



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Investigation of salinity and temperature of Persian Gulf water by FVCOM Model

Hossein Ramak¹, Maryam Soyuf Jahromi^{2,*}, Parasto Akbari³

1 Department of Nonliving Resources of Atmosphere and Ocean, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2 Department of Nonliving Resources of Atmosphere and Ocean, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3 Department of physics, Education office of Khoozestan Province, Education Ministry, Ahwaz, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2022/05/20

Revised: 2023/03/11

Accepted: 2022/11/19

Keywords:

Persian Gulf

Water mass

Sea Temperature

Salinity

FVCOM

ABSTRACT

Background and Objectives: Identifying shallow water masses is much more complex than deep water; because physical and chemical changes in shallow water occur faster and the properties of the water mass are lost. Since in the absence of air-sea interaction, water masses have different properties, so in this study, due to temperature and salinity conservation, the properties of Persian Gulf water mass are identified. One of the main characteristics of the Persian Gulf is its very shallow depth with an average depth of 35 meters. The maximum depth is located in the Strait of Hormuz with a depth of about 100 meters. The Strait of Hormuz is located in the northwestern part of the Indian Ocean and is the junction of the Persian Gulf with the Sea of Oman.

Methods: In this research, a 3D open source ocean model FVCOM in 20 layers was used to model the water exchange between the Persian Gulf and Sea of Oman (47°E to 59.45°E and 22°N to 32°N) without considering the wind stress on the region, the flow pattern of Persian and Oman Gulfs and the water mass of Persian Gulf in the four seasons of spring, summer, fall and winter should be studied. FVCOM uses the finite volume method to discretize hydrodynamic equations in a triangular grid. Specialized SMS software version 10 was used to generate the computational network. A non-uniform computational network with a horizontal resolution of at least 950 m to 4700 m was used in the model and the bathymetry information was interpolated with 30-second accuracy from the GEBCO-2019 data on this network. Water level fluctuations on open boundaries correspond to the location of the open boundary nodes of the computational network located at 59.45°E, which was extracted from the TMD and entered as the main configuration of the model. Temperatures and salinities profiles of open boundaries from HYCOM model output (freely available) were also used at standard depths. The model was run for 6 years in the absence of air-sea interaction and the role of wind stress, considering the dominant role of density in the outflow of Persian Gulf Water from the Strait of Hormuz. HYCOM and satellite data were used to calibrate and validate the model, respectively.

Findings: The saline waters of the Persian Gulf to the mouth of the Strait of Hormuz are well visible in the surface layers and are not seen in the surface layers from the mouth of the Persian Gulf to the Sea of Oman. In the middle layers of the Oman Sea, there are waters with the characteristics of the waters of the Persian Gulf, which can be concluded that the surface waters that existed in the west of the Strait of Hormuz have been transferred to the lower or middle layers and flowed to the Oman Sea. Considering the temperature and salinity conservation in the water mass, the temperature and salinity of the Persian Gulf in the Strait of Hormuz were studied and the results show that the Persian Gulf water mass (38psu) in the summer season through the south of the Strait of Hormuz as a subsurface flow and in the winter season this water mass penetrates to greater depths and moves further away from the Strait of Hormuz. The Persian Gulf water mass exits through the southern part of the Strait of Hormuz as a subsurface flow. In the summer season, there is a water mass with 37psu salinity in the depth range of 50 to 80 meters and 40 km off the coast of Oman, whose exact position is latitude 25.4°N and longitude is 56.50°E to 56.69°E and in the cold season, it moves away from this area and advances to longitudes greater than 57°E and penetrates to a depth of about 130 to 150 meters and more depths.

Conclusion: Due to the high rate of evaporation in the Persian Gulf, to replace the evaporated waters of the Persian Gulf, it is necessary for water to enter the Persian Gulf from the Strait of Hormuz. The salinity results of summer show this phenomenon well and the water entering the Persian Gulf is diverted to the coast of Iran and the movement of these waters from the coast of Iran to the northwest of the Persian Gulf continues. There are years, but it is more intense in summer than in other seasons.

*Corresponding author:

✉ soyufjahromi@yahoo.com.au

0000-0002-7877-6277

Doi:10.52547/joc.13.52.8

Dor:20.1001.1.15621057.1401.13.52.8.3



NUMBER OF TABLES

2



NUMBER OF FIGURES

14



NUMBER OF REFERENCES

39

نوع مقاله: پژوهشی

بررسی شوری و دمای توده آب خلیج فارس با استفاده از مدل FVCOM

حسین رامک^۱، مریم سیوف جهرمی^{۲*}، پرستو اکبری^۳^۱ گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران،^۲ گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران،^۳ گروه فیزیک، آموزش و پرورش استان خوزستان، وزارت آموزش و پرورش، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

پیشینه و اهداف: شناسایی توده‌ی آب کم‌عمق بسیار پیچیده‌تر از آب عمیق است؛ زیرا تغییرات فیزیکی و شیمیایی در آب‌های کم‌عمق، سریع‌تر اتفاق می‌افتد و خواص توده‌ی آب از بین می‌رود. از آنجایی که در غیاب برهمکنش هوا-دریا، توده‌های آب خواص متفاوتی دارند لذا در این پژوهش با توجه به پایداری دما و شوری خواص توده‌ی آب در خلیج فارس شناسایی می‌شود. از مشخصه‌های عمده خلیج فارس، عمق بسیار کم آن با متوسط عمق ۳۵ متر است. پیشینه عمق در ناحیه تنگه هرمز با عمق حدود ۱۰۰ متر قرار دارد. تنگه هرمز در قسمت شمال غربی اقیانوس هند قرار گرفته است و محل اتصال خلیج فارس به دریای عمان است.

روش‌ها: در این تحقیق از مدل اقیانوسی سه‌بعدی متن باز FVCOM در ۲۰ لایه برای مدل‌سازی تبادل آب بین خلیج فارس و دریای عمان (طول جغرافیایی $47^{\circ}E$ تا $59/45^{\circ}E$ و عرض‌های جغرافیایی $22^{\circ}N$ تا $32^{\circ}N$) استفاده شد تا بدون در نظر گرفتن تنش باد بر روی منطقه، الگوی جریان در خلیج فارس و دریای عمان و توده‌ی آب خلیج فارس در چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان مورد بررسی قرار گیرد. FVCOM، از روش حجم محدود برای گسسته‌سازی معادلات هیدرودینامیکی در شبکه‌ی مثلثی استفاده می‌کند. برای تولید شبکه‌ی محاسباتی از نرم افزار تخصصی SMS نسخه ۱۰ استفاده شد. شبکه‌ی محاسباتی غیریکنواخت با تفکیک‌پذیری افقی از کمینه‌ی ۹۵۰ متر تا ۴۷۰۰ متر در مدل به کار گرفته شد و اطلاعات عمق‌سنجی با دقت ۳۰ ثانیه از داده‌های GEBCO-2019 بر روی این شبکه درون‌یابی شد. نوسانات سطح آب در مرز باز، منطبق بر مکان گره‌های مرز باز شبکه‌ی محاسباتی که در طول جغرافیایی $59/45^{\circ}E$ قرار دارند که از TMD استخراج و به صورت تنظیمات اصلی مدل وارد شد. داده‌های نیم‌رخ دما و شوری در مرز باز از خروجی مدل HYCOM (قبل دسترس به صورت رایگان) و در عمق‌های استاندارد استفاده شد. مدل در غیاب برهمکنش هوا و دریا و نقش تنش باد با توجه به نقش غالب چگالی در خروج آب خلیج فارس از تنگه هرمز به مدت ۶ سال اجرا گردید. برای صحت‌سنجی و اعتبارسنجی حوضه نیز به ترتیب از داده‌های HYCOM و داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد.

یافته‌ها: آب‌های شور خلیج فارس (۳/۰۰ psu) تا دهانه تنگه هرمز به خوبی در لایه‌های سطحی قابل مشاهده می‌باشد و از دهانه خلیج فارس به سمت دریای عمان در لایه‌های سطحی دیده نمی‌شود. در لایه‌های میانی دریای عمان آب‌هایی با مشخصات آب‌های خلیج فارس (۳/۰۰ psu) وجود دارد که می‌توان نتیجه گرفت که آب‌های سطحی که در غرب تنگه‌ی هرمز وجود داشتند از آنجا به بعد به لایه‌های زیرین یا میانی انتقال یافته و به سمت دریای عمان سرازیر شده است. با توجه به پایداری دما و شوری در توده‌ی آب، دما و شوری خلیج فارس در تنگه‌ی هرمز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد که توده‌ی آب خلیج فارس با شوری (۳/۰۰ psu) در فصل تابستان از طریق جنوب تنگه‌ی هرمز به صورت جریان زیرسطحی خارج می‌شود و در فصل زمستان این توده آب به عمق‌های بیشتر نفوذ می‌کند و از تنگه هرمز دورتر می‌گردد. توده‌ی آب خلیج فارس از طریق ناحیه‌ی جنوبی تنگه‌ی هرمز به صورت جریان زیرسطحی خارج می‌شود. در فصل تابستان، توده آب با شوری ۳۷ psu در محدوده عمق ۵۰ تا ۸۰ متری و در ۴۰ کیلومتری از سواحل کشور عمان است که در عرض جغرافیایی $25/4^{\circ}N$ و طول جغرافیایی $56/50^{\circ}E$ تا $56/69^{\circ}E$ واقع است که در فصل زمستان از این ناحیه فاصله گرفته و به سمت طول‌های بیشتر از $57^{\circ}E$ پیشروی کرده و به عمق حدود ۱۳۰ تا ۱۵۰ متری و عمق‌های بیشتر هم نفوذ می‌کند.

نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه میزان تبخیر در خلیج فارس زیاد است برای جایگزینی آب‌های تبخیر شده خلیج فارس لازم است که آب از تنگه هرمز وارد خلیج فارس گردد. نتایج مربوط به شوری فصل تابستان این پدیده را به خوبی نشان می‌دهد و آب ورودی به خلیج فارس به سمت سواحل ایران منحرف می‌گردد و حرکت این آب‌ها از سمت سواحل ایران به سمت شمال غربی خلیج فارس ادامه می‌یابد که این حرکت در طول سال وجود دارد اما شدت آن در فصل تابستان بیشتر از سایر فصول است. در فصل زمستان آب شورتر که از نواحی جنوبی تنگه هرمز وارد دریای عمان شده است، به عمق‌های بیشتر نفوذ کرده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۳۰

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲

واژگان کلیدی:

