami, H., Safarad, T. Detection coastal fronts in Oman and persian gulf with canny algorithm. *Journal of Marine Science and Technology*. 2018; 17(3): 34-44.  
 doi: 10.22113/jmst.2017.42959
- [14] Zereskian S, Mansoury D. A study on the feasibility of using solar radiation energy and ocean thermal energy conversion to supply electricity for offshore oil and gas fields in the Caspian Sea. *Renewable Energy*. 2021 Jan 1; 163:66-77.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.111>
- [15] Khalilabadi MR, Shahmirzaei H, Daneshmehr S. Propagation of ultrasonic radiation in the presence of seabed topography in the North Indian Ocean. *Journal of Oceanography*. 2023 Sep 15;14(54):87-99. <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1745-fa.html>
- [16] Khalilabadi MR, Shojaezadeh SA, Dehghani Ashkzari G. Estimation of Flow Velocity Using Entropy Theory and Verification by
- پژوهش شکل و اندازه جبهه‌های دما و شوری در فصل‌های زمستان و تابستان تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای دارند که به اختلاف رژیم آمیختگی قائم ستون آب در منشأ آن (یعنی خلیج فارس) برمی‌گردد. جبهه مهم دیگر در مرز بین اقیانوس هند و دریای عمان قرار گرفته است که در بخش جنوبی و در نزدیکی رأس الحد شدت بیشتری دارد. در بین جبهه‌های آب استخراج شده، جبهه‌ای که در امتداد سواحل مکران شکل گرفته است، بیشترین شدت را در لایه سطحی دارد و سایر جبهه‌ها بیشتر در زیرسطح (عمق بیش از ۱۰۰ متر) اهمیت دارند زیرا در لایه سطحی تحت تأثیر اختلاط و چرخه‌های جریانی که در این منطقه وجود دارد گرادیان افقی کاهش می‌یابد.

### سپاسگزاری

از پژوهشگرانی که در زمینه اکتساب داده‌های موردنیاز برای انجام این پژوهش همکاری نمودند قدردانی می‌شود.

### مراجع

- [1] Derakhshan Alamdarloo P, Khalilabadi M, Dehghani Ashkezari G. Modeling marine currents in the gulf of Oman using the Mike3D model. *Journal of Environmental Science Studies*. 2020 Mar 20;5(1):2404-12.  
<https://civilica.com/doc/811416>
- [2] Khalilabadi MR, Daneshmehr S. Study of sound speed profile and formation of sound channels in deep waters of North Indian Ocean. *Journal of Acoustical Engineering Society of Iran*. 2024;11(2) <http://joasi.ir/article-1-279-fa.html>
- [3] Ghorbani A, Khalilabadi MR. Positioning using classification and regression: Case study of Oman Sea. *International Journal of Coastal, Offshore and Environmental Engineering (ijcoe)*. 2020 Oct 1;5(3):35-41  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.25382667.2020.5.3.4.3>
- [4] Khalilabadi MR, Shahmirzaei H, Daneshmehr S. Propagation of ultrasonic radiation in the presence of seabed topography in the North Indian Ocean. *Journal of Oceanography*. 2023 Sep 15;14(54):87-99.  
<https://civilica.com/doc/886918>
- [5] Khalilabadi MR. Underwater Terrain and Gravity aided inertial navigation based on Kalman filter. *International Journal Of Coastal,*

6. <https://github.com/CHLNDDEV/OceanMesh2D>
7. Orthogonality
8. Explicit
9. Implicit
10. Turbulance

Experimental Flume and Natural Rivers Data. Hydrophysics. 2020 Aug 22;6(1):21-34. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24767131.1399.6.1.3.7>

- [17] Roberts K J. OceanMesh. University of Notre Dame, Feb. 2022. [Online]. Available: <https://github.com/CHLNDDEV/OceanMesh2D>. [Accessed September 2022].
- [18] Mahpeykar O, Khalilabadi MR. Numerical modelling the effect of wind on Water Level and Evaporation Rate in the Persian Gulf. International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering (ijcoe). 2021 Feb 1;6(1):47-53.
- [19] Hatami Bavarsad N, Mansoury D, Khalilabadi MR, Malekilonbar M. The impact of the inlet cyclones to the Caspian Sea on the sea level fluctuations. International Journal of Coastal, Offshore and Environmental Engineering (ijcoe). 2021 Feb 1;6(1):15-28. <https://civilica.com/doc/1172300/>
- [20] Jabarzadeh M, BakhtiariNejad F. Method Ray Tracing for propagating acoustic waves with different sound speed profiles in the sea. in The 9th Nour Marine Industry Conference, Nour. 1386 (15 pages) <https://civilica.com/doc/30997/>
- [21] Nohdani A, Kavandi S, Katb A. Geopolitics of the Indian Ocean and the Cooperation Organization of its Border Countries with an emphasis on the role of the Persian Gulf. In the publication: Political-Economic Information. 2009 ;136–147(12 pages) <http://noo.rs/pLe9r>
- [22] Hosseini SH, Akbarinasab M, Khalilabadi MR. Numerical simulation of the effect internal tide on the propagation sound in the Oman Sea. <https://www.sid.ir/paper/80597/en>
- [23] Shafiee Sarvestani R. Acoustic propagation analysis in the front of saline water mass in the Gulf of Aden. Journal of Oceanography. 2022 Jul 15;13(50):45-58. <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1615-en.html>
- [24] Mollaesmaeilpour S, Mohammad Mahdizadeh M, Hasanzade E, Khalilabadi MR. The study of hydrophysical properties of the northern Arabian Sea during monsoon: A numerical study. Hydrophysics. 2019 Aug 23;5(1):47-59. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24767131.1398.5.1.5.2>

#### پی‌نوشت‌ها

1. Navier-Stoke Equation
2. Hydrodynamic Equations
3. Unsteady
4. Orthogonal
5. Bathymetry