توده‌ی آب
خلیج فارس
دمای دریا
شوری
FVCOM

*نویسنده مسئول

✉soyufjahromi@yahoo.com.au

0000-0002-7877-6277

Doi:10.52547/joc.13.52.8

DOI:10.52547/joc.13.52.8

DOI:10.52547/joc.13.52.8

آب که اختصاراً PGW^۱ می‌نامند، در کف و از کناره‌ی جنوبی تنگه به سمت دریای عمان سرازیر گردیده و آب با شوری کم‌تر اقیانوس هند IOSW^۲ که در قسمت شمالی دریای عمان جریان دارد، از سطح و از لبه-ی شمالی تنگه‌ی هرمز به درون خلیج فارس جریان می‌یابد. توده‌ی PGW ضمن خروج از تنگه و سرازیر شدن در دریای عمان در مجاورت ساحل کشور عمان، با توده‌های آب مجاور با شوری کم‌تر، از جمله IOSW اختلاط یافته و ضمن کاهش چشمگیر در شوری، در نهایت به عمقی که در آن دارای شناوری خنثی است، خواهد رسید. اندازه‌گیری‌های انجام شده، نشان‌دهنده‌ی نفوذ PGW به دریای عرب است [۱۶، ۱۷ و ۱۸]. این‌گونه مطالعات ویژگی‌های عمومی توده‌ی PGW در تنگه هرمز تا حدودی نشان می‌دهد. اما متأسفانه عدم قطعیت جدی در برآوردهای دقیق تبادل توده آب در این تنگه وجود دارد. اندازه‌گیری‌های میدانی دقیق انجام شده هم اغلب در محدوده‌ی تنگه‌ی هرمز مانند اندازه‌گیری‌های گشت Mt. Mitchell، و گشت‌های راپمی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶ [۱۹] تنها قسمتی از یک محدوده‌ی مطالعاتی بزرگ‌تر (خلیج فارس و دریای عمان) بوده است و اندازه‌گیری‌های تخصصی‌تر منطقه به‌خصوص در قسمت شمالی تنگه‌ی هرمز (محدوده‌ی آب‌های ایرانی) محدود بوده و برخی از اندازه‌گیری‌ها در قسمت جنوبی تنگه‌ی هرمز [۹] و ورودی تنگه-ی هرمز [۷ و ۲۰] بوده است و بررسی دقیق تغییرات PGW در طی فصول مختلف صورت نگرفته است. مدل‌سازی‌های انجام شده در منطقه‌ی تنگه‌ی هرمز با قدرت تفکیک مناسب (۱ کیلومتر) تنها یک مورد گزارش شده است [۲۱]. در سایر مطالعات عددی انجام شده در کل حوضه‌ی خلیج فارس قدرت تفکیک مش مطالعاتی بیشتر از یک کیلومتر بوده است، مانند مطالعات [۷، ۱۰، ۱۴، ۲۲-۲۴] که در آن‌ها تنها به کلیات PGW اشاره شده است. مطالعه حاضر، با هدف بررسی تبادل فصلی توده‌ی PGW در هنگام خروج از تنگه‌ی هرمز در دریای عمان و تغییرات فصلی فراسنج-های فیزیکی دما و شوری منطقه با استفاده از مدل FVCOM می‌پردازد.

روش پژوهش

۱. مدل عددی (The numerical model)

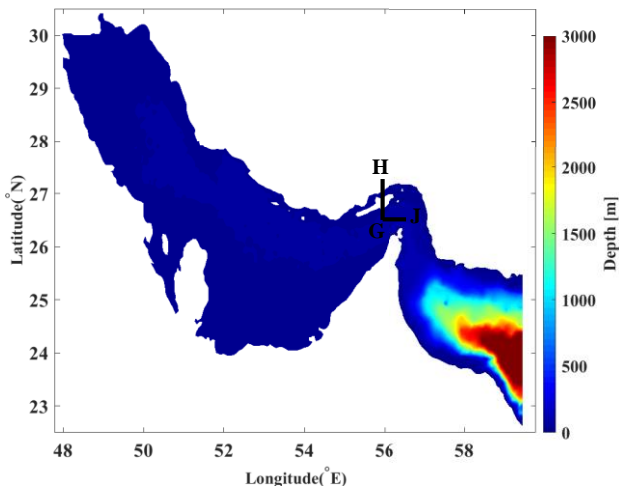
در این مطالعه از مدل عددی سه بعدی اقیانوسی FVCOM نسخه ۳،۲،۱ که یک مدل حجم محدود در دستگاه مختصات دکارتی می‌باشد، استفاده شده است. معادلات حاکم در مدل اقیانوسی FVCOM شامل معادلات اندازه حرکت در سه بعد (با فرض تقریب هیدروستاتیک در راستای قائم)، معادله پیوستگی (با فرض تراکم‌ناپذیری)، معادلات دما و شوری و معادله حالت برای محاسبه چگالی است. این مدل در غیاب برف و یخ، هفت معادله شامل سه معادله تکانه در سه بعد، پایستگی دما، شوری و چگالی را حل می‌کند [۲۵] و از روش حجم محدود به منظور گسسته سازی معادلات حاکم بهره برده و این معادلات را در یک شبکه‌ی محاسباتی مثلثی غیر ساختاریافته در راستای افق حل می‌کند [۲۶].

توده‌های آب، به طور معمول، به آب‌های عمیق، آب‌های میانی و آب‌های فوقانی تقسیم شده‌اند. اگرچه محدوده‌ی آب‌های بالایی بیشتر می‌باشد، اما حجم کمتری از آب‌های اقیانوس را اشغال می‌کنند. عکس این مسئله در مورد آب‌های عمیق، که دارای دامنه نسبتاً محدودی هستند، اما قسمت قابل توجهی از اقیانوس را اشغال می‌کنند، صادق است. این دسته از توده‌های آب، کمترین میزان پخش و بیشترین طول عمر را دارند. از طرف دیگر، آب‌های سطحی به شدت تحت تأثیر نوسانات سطح اقیانوس هستند که به سرعت خواص توده آب را از بین می‌برد [۱]. توده‌های آب با توجه به نام حوضه‌ای که شکل می‌گیرند، نام‌های مختلف و محدوده‌های مختلفی دارند. به‌منظور شناسایی توده‌های آب، از ردیاب‌ها، موقعیت قرارگیری توده آب نسبت به اقیانوس جهانی، همچنین موقعیت قائم توده استفاده می‌شود [۲]. شناسایی توده‌های آب در آب‌های کم‌عمق بسیار پیچیده‌تر از آب‌های عمیق است، زیرا تغییرات فیزیکی و شیمیایی در آب‌های کم‌عمق، سریع‌تر از آب‌های عمیق اتفاق می‌افتد [۳].

خلیج فارس و تنگه‌ی هرمز در ناحیه‌ی بین حدود $24^{\circ}N$ تا $32^{\circ}N$ و $47^{\circ}E$ تا $57^{\circ}E$ قرار دارد و به‌طور میانگین دارای ۹۹۰ کیلومتر طول و ۳۳۸ کیلومتر پهنا می‌باشد. از مشخصه‌های عمده ناحیه خلیج فارس وجود عمق بسیار کم آن است. بیشینه عمق در ناحیه‌ی تنگه‌ی هرمز با عمق حدود ۱۰۰ متر قرار دارد [۴]. تنگه‌ی هرمز در قسمت شمال غربی اقیانوس هند قرار گرفته است و محل اتصال خلیج فارس به دریای عمان است و یکی از مهم‌ترین آبراه‌های دنیا به شمار می‌آید. باد غالب در این منطقه در فصل تابستان، باد جنوبی و در فصل زمستان باد شمال‌غرب است [۴]. بادهای مونسون در اثر اختلاف ظرفیت گرمایی خشکی‌ها و اقیانوس‌ها به‌وجود می‌آیند [۵]. بادها بر روی دریای عمان اغلب در راستای محور شمال غربی- جنوب شرقی با تغییرات فصلی می‌وزند که بادهای شمال غربی رایج‌تر است [۶]. جهت ورزش باد در دریای عمان با واژگونی فصلی، متناسب با سامانه مونسون اقیانوس هند همراه است، به‌طوری که در زمان مونسون زمستانی (اکتبر - می) باد شمال غربی و در مونسون تابستانی (ژوئن - سپتامبر) باد جنوب شرقی حاکم است [۷]. این دو سیستم مناطق دریای عمان، تنگه‌ی هرمز و خلیج فارس را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و باعث تغییر رژیم در آب و هوا و همچنین جریان‌های دریایی تنگه‌ی هرمز می‌شود [۸]. مقالاتی مانند [۴] و [۹-۱۱] بیان می‌دارند که در جریان خروجی خلیج فارس، اختلاف چگالی بین دو حوضه خلیج فارس و عمان نقش مؤثری دارند. نرخ بالای تبخیر در خلیج فارس (2cm/year) در مقایسه با میزان بارش (7cm/year) و ورودی آب رودخانه (از 10cm/year تا 46cm/year) [۱۳] و نیز کم‌عمق بودن خلیج فارس منجر به شکل‌گیری یک توده‌ی آب شور و چگال می‌گردد، به‌طوری که شوری آن در برخی مناطق کم‌عمق خلیج که در طول ساحل جنوبی واقع‌اند، حتی به 57psu نیز می‌رسد، اما بیشینه شوری این توده‌ی آب در بیش‌تر مناطق خلیج فارس بین $40/5$ - 40 psu گزارش شده است [۱۴ و ۱۵]. این توده‌ی

1. Persian Gulf Water

2. Indian Ocean Surface Water



شکل ۱: منطقه‌ی شبیه سازی. این شکل با استفاده از داده‌های عمق سنجی GEBCO [۳۰] در محیط متلب ترسیم شده است. مقاطع عرضی GH و GJ مربوط به مطالعه [۱۱] است و جهت مقایسه این مطالعه با نتایج آن مطالعه [۱۱] استخراج شده است.

داده‌های عمق سنجی از داده‌های GEBCO_۲۰۱۹ [۳۰] با قدرت تفکیک ۳۰ ثانیه استخراج گردیده و بر روی شبکه‌ی محاسباتی درون‌یابی شد، به طوری که به هر گره از شبکه، یک عمق نسبت داده شد. فایل عمق سنجی GEBCO [۳۰] نسبت به سطح متوسط دریا و برحسب متر بود. همچنین داده‌های مربوط به خط ساحلی با فرمت Shapefile نیز از این پایگاه [۳۱] استخراج شد و در شبکه‌ی محاسباتی اعمال گردید. بعد از دریافت فایل GEBCO [۳۰] پردازش‌هایی مانند اصلاح داده‌های عمق در سطح آزاد دریا و هموارسازی خط ساحلی روی آن انجام گرفت و نقاط جزیره ماندی که در خشکی وجود داشت که ممکن بود حاوی مقداری آب باشند به دلیل اینکه از خط ساحلی و منطقه‌ی خلیج فارس دور بودند، توسط نرم‌افزار متلب حذف گردیدند.

با توجه به اینکه مدل FVCOM از شبکه‌بندی غیر ساختاریافته بهره می‌گیرد، از نرم‌افزار تخصصی SMS10.0 [۳۲-۳۳] جهت تولید شبکه‌ی مثلثی استفاده شد. شبکه‌ی محاسباتی غیریکنواخت از ۱۱۱۳۶ سلول و ۵۸۷۹ گره با قدرت تفکیک‌پذیری افقی از کمینه‌ی ۹۵۰m الی ۴۷۰۰m و در ۲۰ لایه سیگما در راستای قائم به کار گرفته شد و از اول ژانویه ۲۰۱۴ الی ۳۱ دسامبر ۲۰۲۰ اجرا شد. ویژگی‌هایی از المان که در کنترل کیفیت شبکه محاسباتی مدنظر قرار داشتند و همچنین مقادیر توصیه شده برای این ویژگی‌ها در جدول ۱ آورده شده است. پس از انجام کنترل کیفیت، مختصات شبکه از سیستم UTM در محیط SMS به سیستم جغرافیایی تبدیل شد. نمایی از شبکه محاسباتی در حوضه‌ی مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

در قسمت‌های مختلف محدوده مدل، عمق‌ها متغیر بود و عمق‌های کمتر از ۲ متر (۱/۰۲ متر) و عمق‌های بیشتر از ۳۰۰۰ متر (۳۲۵۶ متر) در نواحی دریای عمان دیده می‌شود.

معادلات اندازه حرکت در سه بعد به صورت زیر هستند:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial (P_H + P_a)}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} (k_m \frac{\partial u}{\partial z}) + F_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} - fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial (P_H + P_a)}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P_H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} (k_m \frac{\partial v}{\partial z}) + F_v$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} - fw = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial q}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} (k_m \frac{\partial w}{\partial z}) + F_w$$

معادله پیوستگی

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

معادله‌ی پایستگی دما

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (k_h \frac{\partial T}{\partial z}) + F_T$$

معادله‌ی پایستگی شوری

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (k_h \frac{\partial S}{\partial z}) + F_S$$

معادله حالت برای محاسبه چگالی

$$\rho = \rho(T, S, p)$$

مدل سه بعدی FVCOM از شکل انتگرالی معادلات استفاده می‌کند و قابلیت انعطاف‌پذیری هندسی و سادگی گسسته سازی کدها را دارد [۲۷]. مدل این قابلیت را دارد که در راستای قائم از مختصات سیگما (با تفکیک‌پذیری یکنواخت یا متغیر از سطح تا بستر) استفاده کند. مدل، خروجی سه بعدی و دوبعدی دارد. خروجی سه بعدی مدل شامل پارامترهای برداری سرعت در جهت x، y و z، و پارامترهای اسکالر دما و شوری است. خروجی دو بعدی مدل هم پارامترهای برداری سرعت در جهت x، y و پارامترهای اسکالر دما و شوری و تراز از سطح دریا را در بر می‌گیرد [۲۶].

این مدل پیش از این در مطالعاتی مانند [۲۸] منطقه خلیج فارس را در ۱۰ لایه سیگما با ورود شوری و دمای اولیه از مدل HYCOM در انتهای روز اول ژانویه سال ۲۰۰۹ به مدل FVCOM مدل‌سازی کرده است [۲۸]. مؤلفه‌های کشندی خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب هم با استفاده از این مدل اقیانوسی روی شبکه‌ی محاسباتی یکنواخت با تفکیک‌پذیری ۵ کیلومتر با مد باروتروپیک در این منطقه مورد بررسی قرار گرفته است که به خوبی چهار نوع مؤلفه‌ی کشند روزانه، و مختلط نیم‌روزانه را در خلیج فارس نشان داد [۲۹]. در این مطالعه هم از این مدل جهت تحلیل PGW استفاده شده است.

۲. تنظیمات مدل (The model set up)

محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی ۲۲°N تا ۳۲°N و طول جغرافیایی ۴۷°E تا ۵۹/۴۵°E واقع شده است (شکل ۱). شبکه‌ی عمق سنجی متغیر بوده و در راستای طول و عرض جغرافیایی بین یک الی پنج دقیقه دریایی تغییر می‌کند.

است که در نرم افزار متلب ۲۰۱۶ که نمودارها و شکل‌های مربوط به هر کدام با کدهای مناسب رسم گردید. میزان نفوذ توده آب در فصول مختلف در دریای عمان از گذرگاه تنگه هرمز مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲. فایل‌های ورودی مورد استفاده و فرمت آن‌ها در این پژوهش

ردیف	نام فایل	شرح محتوی	فرمت
۱	Cor_v02.dat	اطلاعات مربوط به فراسنج کوریولیس	ASCII
۲	Grd_v02.dat	اطلاعات مربوط شبکه محاسباتی افقی	ASCII
۳	Dep_v02.dat	اطلاعات مربوط به عمق	ASCII
۴	Sigma_v02.dat	اطلاعات مربوط به لایه سیگما	ASCII
۵	Spg_v02.dat	اطلاعات مربوط به لایه اسفنجی	ASCII
۶	Obc_v02.dat	اطلاعات مربوط به نقاط مرز باز	ASCII
۷	Tide_v02.nc	اطلاعات مربوط به تراز آب در مرز باز	NetCDF
۸	Tsobc_v02.dat	اطلاعات دما و شوری در مرز باز	NetCDF
۹	Win_v02.nc	سری زمانی اطلاعات باد	NetCDF

۳. صحت‌سنجی مدل (Model calibration)

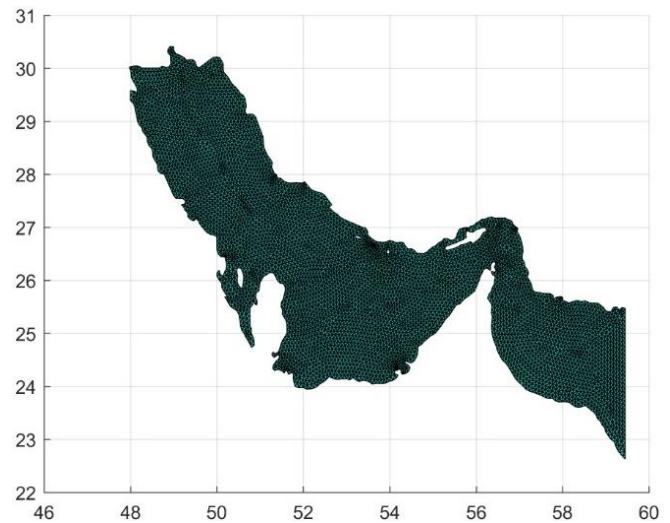
چون داده‌های دما و شوری (دما 25°C و شوری ۳۹/۳psu) از مقاله [۹] به‌عنوان ورودی مدل استفاده شد که جهت افزایش صحت، با داده‌های HYCOM برای لایه‌های سطحی و عمقی تصحیح گردید تا یک شیب باروکلینیک در حوضه ایجاد شود. داده‌های HYCOM از خروجی مدل HYCOM (قابل دسترس به صورت رایگان) و در عمق‌های استاندارد (۲۰ لایه) [۳۴] دریافت شد که این خروجی‌ها قدرت تفکیک $1/0.8$ درجه داشت و در بازه‌ی زمانی شبیه‌سازی به‌صورت روزانه استخراج و در محیط متلب درون‌یابی گردید و به هر کدام از گره‌های مرز باز شبکه محاسباتی مدل در هر تراز، یک داده‌ی دما و شوری نسبت داده شد.

۴. اعتبارسنجی مدل (Model validation)

برای بررسی بیشتر و دقیق‌تر نتایج حاصل از مدل‌سازی از داده‌های ماهواره‌ای دمای سطحی دریا از داده‌های گروه دمای سطح دریا با قدرت تفکیک $1/0.5$ که بصورت روزانه بوده و از GHRSSST^2 مربوط به سازمان NOAA که تحت پوشش اداره هواشناسی انگلیس بود و به OSTIA معروف بود، استفاده شد. این مجموعه داده، علاوه بر ارائه موقعیت جغرافیایی و زمان، دمای سطح دریا را با دقت 0.1°C ارائه می‌دهد [۳۵]. میدان دمای لایه‌ی اول محاسبه شده توسط مدل برای سالیانه، فصل تابستان و فصل زمستان با تصاویر حاصل از داده‌های ماهواره‌ای مقایسه شده است. لازم به ذکر است با توجه به هدف مطالعه در ردیابی توده‌ی PGW در دریای عمان، اعتبارسنجی مدل در راستای تولید PGW (با شوری و گرمای بیشتر از دریای عمان) در آن محدوده دریای عمان با تصاویر ماهواره‌ای انجام پذیرفت. متوسط اختلاف دمای سالانه تصاویر

جدول ۱: پارامترهای مورد نظر جهت کنترل کیفیت شبکه محاسباتی و مقادیر انتخاب شده

پارامتر	مقادیر کنترل
کمینه زاویه داخلی مثلث	30°
بیشینه زاویه داخلی مثلث	130°
بیشینه شیب المان	۰/۱
تغییر مساحت المان نسبت به المان‌های مجاور	۰/۵
تعداد المان‌های متصل به یک گره	۹ یا کمتر



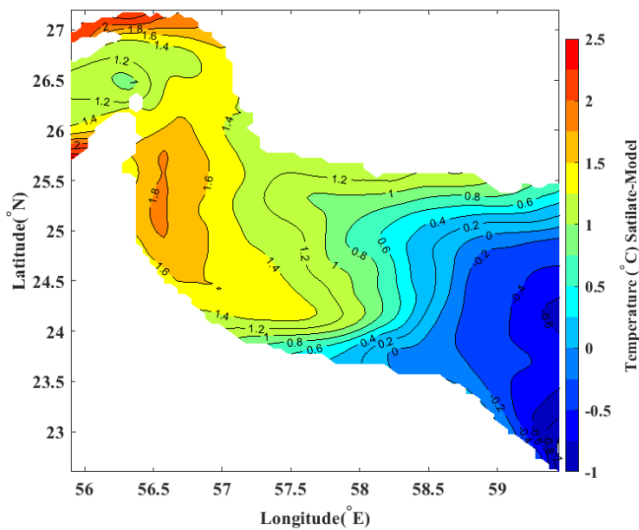
شکل ۲: شبکه‌ی محاسباتی به کار رفته در شبیه‌سازی

دما و شوری در شرایط اولیه مدل ابتدا به صورت شوری و دمای ثابت طبق مقاله [۹] به مدل وارد شد. سپس اطلاعات ورودی جهت افزایش صحت تصحیح گردید و به صورت میدان دما و شوری به مدل وارد شد. میدان دما و شوری از داده‌های HYCOM (قابل دسترس به صورت رایگان) و در عمق‌های استاندارد (۱۰ لایه) [۳۴] دریافت گردید که این داده‌ها دارای تفکیک‌پذیری $1/0.8$ درجه بوده در 10 تراز عمقی وجود داشت که پس از ویرایش‌های لازم در نرم‌افزار متلب، فایل مربوطه با فرمت Netcdf آماده گردید و پس از درون‌یابی اطلاعات دما و شوری اولیه بر روی شبکه محاسباتی، به مدل وارد شد.

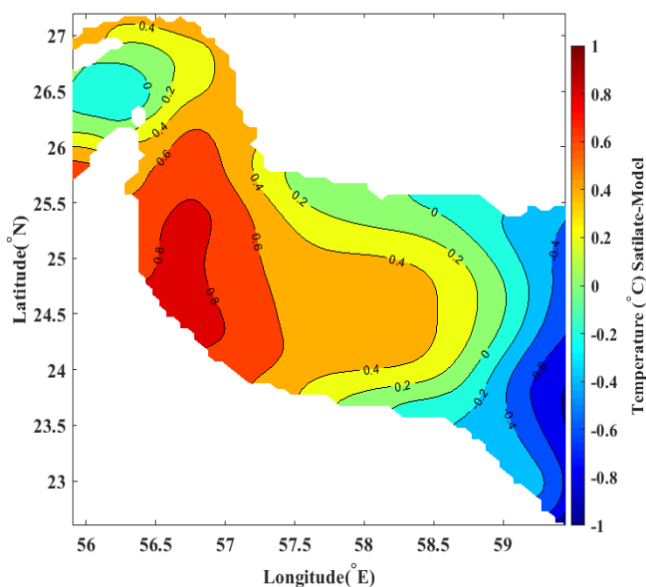
در این مطالعه یک مرز باز برای مدل تعریف شد که در قسمت شرقی حوضه، در دریای عمان و در طول جغرافیایی $59/45^{\circ}\text{E}$ قرار دارد و تعداد نقاط روی مرز باز 35 گره است. تراز سطح آب در نقاط مرز باز، به صورت مقادیر ثابت دامنه در مختصات منطبق بر مکان گره‌های مرز باز شبکه‌ی محاسباتی با گام زمانی یک ساعت و با فرمت Netcdf از مدل TMD¹ استخراج و به صورت تنظیمات اصلی مدل معرفی شد.

فایل‌های ورودی مورد استفاده در مدل FVCOM و فرمت آن‌ها در این پژوهش مطابق جدول ۲ است. فایل‌های خروجی هم شامل شوری، دما، تراز سطح آب، عمق و سرعت جریان هستند که با فرمت NetCDF و به‌صورت روزانه (دما، شوری و سرعت جریان) و ساعتی (تراز سطح آب)

غرب تنگه هرمز و شرق دریای عمان، نتایج شبیه‌سازی دارای دمای بیشتری را نشان می‌دهد که این اختلاف در حدود 0.4°C است.



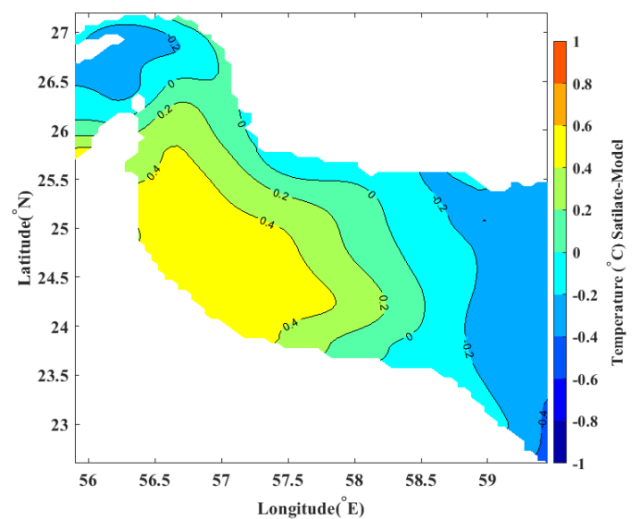
شکل ۴: اختلاف نتایج داده‌های ماهواره‌ای [۳۵] و نتایج مدل‌سازی این مطالعه برای فصل تابستان



شکل ۵: اختلاف نتایج داده‌های ماهواره‌ای [۳۵] و نتایج مدل‌سازی این مطالعه برای فصل زمستان

برای صحت‌سنجی مدل در راستای قائم از داده‌های HYCOM استفاده شده و آن را با نتایج دما و شوری حاصل از خروجی مدل مقایسه شده است. نیمرخ‌های دما و شوری برای یک گره از گره‌های شبکه‌ی محاسباتی استفاده شده برای مدل‌سازی و داده‌های HYCOM برای ۲۰ فوریه سال ۲۰۱۸ رسم شده است. داده‌های HYCOM برای عمق‌های مختلف با توجه به عمق حوضه مورد مطالعه دریافت شد که با توجه به موقعیت گره‌ها و طول و عرض جغرافیایی آن‌ها، داده‌های HYCOM تهیه گردید. دقت داده‌های HYCOM که در این بخش از آن استفاده شد در

ماهواره‌ای با نتایج مدل، در کل حوضه برابر با 0.4128°C است. شکل ۳، اختلاف دمای سالیانه داده‌های ماهواره‌ای و نتایج مدل‌سازی این مطالعه را نشان می‌دهد. در قسمت شرقی دریای عمان یک لایه‌ای از شمال به جنوب در طول‌های جغرافیایی بیشتر از 58.5°E دیده می‌شود که در آن نتایج مدل حداکثر در حدود 0.6°C بیشتر از نتایج داده‌های ماهواره‌ای است و لکه‌ای نیز در غرب تنگه هرمز با همین مشخصات وجود دارد. در مناطق وسیعی از دریای عمان و غرب تنگه هرمز نیز تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و داده‌های ماهواره‌ای وجود دارد که اختلاف آن در حدود 0.2°C تا -0.2°C می‌باشد. در ناحیه جنوبی دریای عمان در نزدیکی سواحل کشور عمان این اختلاف به 0.5°C می‌رسد که نتایج داده‌های ماهواره‌ای نسبت به مدل‌سازی 0.5°C را بیشتر نشان می‌دهد.



شکل ۳: اختلاف نتایج داده‌های ماهواره‌ای [۳۵] و نتایج مدل‌سازی این مطالعه برای سالانه

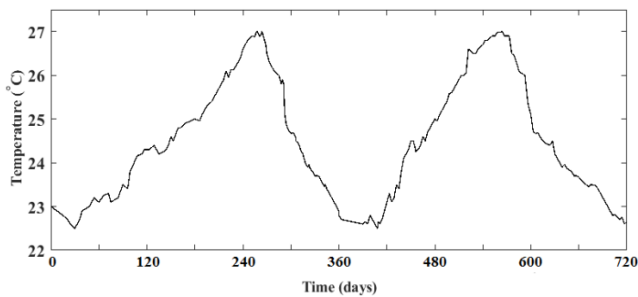
متوسط اختلاف دمای تصاویر ماهواره‌ای با مدل را در فصل گرم برابر با 1.25°C و در فصل سرد برابر با 0.3079°C دیده می‌شود. بیشترین دامنه اختلاف ناشی از داده‌های ماهواره‌ای و مدل در فصل تابستان حدود 1.8°C است (شکل ۴). در نواحی مربوط به بیشتر مناطق دریای عمان و نواحی شرقی آن، دمای حاصل از مدل در حدود 0.5°C بیشتر نشان می‌دهد. شمال تنگه هرمز و شمال شرق دریای عمان به نزدیک مرز ایران و بندر چابهار نتایج مدل دارای مقادیر بیشتری است که در حدود 0.5°C تا 1°C دیده می‌شود. در شکل ۵ که مربوط به اختلاف دمای ماهواره و نتایج شبیه‌سازی لایه سطحی در فصل زمستان است، مشاهده می‌شود که در نواحی جنوبی دریای عمان و شرق تنگه هرمز نتایج ناشی از ماهواره در حدود 0.7°C بیشتر از نتایج مدل‌سازی است. در بیشتر مناطق دریای عمان و ناحیه‌ی جنوبی تنگه‌ی هرمز تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و داده‌های ماهواره‌ای همراه است که این اختلاف برای داده‌های ماهواره نسبت به نتایج شبیه‌سازی در حدود 0.2°C تا -0.2°C می‌باشد. در نواحی

حدود ۰/۰۸ درجه است. نیمرخ‌های دما و شوری حاصل از داده‌های HYCOM و نیمرخ‌های ناشی از مدل‌سازی عددی در شکل ۶ نمایش داده می‌شود با توجه به اینکه دقت شبکه‌بندی محاسباتی که در مدل استفاده شده است به صورت غیر ساختاریافته است، گره‌هایی از شبکه که در نزدیک‌ترین مختصات داده‌های HYCOM قرار دارند، انتخاب شده است و دما و شوری این نقاط برداشت شده است که این ممکن است باعث اختلاف نتایج میان نیمرخ‌های دما، شوری و عمق برای مدل و داده‌های HYCOM گردد و همچنین از آنجا که نتایجی مدل سازی برای ۲۰ لایه سیگما از سطح تا عمق انجام شده است و داده‌های HYCOM برای عمق‌های مشخصی می‌باشند، ممکن است دقیقاً عمق‌های مدل و داده‌های گرفته شده، بر هم منطبق نباشند و به همین علت نیمرخ‌های دما و شوری هم که رسم شده‌اند به طور کامل همدیگر را هم‌پوشانی نکنند. بنابراین در این مطالعه تنها ویژگی‌های کلی نیمرخ‌ها مانند چگونگی تغییرات دما و شوری با عمق، مدنظر بوده است و آن‌ها با همدیگر مقایسه شده‌اند.

همچنین مقطع قائم شوری و دما در محدوده تنگه هرمز در راستای شمال به جنوب برای مقطع GH و GJ شکل ۱ که در طول جغرافیایی $56/27^{\circ}E$ بین عرض جغرافیایی $26^{\circ}N$ تا $27^{\circ}N$ قرار دارد، برای همه‌ی فصول سال رسم شد. انتخاب این مقاطع، جهت مقایسه این شبیه‌سازی با مطالعه [۱۱] صورت پذیرفت.

۶. پایداری مدل (Stability of the model)

مدل به مدت ۶ سال (از اول ژانویه سال ۲۰۱۴ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۰) اجرا شد تا خواص توده آب در خلیج فارس در مدت مورد نظر به یک چرخه پایدار برسند. میانگین مکانی تغییرات زمانی دمای سطحی برای ۲ سال آخر شبیه‌سازی در شکل ۷ رسم شد که نشان می‌دهد مدل به حالت پایدار رسیده است.



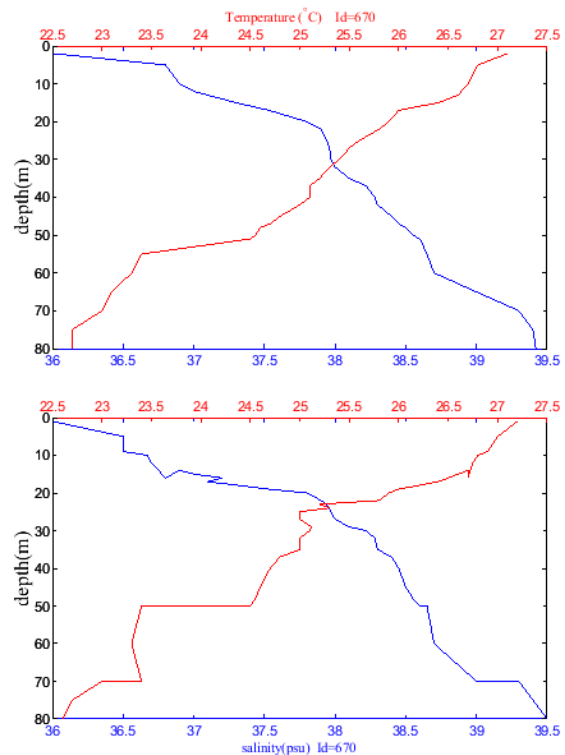
شکل ۷: میانگین مکانی تغییرات زمانی دما برای کل حوضه در دو سال آخر شبیه‌سازی.

نتایج و بحث

۱. نتایج شوری (Salinity results)

در فصل زمستان در لایه سطحی، شوری آب خلیج فارس بیشتر از دیگر فصل‌ها است. بیشترین شوری آب خلیج فارس در فصل زمستان در قسمت جنوبی خلیج فارس و نزدیک سواحل کشور بحرین وجود دارد که مقدار آن به $41/00$ psu نیز می‌رسد و در نواحی جنوبی غرب تنگه هرمز و در نزدیکی سواحل کشور امارات متحده عربی نیز شوری $38/5$ psu تا $39/00$ psu قابل مشاهده است (شکل ۸). بررسی کلی شکل مربوط به توزیع شوری آب در فصل تابستان در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در محدوده دریای عمان تا تنگه هرمز، شوری سطحی در حدود $36/5$ psu تا 37 psu است که در جنوب شرق تنگه هرمز شوری $36/5$ psu وجود دارد. در قسمت شمالی آن، آب کم شور اقیانوس هند با شوری سطحی در حدود $36/5$ psu از ناحیه شمال تنگه هرمز به خلیج فارس وارد شده و آب شورتر که در حدود $38/00$ psu می‌باشد، از

شکل ۶. مقایسه‌ی پروفایل‌های حاصل از داده‌های HYCOM (بالا) و خروجی مدل (پایین)

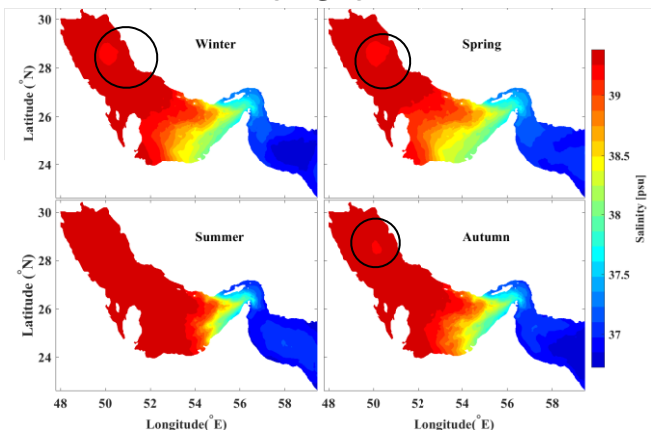


شکل ۶. مقایسه‌ی پروفایل‌های حاصل از داده‌های HYCOM (بالا) و خروجی مدل (پایین)

۵. روش تحلیل نتایج (Methods of results analysis)

نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی الگوی تغییرات تبادل آب در تنگه‌ی هرمز در فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز مورد بررسی قرار گرفت. خروجی‌های مدل با نرم افزار متلب ترسیم شد. با توجه به اینکه هدف این تحقیق بررسی شوری و دمای لایه‌های سطحی و لایه‌های میانی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از مدل‌سازی عددی مورد نظر است، خروجی مدل برای لایه‌های سطحی (لایه اول سیگما)، لایه‌های میانی

شکل ۸: شوری سطحی آب دریا (در لایه اول مدل با مشخصه سیگما ۱) در فصل‌های سال



شکل ۹: شوری لایه میانی آب دریا (در لایه دهم مدل با مشخصه سیگما ۱۰) در فصل‌های سال

در لایه سطحی آب با شوری کمتر ($36/5 \text{ psu}$) وجود دارد. در لایه میانی آب با شوری بیشتر در مناطق شرق تنگه هرمز و غرب دریای عمان به خوبی قابل مشاهده است و شوری نواحی شمالی تنگه نسبت به فصل زمستان بیشتر است. لکه‌ی شوری در نواحی مرکزی خلیج فارس و جنوبی آن وجود دارد (شکل ۹).

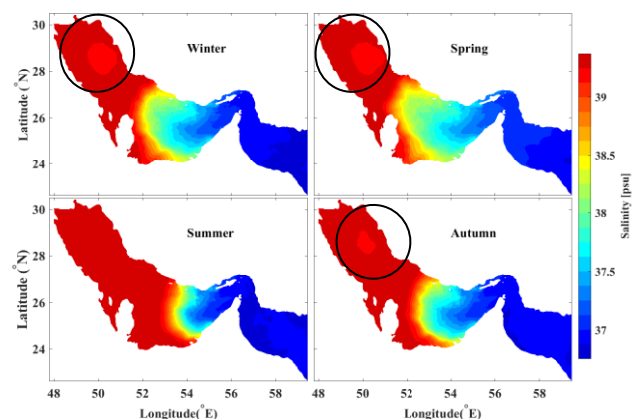
این اطلاعات مربوط به خروجی مدل، نشان می‌دهد که مدل در این نواحی به خوبی تغییرات را ثبت کرده است. بنابراین تحلیل خروجی‌های مدل در این مطالعه حاکی از وجود گردش آب در تنگه هرمز در طول سال می‌باشد که بیشترین میزان تبادل آب دریای عمان و خلیج فارس در اواخر بهار و تابستان دیده می‌شود که با مطالعه [۴ و ۵] منطبق است که آنان در این مطالعه پس از تحلیل داده‌های گشت راپمی دریافتند که بیشترین نفوذ آب دریای عمان به شمال خلیج فارس در اواخر بهار و اوایل تابستان می‌باشد. با توجه به اینکه میزان تبخیر در خلیج فارس زیاد است برای جایگزینی آب‌های تبخیر شده خلیج فارس لازم است که آب از تنگه هرمز وارد خلیج فارس گردد و آب ورودی به خلیج فارس بر اثر نیروی کوریولیس به سمت سواحل ایران منحرف می‌گردد و حرکت این آب‌ها از سمت سواحل ایران به سمت شمال غربی خلیج فارس ادامه می‌یابد که این حرکت در طول سال وجود دارد اما شدت آن در فصل تابستان بیشتر از سایر فصول است [۳۳].

بررسی شکل‌های مربوط به لایه‌های میانی فصل تابستان که امکان وجود توده آب خلیج فارس در این لایه و در دریای عمان وجود دارد، نشان می‌دهد که شوری آب دریای عمان در محدوده $36/5 \text{ psu}$ تا $38/0 \text{ psu}$ و در بعضی مناطق $38/5 \text{ psu}$ می‌باشد که در ناحیه شمال آن، آب با شوری $36/5 \text{ psu}$ وجود دارد که می‌تواند آب کم شورتر اقیانوس هند باشد که از ناحیه شمالی در حال نزدیک شدن به تنگه هرمز و ورود به خلیج فارس می‌باشد و در ناحیه جنوبی و مرکزی آن نیز شوری آب $38/0 \text{ psu}$ است. در فصل تابستان، آب بیشتر مناطق خلیج فارس شوری در محدوده $39/0 \text{ psu}$ تا $40/5 \text{ psu}$ دارند که در مناطق جنوبی آن شوری

ناحیه جنوب تنگه وارد دریای عمان گردیده است. همچنین مشاهده می‌شود که در غرب تنگه هرمز شوری آب $37/5 \text{ psu}$ تا $38/0 \text{ psu}$ است. در فصل پاییز و لایه سطحی، کمترین شوری در آب‌های مجاور حوضه تنگه هرمز و در نواحی شمال غربی خلیج فارس است. شوری آب دریای عمان تا دهانه شرقی تنگه هرمز در حدود $36/0 \text{ psu}$ تا $37/0 \text{ psu}$ است. قسمت جنوبی شرق تنگه هرمز و موازات سواحل کشور عمان آب با شوری $36/5 \text{ psu}$ به صورت لایه‌ای باریک مشاهده می‌شود. از شرق تنگه هرمز تا قسمت غربی آن و سواحل شمالی جزیره قشم شوری آب $37/0 \text{ psu}$ است و بیشتر نواحی خلیج فارس شوری $39/5 \text{ psu}$ تا $40/5 \text{ psu}$ در بر می‌گیرد و تنها در قسمت‌های غربی خلیج فارس آب با شوری $39/0 \text{ psu}$ وجود دارد. بیشترین شوری آب خلیج فارس در فصل پاییز در قسمت جنوبی خلیج فارس و نزدیک سواحل کشور بحرین است که مقدار آن به $41/0 \text{ psu}$ می‌رسد و در نواحی جنوبی غرب تنگه هرمز و در نزدیکی سواحل کشور امارات متحده عربی نیز شوری $38/5 \text{ psu}$ تا $39/0 \text{ psu}$ قابل مشاهده است (شکل ۸). در فصل بهار محدوده شوری $38/5 \text{ psu}$ در تنگه هرمز دیده می‌شود که شوری نزدیک به شوری توده آب خلیج فارس دارد. در لایه سطحی در فصل بهار نسبت به فصل زمستان محدوده بیشتری از تنگه هرمز را پوشش می‌دهد. به طوری که در این فصل در لایه سطحی، آب با این شوری بیشتر مناطق تنگه هرمز را پوشش داده است (شکل ۸).

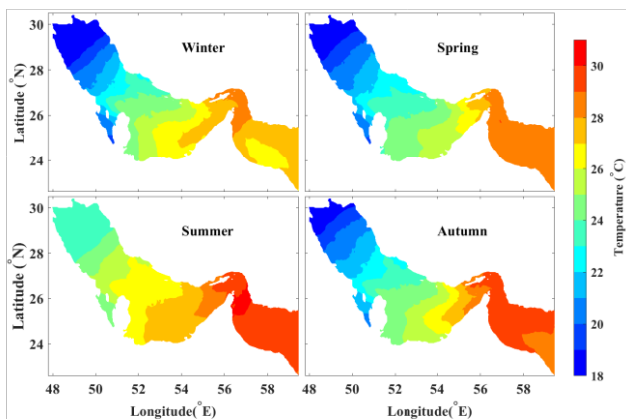
شکل ۹ نشان می‌دهد که در فصل زمستان شوری آب لایه‌های میانی تنگه هرمز تا غرب دریای عمان (محدوده تنگه هرمز) در حدود $37/5 \text{ psu}$ تا $38/0 \text{ psu}$ است و آب با شوری حدود 38 psu تا $38/5 \text{ psu}$ نواحی بیشتری از تنگه هرمز به خصوص قسمت جنوبی آن را پوشش داده است. در فصل زمستان و در لایه‌های میانی علاوه بر وجود آب با شوری $41/2 \text{ psu}$ در نواحی جنوبی خلیج فارس، در نواحی مرکزی نیز لکه‌ای آب با این شوری دیده می‌شود.

در فصل زمستان میزان شوری نواحی جنوبی دریای عمان و نزدیک سواحل کشور عمان در حال کاهش است که می‌تواند به این علت باشد که آب شورتر خلیج فارس به این نواحی کمتر وارد می‌شود و میزان شوری آن نیز کمتر دستخوش تغییرات می‌گردد.

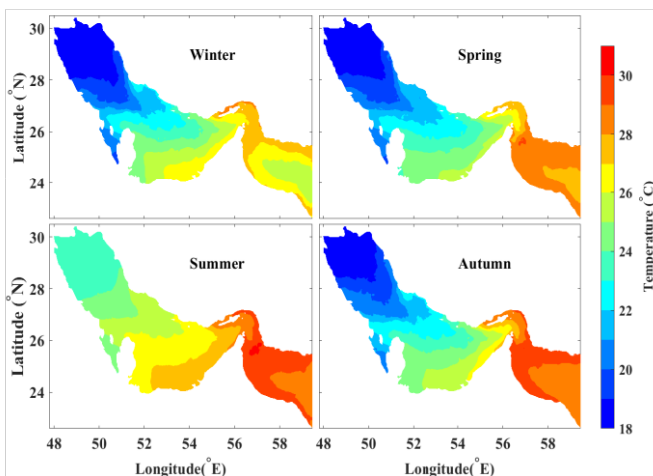


در فصل بهار افزایش دما در بیشتر منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. دمای آب سطحی دریای عمان 29°C و دمای آب مناطق غرب تنگه هرمز به 30°C و در شرق تنگه هرمز به 31°C رسیده است. (شکل ۱۰).

در لایه میانی دمای آب نواحی شمالی تنگه هرمز در این فصل افزایش یافته است به طوری که آب با دمای 28°C در نواحی شمالی و غرب تنگه هرمز وجود دارد و دمای بیشتر محدوده خلیج فارس بین 22°C تا 25°C در نواحی غربی آن آب با دمای 18°C نیز قابل مشاهده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۰: دمای آب لایه سطحی (در لایه اول مدل با مشخصه سیگما ۱) برای فصول مختلف سال تغییرات دمای آب در تابستان در دریای عمان از خلیج فارس بیشتر است؟



شکل ۱۱: دمای آب لایه میانی (در لایه دهم مدل با مشخصه سیگما ۱۰) برای فصول مختلف سال تغییرات دمای آب در تابستان در دریای عمان از خلیج فارس بیشتر است؟

در فصل تابستان دمای آب لایه سطحی در حدود 26°C تا 31°C است که در نواحی شمالی دریای عمان یک لایه آب با دمای 28°C وجود دارد و در ورودی تنگه هرمز دمای آن به 29°C تا 30°C می‌رسد و ناحیه جنوبی دریای عمان در نزدیک سواحل کشور عمان دمای آب 26°C است (شکل ۹). دمای بیشتر دریای عمان نسبت به خلیج فارس در اندازه‌گیری دمای سطحی گشت راپمی [۴] مورد تأیید قرار گرفته بود [۲۴]. از بررسی شکل‌های مربوط به دمای لایه‌های میانی آب خلیج فارس و دریای عمان

است و در شرق تنگه هرمز آب شور خلیج فارس که در ناحیه عمقی پیشروی کرده‌اند به وضوح دیده می‌شوند (شکل ۹). از شکل ۹ که مربوط به فصل تابستان در لایه‌های میانی است، مشاهده می‌شود که بیشترین شوری خلیج فارس در ناحیه‌ی جنوبی آن و نزدیک کشور بحرین است که شوری در حدود $40/20\text{psu}$ دارد و یک لایه‌ی آب شور با شوری تقریبی 40psu در نواحی میانی خلیج فارس دیده می‌شود. در لایه میانی در فصل تابستان ورود آب شور خلیج فارس به دریای عمان در حال کاهش و ورود آب کم شورتر در دریای عمان به خلیج فارس از ناحیه شمالی تنگه هرمز رو به افزایش است که می‌تواند یکی از علت‌های این که در تابستان آب خلیج فارس دارای شوری کمتری است، باشد.

در فصل پاییز در لایه سطحی، شوری آب بیشتر مناطق مربوط به تنگه هرمز در حدود $36/5\text{psu}$ و در لایه میانی بین $36/5\text{psu}$ تا 37psu است. در هر دو لایه سطحی و میانی، آب کم شور در نواحی شمالی تنگه هرمز در این فصل روند کاهشی دارد. شوری آب خلیج فارس در محدوده $39/5\text{psu}$ تا $40/5\text{psu}$ و در نواحی مرکزی و جنوبی آن، آب با شوری 41psu نیز وجود دارد (شکل ۷). در همه فصل‌ها در لایه سطحی و در نواحی شمالی تنگه هرمز، آب با شوری $36/5\text{psu}$ وجود دارد که در فصل زمستان و پاییز، محدوده بیشتری آب با این شوری دیده می‌شود (شکل ۸). در فصل بهار و تابستان، مناطق جنوبی تنگه هرمز و غرب آب با شوری 38psu وجود دارد. شوری آب دریای عمان در فصل تابستان نسبت به دیگر فصل‌ها بیشتر است (37psu). در لایه میانی در فصل بهار و تابستان، محدوده تنگه هرمز و در نواحی جنوبی آن، آب با شوری بیشتر ($38/5\text{psu}$) وجود دارد که نسبت به فصل زمستان و پاییز بیشتر است و این نشان می‌دهد که آب شور خلیج فارس در این دو فصل از گذرگاه تنگه هرمز بیشتر خارج می‌شود. بنابراین شوری خلیج فارس در این دو فصل کمتر است. بیشترین شوری در فصل زمستان است (شکل ۹).

۲. نتایج دما (Temperature results)

بررسی کلی شکل‌های مربوط به توزیع دمای سطحی آب در فصل زمستان در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در دریای عمان دمای آب سطحی $25/5^{\circ}\text{C}$ تا 28°C است که این توزیع دما در ناحیه شمالی دریای عمان در حدود 1°C بیشتر از ناحیه جنوبی آن است که در ناحیه شمالی دمای آب سطحی $27/5^{\circ}\text{C}$ و در ناحیه جنوبی بین $25/5^{\circ}\text{C}$ تا $26/5^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. آب گرم‌تر تا ورودی تنگه هرمز به خوبی مشاهده می‌شود که در دهانه تنگه هرمز دما در حدود $27/5^{\circ}\text{C}$ است. دمای سطحی آب در فصل زمستان در نواحی جنوب شرقی دریای عمان در حدود 24°C تا $25/2^{\circ}\text{C}$ است و در نواحی شمالی دریای عمان و تنگه هرمز دما 27°C تا 28°C می‌رسد (شکل ۱۰). به طور کلی در فصل زمستان آب سطحی دریای عمان نسبت به آب سطحی خلیج فارس گرم‌تر است. دمای آب سطحی در فصل زمستان در این تحقیق با مطالعه [۱۶] مطابقت خوبی دارد. نتایج مدل، تبادل جریان آب عمیق خروجی و آب سطحی را از خلیج فارس به دریای عمان از طریق بخش جنوبی تنگه هرمز نشان می‌دهد [۳۵].

به لایه‌های عمقی نفوذ کرده و در حال عبور از تنگه‌ی هرمز و ورود به دریای عمان است. در تنگه‌ی هرمز افزایش شوری با عمق مشاهده می‌گردد که می‌تواند بیانگر جریان خروجی شور خلیج فارس به دریای عمان از طریق تنگه‌ی هرمز باشد. در فصل پاییز شوری آب لایه‌های سطحی از شمال تا جنوب تنگه‌ی هرمز تقریباً یکسان است و از سطح تا لایه‌های میانی، لایه‌بندی شوری دیده می‌شود. در نواحی عمقی شوری آب نسبت به فصل تابستان کاهش یافته است (شکل ۱۲).

مقطع قائم شوری در قسمت ورودی تنگه‌ی هرمز و در راستای شرقی-غربی برای مقطع GJ از شکل ۱، رسم شده است (شکل ۱۳). در فصل زمستان نواحی شرقی مربوط به ورودی آب از دریای عمان به خلیج فارس، دارای شوری کمتری می‌باشد که شوری این ناحیه در حدود ۳۷psu است و در قسمت غربی آن نیز در آب‌های سطحی آب با شوری ۳۷/۲psu دیده می‌شود که در این نواحی با افزایش عمق، شوری آب در حال افزایش است به طوری که در عمق‌های بیشتر از ۶۰ متر تا ۱۱۰ متر شوری آب بین ۳۷psu تا ۳۷/۸psu است (شکل ۱۳).

در فصل بهار شوری آب نواحی شرقی مقطع کمتر است اما نسبت به فصل زمستان شوری آن بیشتر شده است. آب با شوری ۳۷/۲psu در لایه‌های سطحی و شوری آب در قسمت غربی و در لایه‌های عمقی در حدود ۳۷/۸psu است.

در فصل تابستان نیز آب قسمت شرقی مقطع شوری کمتری دارد. در لایه‌های سطحی آب با شوری ۳۷/۲psu و در قسمت غربی آن در لایه‌های عمقی آب با شوری ۳۸psu دیده می‌شود که این آب ممکن است آب خروجی از خلیج فارس باشد. شکل ۱۲ به خوبی نشان می‌دهد که در فصل تابستان تا عمق حدوداً ۲۰ متری سمت شرقی و ۵۰ متری سمت غربی محدوده انتخاب شده، آب با شوری یکسان ۳۷psu در هر دو فصل دیده می‌شود و در این فصل با افزایش عمق بر شوری آب افزوده می‌گردد و در لایه‌های زیرتر تا عمق ۷۰ متری در فصل زمستان، شوری ۳۷/۴psu و در فصل تابستان، شوری ۳۸psu و در لایه‌های عمیق حدود ۱۱۰ متری در فصل زمستان، شوری ۳۸psu و در فصل تابستان، شوری ۳۷/۸psu می‌رسد. این فرورفتن در فصل زمستان توده‌ی آب ممکن است به دلیل دمای کمتر و چگالی بیشتر آن باشد و انتظار می‌رود حرکت این توده به سمت طول‌های جغرافیایی بیشتر و عمق‌های بیشتر ادامه داشته باشد که این با مطالعه‌ی [۳۷] توافق خوبی دارد.

در فصل تابستان دیده می‌شود که دمای لایه‌های میانی در حدود یک تا دو درجه کمتر از دمای آب لایه‌های سطحی است اما ناحیه‌ی باریکی در شمال دریای عمان دمای آب در لایه‌ی میانی حدود 29°C است که بیشتر از آب لایه‌ی سطحی است. در لایه‌های میانی یک لایه آب با دمای 27°C در نواحی شرقی دریای عمان و در دهانه تنگه‌ی هرمز آب با دمای 28°C وجود دارد (شکل ۱۰). در فصل تابستان مشاهده می‌شود که آب‌های لایه سطحی دریای عمان که دارای دمای بیشتری هستند به تنگه‌ی هرمز نزدیک شده به طوری که آب قابل توجهی با دمای 30°C به غرب تنگه‌ی هرمز رسیده و به خلیج فارس وارد شده است که با مطالعات گذشته مانند [۳۶] که با مدل ROMS کار کرده بودند، تطابق خوبی دارد.

دمای آب سطحی دریای عمان در فصل پاییز کاهش می‌یابد. دمای آب سطحی خلیج فارس در نواحی غربی آن در حدود 23°C و در نواحی مرکزی تا غرب تنگه‌ی هرمز 27°C است. در لایه میانی دمای آب دریای عمان بین 27°C تا 29°C است. دمای آب لایه میانی در غرب خلیج فارس در فصل پاییز در حدود 24°C و دمای آب‌های مرکزی تا غرب تنگه‌ی هرمز $27/5^{\circ}\text{C}$ تا 28°C است (شکل ۱۱). اختلاف دمای آب‌های سطحی در دو فصل تابستان و زمستان در حدود 4°C است در حالی که اختلاف دمای آب‌های لایه میانی در حدود 5°C بود که یک درجه با هم اختلاف دارند (شکل ۱۰ و ۱۱).

۳. نتایج مقطع قائم شوری و دما (cross section results of salinity and temperature)

مقطع قائم شوری در محدوده تنگه‌ی هرمز در راستای شمال به جنوب برای مقطع GH از شکل ۱ رسم شده است. در فصل زمستان آب نواحی شمالی تنگه‌ی هرمز دارای شوری بیشتری نسبت به فصل تابستان در حدود ۳۷/۶psu می‌باشد که یک لایه آب با شوری تقریباً یکسان از شمال تا جنوب تنگه‌ی هرمز پوشش داده است. در مناطق جنوبی آن با افزایش عمق، شوری آب نیز بیشتر می‌گردد در عمق‌های ۴۰ تا ۸۰ متری شوری آب ۳۸/۲psu می‌رسد که در عمق ۸۰ متری یک لکه آب با شوری ۳۸/۲psu قابل مشاهده است.

در فصل بهار نیز مانند فصل زمستان شوری سطحی در نواحی نزدیک سواحل ایران نسبت به نواحی جنوبی آن بیشتر است که در این فصل نیز با افزایش عمق، شوری افزایش می‌یابد و نواحی عمقی شوری ۳۸/۳psu نیز وجود دارد. در فصل تابستان آبی که در عمق‌های کمتر در سمت کشور ایران و نزدیک عرض جغرافیایی 27°N قرار دارند، شوری در حدود ۳۷/۴psu تا ۳۷/۶psu دارند و در عرض جغرافیایی 26°N تا $26/5^{\circ}\text{N}$ که از سواحل کشور عمان تا قسمت میانی می‌باشد، آب‌های سطحی در محدوده عمق بیشتر از ۱۰ متر دارای شوری ۳۷/۸psu می‌باشد و از عمق ۱۰ تا عمق ۸۰ متری به تدریج به شوری آن افزوده می‌شود. در عمق ۲۰ متری دارای شوری ۳۸psu و در عمق ۷۰ تا ۸۰ متری شوری آب به ۳۸/۶psu نیز می‌رسد که نشان می‌دهد در فصل تابستان آب شور خلیج فارس از ناحیه جنوبی و از نزدیک سواحل کشور عمان تا عرض جغرافیایی $26/2^{\circ}\text{N}$

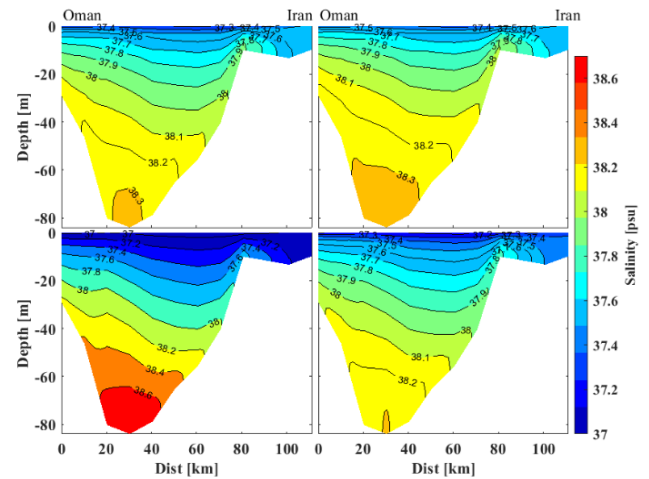
عمق مشاهده می‌گردد یعنی تغییرات در راستای افقی، ۴۰ کیلومتر و در راستای قائم، ۶۰ متر بوده است، زاویه محاسبه شده برای این شیب برابر 10×5 درجه است در نتیجه شیب گوه نمکی در راستای قائم بیشتر است. بنابراین زاویه‌ها برای دو فصل تابستان و زمستان، متفاوت و مقادیر بسیار کوچکی هستند. شیب گوه نمکی خروجی از خلیج فارس، در فصل تابستان $10 \times 3/8$ درجه و در فصل زمستان $10 \times 5/1$ درجه است که نشان از لایه‌بندی شدیدتر شوری در فصل تابستان نسبت به فصل زمستان است که با نتایج [۳۹] تطابق خوبی دارد که نشان دادند در فصل تابستان لایه‌بندی شوری بسیار قوی‌تر از فصل زمستان است.

در فصل پاییز مانند دیگر فصل‌ها شوری آب نواحی شرقی مقطع کمتر است اما نسبت به فصل زمستان شوری آن بیشتر شده است. در لایه‌های سطحی شوری آب $37/2$ psu و در قسمت غربی و در لایه‌های عمقی در حدود 38 psu است.

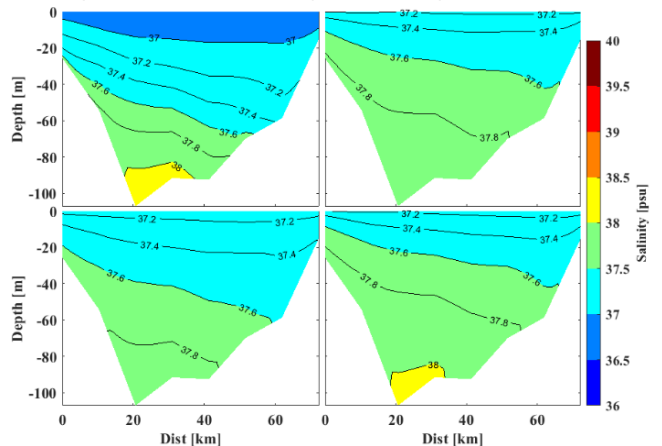
مقطع قائم دما برای تنگه هرمز برای مقطع HG رسم شده است (شکل ۱۳). در همه فصل‌ها، آب نواحی شمالی تنگه هرمز دارای دمای بیشتری نسبت به مناطق جنوبی و مرکزی آن دارند که این می‌تواند مربوط به آبی باشد که از دریای عمان و از طریق تنگه هرمز به سمت خلیج فارس در حال حرکت است و از سطح تا عمق اختلاف دمای برای فصل‌های زمستان حدود 3°C ، بهار و پاییز حدود $5/3^{\circ}\text{C}$ و فصل تابستان حدود 3°C است که در سطح، آب با دمای 30°C و در عمق دمای آن به 23°C در عمق ۸۰m رسیده است (شکل ۱۵). این نکات، با مطالعه [۳۶] که با مدل عددی ROMS کار کرده بودند، مطابقت دارد آن‌ها دمای آب سطحی را 29°C و دمای آب عمقی را 23°C به دست آورده بودند.

در فصل زمستان آب لایه سطحی در حدود $27/5^{\circ}\text{C}$ است و در ناحیه میانی آب با دمای بیشتر نیز دیده می‌شود که در نواحی جنوبی و در نزدیکی مرز کشور عمان، دمای آب کاهش یافته است و با افزایش عمق، دمای لایه‌های زیرین کاهش می‌یابد. در لایه‌های پایینی حجم بیشتری از آب دمای کمتری نسبت به دیگر فصول دارد که نشان می‌دهد توده‌ی خروجی که دارای چگالی بیشتری می‌باشد، به قسمت‌های عمیق‌تر نفوذ کرده است. در فصل بهار دمای آب سطحی مجاور سواحل ایران $27/5^{\circ}\text{C}$ و نواحی مرکزی مقطع، به 28°C رسیده است.

شکل مربوط به مقطع قائم دما برای فصل تابستان نشان می‌دهد که در نواحی شمالی تنگه هرمز، دمای آب‌های سطحی 29°C تا 30°C است که از سمت شمال به سمت جنوب تنگه هرمز افزایش دما دیده می‌شود. در نواحی مرکزی تنگه هرمز، دمای آب $30/5^{\circ}\text{C}$ است و در قسمت جنوبی تنگه هرمز از سطح تا عمق، دمای آب کاهش می‌یابد که در عمق‌های پایین دمای آب به 23°C رسیده است. در فصل تابستان لایه‌بندی دمایی نسبت به دیگر فصول بیشتر دیده می‌شود. در فصل پاییز در لایه سطحی دمای آب 28°C و در ناحیه میانی دمای آب $28/5^{\circ}\text{C}$ است و با افزایش عمق، دمای لایه‌های زیرین کاهش می‌یابد که دمای آب در بستر به 25°C رسیده است و در این فصل نیز تا حدودی لایه‌بندی دمایی مشاهده می‌شود (شکل ۱۴).



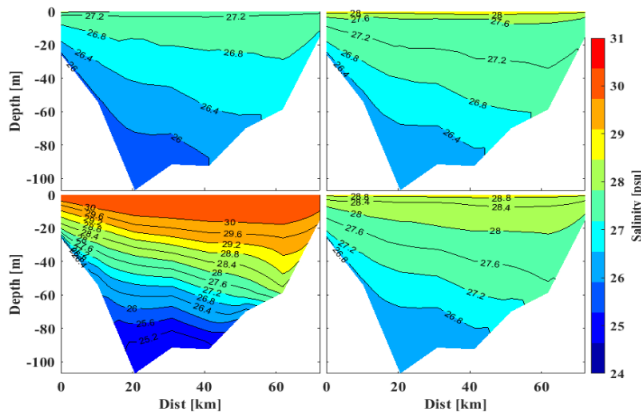
شکل ۱۲: مقطع قائم شوری در تنگه هرمز برای مقطع GH از شکل ۱، بالا از چپ به راست زمستان و بهار و پایین از چپ به راست، تابستان و پاییز



شکل ۱۳: مقطع قائم شوری در نزدیکی تنگه هرمز برای مقطع G-I از شکل ۱، بالا از چپ به راست زمستان و بهار و پایین از چپ به راست، تابستان و پاییز در شکل‌های ارائه شده، خروجی آب شور خلیج فارس مشخص شود

بنابراین از هر دو مقطع انتخابی در شکل ۱، که یکی در راستای شمالی-جنوبی و دیگری در راستای شرقی-غربی قرار دارند، مشاهده می‌گردد آب شور تر در نواحی جنوبی تنگه هرمز وجود دارد که بیانگر خروج آب شورتر خلیج فارس از ناحیه شرق تنگه هرمز است اما این آب شور حجم کمتری را اشغال کرده‌اند. این نتایج با نتایج مطالعه [۳۸] که نشان دادند در فصل تابستان آب شورتر از بخش جنوبی تنگه هرمز خارج می‌شود، مطابقت خوبی دارد [۳۸].

در فصل تابستان، مرز بین رنگ آبی کمرنگ و سبز (شوری $37/6$ psu) و یک مرز بین رنگ سبز و آبی کمرنگ در فصل زمستان (شوری $37/6$ psu) مشاهده می‌گردد که این مرزها شیب‌های متفاوتی دارند. در شکل مربوط به فصل تابستان، در فاصله حدود ۶۰ کیلومتری از عمق ۲۰ متر تا عمق ۶۰ متر این تغییر رنگ رخ می‌دهد یعنی در راستای طول، ۶۰ کیلومتر و در راستای قائم، ۴۰ متر اختلاف عمق وجود دارد که زاویه محاسبه شده برای این مرز برابر $10 \times 3/8$ درجه است. در شکل مربوط به فصل زمستان در فاصله ۴۰ کیلومتری از عمق ۲۰ متر به ۸۰ متر تغییر



شکل ۱۵: مقطع قائم دما در نزدیکی تنگه هرمز برای مقطع GJ از شکل ۱، بالا از چپ به راست زمستان و بهار و پایین از چپ به راست، تابستان و پاییز

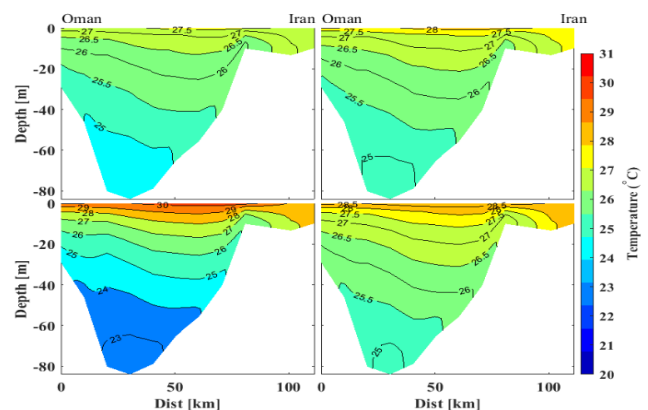
در طول فصل تابستان، توده‌ی خروجی، چگالی کمتری دارد، از این رو به عمق‌های کم نزدیک به مرزهای ساحلی گسترش می‌یابد. در طول فصل زمستان توده‌ی خروجی که دارای چگالی بیشتری می‌باشد، به قسمت‌های عمیق‌تر دریای عمان می‌رود. آب‌های شور خلیج فارس تا دهانه تنگه هرمز به خوبی در لایه‌های سطحی قابل مشاهده می‌باشد و از غرب تنگه هرمز به سمت دریای عمان در لایه‌های سطحی دیده نمی‌شود. در لایه‌های میانی دریای عمان آب‌هایی با مشخصات آب‌های خلیج فارس وجود دارد که می‌توان نتیجه گرفت که آب‌های سطحی که در غرب تنگه‌ی هرمز وجود داشتند، از آنجا به بعد به لایه‌های زیرین انتقال یافته و توده‌ی آب خلیج فارس از طریق ناحیه‌ی جنوبی تنگه‌ی هرمز به صورت جریان زیرسطحی خارج و به دریای عمان سرازیر می‌شود که مقطع‌های قائم شوری و همچنین گردش آب در لایه‌های میانی و عمقی این مطلب را به خوبی بیان می‌کنند و با نتایج [۳۶] مطابقت خوبی دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که توده‌ی آب خلیج فارس در فصل تابستان از طریق جنوب تنگه‌ی هرمز به صورت جریان زیرسطحی خارج می‌شود و در فصل زمستان این توده آب به عمق‌های بیشتر نفوذ می‌کند و از تنگه هرمز هم دورتر می‌گردد. در فصل تابستان توده آب با شوری ۳۷psu در محدوده عمق ۵۰ تا ۸۰ متری و در ۴۰ کیلومتری از سواحل کشور عمان که موقعیت دقیق آن در عرض جغرافیایی $25/4^{\circ}N$ و طول جغرافیایی $50^{\circ}E$ تا $56^{\circ}E$ است که در فصل زمستان از این ناحیه فاصله گرفته و به سمت طول‌های بیشتر از $57^{\circ}E$ پیشروی کرده و به عمق حدود ۱۳۰ تا ۱۵۰ متری و عمق‌های بیشتر هم نفوذ می‌کند. که با مطالعه [۲۴]، [۱۲] و [۳۷] توافق خوبی دارد. شیب گوه نمکی خروجی از خلیج فارس PGW، در فصل تابستان برابر $3/8 \times 10^{-2}$ درجه و در فصل زمستان $5/1 \times 10^{-1}$ درجه است که نشان از لایه‌بندی شدیدتر شوری در فصل تابستان نسبت به فصل زمستان است. در فصل تابستان سه لایه و در فصل زمستان و پاییز دو لایه از توده آب مشاهده می‌گردد. در فصل تابستان ترموکلاین دما وجود دارد، دما از $30/5^{\circ}C$ تا $24/5^{\circ}C$ کاهش می‌یابد، در حالی که هالوکلاین شوری خیلی محسوس نیست (شکل ۱۳)، یعنی شوری نسبتاً ثابت است که این شوری تقریباً ثابت مربوط به آب دریای عمان است.

مقطع قائم دما برای تنگه هرمز برای مقطع GJ در شکل ۱۴ رسم شده است. در فصل زمستان آب لایه سطحی در حدود $27/2^{\circ}C$ است و در ناحیه میانی دمای آب $25/5^{\circ}C$ است. در نواحی غربی مقطع و شرق تنگه هرمز دمای آب کاهش یافته است و با افزایش عمق، دمای لایه‌های زیرین کاهش می‌یابد. در فصل بهار دمای آب سطحی $28^{\circ}C$ و در لایه‌های زیرین $26^{\circ}C$ است.

شکل مربوط به مقطع قائم دما برای فصل تابستان نشان می‌دهد که دمای آب‌های سطحی $30^{\circ}C$ تا $31^{\circ}C$ است که آب با دمای بیشتر تا عمق بیشتری از نواحی شرقی مقطع را پوشش می‌دهد. در عمق‌های پایین دمای آب به $25^{\circ}C$ رسیده است و در این فصل لایه‌بندی دمایی نسبت به دیگر فصول بیشتر دیده می‌شود. در فصل پاییز در لایه سطحی دمای آب $28^{\circ}C$ و در ناحیه میانی دمای آب $28/5^{\circ}C$ است و با افزایش عمق، دمای لایه‌های زیرین کاهش می‌یابد که دمای آب در بستر به $26/7^{\circ}C$ رسیده است و در این فصل نیز تا حدودی لایه‌بندی دمایی مشاهده می‌شود (شکل ۱۵).

یافته‌ها و نتیجه‌گیری

خروجی‌های مدل در این مطالعه حاکی از وجود توده آب خلیج فارس با دما و شوری متفاوت در تنگه هرمز در طول سال می‌باشد که بیشترین میزان تبادل آب دریای عمان و خلیج فارس در فصل تابستان دیده می‌شود که با مطالعه‌های [۴] و [۵] منطبق است. آنان در آن مطالعات پس از تحلیل داده‌های گشت راپمی دریافتند که بیشترین نفوذ آب دریای عمان به شمال خلیج فارس در اواخر بهار و اوایل تابستان می‌باشد. در فصل تابستان ورود آب شور خلیج فارس به دریای عمان در حال کاهش و ورود آب کم شورتر در دریای عمان به خلیج فارس از ناحیه شمالی تنگه هرمز رو به افزایش است.



شکل ۱۴: مقطع قائم دما در تنگه هرمز برای مقطع GH از شکل ۱، بالا از چپ به راست زمستان و بهار و پایین از چپ به راست، تابستان و پاییز

مشارکت نویسندگان

نویسنده‌ی اول، به عنوان محقق اصلی پژوهش، تهیه‌ی داده‌ها، آماده‌سازی شبکه محاسباتی، آماده‌سازی فایل‌های ورودی مدل، اجرای مدل، پیش‌نویس اولیه مقاله و بحث و نتیجه‌گیری مقاله را عهده‌دار بودند. نویسنده‌ی دوم به عنوان استاد راهنما، مسئولیت هدایت تحقیق، هدایت بحث و نتیجه‌گیری مقاله را بر عهده داشتند. نویسنده‌ی سوم به عنوان مشاور گروه تحقیق، در چگونگی ایجاد شبکه، آماده‌سازی فایل‌های ورودی مدل و روش کار، راهنمایی‌های لازم را ارائه می‌نمودند.

تشکر و قدردانی

مقاله ارسالی حاصل رساله‌ی دکتری دانشگاه هرمزگان است که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۱۵ در شورای تحصیلات تکمیلی دانشگاه هرمزگان به ثبت رسیده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از دانشگاه هرمزگان جهت فراهم آوردن پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع

- of Hormuz. Journal of Geophysical Research Oceans, 2004.109(C12). doi:10.1016/0016/2003JC002145
- [7]. Yao F, Johns WE. A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 2. Formation and export of Persian Gulf Water. Journal of Geophysical Research Oceans, 2010. 115(C11). doi:10.1029/2009JC005788.
- [8]. Sugden W, The hydrology of the Persian Gulf and its significance in respect to evaporite deposition. American Journal of Science, 1963. 26i, 741-755.
- [9]. Johns W, Yao F, Olson D, Josey S, Grist J, Smeed D. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. Journal of Geophysical Research Oceans, 2003.108(C12). doi:10.1029/2003JC001881. doi:10.1029/2003JC001881
- [10]. Kämpf J, Sadrinasab M. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. Ocean Science, 2006. 2(1): 27-41. https://doi.org/10.5194/os-2-27-2006
- [11]. Ezam M, Bidokhti AA, Javid AH. Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea. Ocean Science, 2010. 6, 887-900. https://doi.org/10.5194/os-6-887-2010
- [12]. Meshal A, Hassan H. Evaporation from the coastal water of the central part of the Gulf. Arab Gulf Journal of Scientific Research, 1986. 4(2): 649-655
- [13]. Khodam N, Irannejad P, Ahmadi-Givi F. A Study of the Indian Monsoon Effect on Iran's Summer Climate, Iranian Journal of Geophysics, 2015. Volume 9, Number 2, Pages 52-66,
- [14]. Chao SY, Ka TW, Al-Hajri KR. A numerical investigation of circulation in the Arabian Gulf. Journal of Geophysical Research Oceans, 1992. 97(C7): 11219-11236. doi:10.1029/92JC00841
- [15]. Bower A, Hunt DH, Pricr JF. Character and dynamic of the Red Sea and Peasian Gulf outflows. Depatment of Physical Oceanography, 2000. Woods Hole Oceanographic Institution. http://dx.doi.org/10.1029/1999JC900297
- [16]. Premchand K, Sastry JS, Murty CS. Water mass structure in the western Indian Ocean, II, The spreading
- [1]. Emery WJ. Water types and water masses. Encyclopedia of ocean sciences, 2001. 6, 3179-3187.
- [2]. Emery WJ. Meincke J. Global water masses-summary and review, Oceanologica Acta, 1986. Vol. 9(4): 383-391.
- [3]. Tomczak M, Godfrey JS. Regional oceanography: an introduction. Elsevier. Pergamon Press, New York, 2013. 422P.
- [4]. Rynolds RM. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. Marine Pollution Bulletin, 1993. 27: 35-59. doi:10.1016/0025-326X(93)90007-7. doi:10.1016/0025-326X(93)90007-7
- [5]. Swift S A, Bower A S. Formation and circulation of dense water in the Persian/ Arabian Gulf, Woods Hole Oceanographic Institution. 2002. doi:10.1029/2002JC001360, 2003
- [6]. [6] Pous S, Carton X, Lazure P. Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 1. Strait

- University of Massachusetts-Dartmouth, New Bedford. 2006.
- [27]. Li B, Tanaka K R, Chen ., Brady D C, Thomas A. C. Assessing the quality of bottom water temperatures from the Finite-Volume Community Ocean Model (FVCOM) in the Northwest Atlantic
- [28]. Sharifian M K, Hejazi K, Nemati M H, HajiSalimi Z. Three DIMENSIONALdimensional modeling of general circulation in the Persian gulf using fvcom numerical model. 12 th International Conference on Coastal, Ports and Marine Structures, Tehran, 1395, <https://civilica.com/doc/815068>
- [29]. Akbari P, Sadrinasab M, Chegini V, Siadatmousavi M. "Tidal Constituents in the Persian Gulf, Gulf of Oman and Arabian Sea: a Numerical Study". (2016). India Journal of Geo-Marine Sciences Vol 45(8), August 2016 pp.1010-1016.
- [30]. <http://www.gebco.net>
- [31]. IOC, IHO and BODC, 2003. Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas, PUBLISHED on CD-ROM on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commissioner and the International Hydrographic Organisation as part of the General Bathymetric Chart of the Ocean. British Oceanographic data center, Liverpool.
- [32]. Brigham Young university, 2011. SMS-Surface Water Modeling System Reference Manual Version 10., Brigham young university-Environmental Modeling Reference Laboratory , Provo, UT
- [33]. <http://www.aquaveo.com>
- [34]. <https://hycom.org>
- [35]. MetOffice, 2018. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2018/17975-operational-sea-surface-temperature-and-ice-analysis-ostia-system.pdf>
- [36]. Layeghi B, Bidokhti A A, Ghader G, Azadi M. "Numerical simulations of oceanographic characteristics of the Persian Gulf and Sea of Oman using ROMS model." (2019). India Journal of Geo-Marine Sciences Vol. 48 (12), December 2019, pp. 1978-1989.
- and transportation of Persian Gulf water, Mausam, 1986. 37, 179-186.
- [17]. Prasad TG, Ikeda M, Kumar SP. Seasonal spreading of the Persian Gulf Water mass in the Arabian Sea. Journal of Geophysical Research Oceans, 2001. 106(C8), 17059-17071. doi:10.1029/2000JC000480
- [18]. Rochford DJ. Salinity maxima in the upper 1000 metres of the north Indian Ocean. Marine and Freshwater Research, 1964. 15(1): 1-24. <http://dx.doi.org/10.1071/MF9690001>
- [19]. <http://ropme.org/home.clx>
- [20]. Matsuyama M, Kitade Y, Senjyu T, Koike Y, Ishimaru T. Vertical structure of a current and density front in the Strait of Hormuz. Offshore Environments of the ROPME after the War related Oil-Spill, 1998. 23-34.
- [21]. Thoppil P G, Hogan P J. A modeling study of circulation and eddies in the Persian Gulf. Journal of Physical oceanography, (2010). 40(9), 2122-2134.
- [22]. Ghazi E, Bidokhti A, Ezam M, Azad M, Hassanzadeh S. Physical Properties of Persian Gulf Outflow Thermohaline Intrusion in the Oman Sea. Open Journal of Marine Science, 2017. 7, 169-190. doi:10.4236/ojms.2017.71013.
- [23]. Najafi H S, Modelling tides in the Persian Gulf using dynamic nesting, Ph.D. thesis, University of Adelaide, Adelaide, South Australia, 1997.
- [24]. Yao F, Johns W E, A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 1. Model configurations and surface circulation: Journal of Geophysical Research: Oceans, 2010 115(C11). <http://dx.doi.org/10.1029/2009JC005788>
- [25]. Chen C, Beardsley R C, Cowles G, Qi J, Lai ., Gao G, Stuebe D, Xu Q, Xue P, Ge J, Ji R. An unstructured grid, finite-volume community ocean model FVCOM user manual: Department of Fisheries Oceanography, 2013, SMAST. ETOPO2v2, 2006. doi: 10.7289/V5J1012Q. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2006.92>.
- [26]. Chen C, Beardsley R C, Cowles G. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model: FVCOM User Manual. SMAST/UMASSD Technical Report-06-0602,

- International Conference on West Asia Oceanography, September 2016, Tehran
- [39] .Ghazi .E, Bidokhti A A, Ezam M, Zoljoodi M. Study of Temperature and Salinity Inversions in the Oman Sea (1399). J Oceanography (JOC). 12(45): 16-27, Spring 2021
- [37] .Khalilabadi. M, 2016, Three-dimensional simulation of water circulation in the Oman Sea using MITgcm model, Journal of Hydrophysics, 2 (1), 61-68
- [38] .Azizpour. J, 2016 Calculation of water exchange, salinity and heat transfer in the Strait of Hormuz, the Second

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

معرفی نویسندگان

Soyuf Jahromi, M. Assistant Professor, Physical oceanography, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

✉ soyufjahromi@yahoo.com.au

0000-0002-7877-6277

Ramak, H., Department of Nonliving Resources of Atmosphere and Ocean, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

Akbari, A., Department of physics, Education office of Khoozestan Province, Education Ministry, Ahwaz, Iran

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:



Citation :

Dor: 20.1001.1.15621057.1401.13.52.8.3

<http://doi.org/10.52547/joc.13.52.8>
<https://orcid.org/0000-0002-7877-6277>
url: <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1716-fa.html>

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.