





## Investigate the effects of marine physical components on the water mass motion, study area: Makran west coast

Hosseinihamid, M.<sup>1</sup>  | Farzingohar, M.<sup>2</sup>  | Sadrinassab, M.<sup>3</sup>  | Layeghi, B.<sup>4</sup> 

1. PhD student University of Hormozgan, Department of Non-Living Atmospheric and Marine Science, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2. Associate Professor University of Hormozgan, Department of Non-Living Atmospheric and Marine Science, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
3. Associate Professor University of Tehran, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment University of Tehran, Tehran, Iran.
4. Head of the Deputy for Development, Forecasting and Crisis Management of Weather Hazards of Iran Meteorological Organization (IRIMO), Tehran, Iran.

**Corresponding Author E-mail:** [majidfizik@gmail.com](mailto:majidfizik@gmail.com)

(Received: 28 Mar 2024, Revised: 15 Sep 2024, Accepted: 01 Oct 2024, Published online: 01 Oct 2024)

### Abstract

Large-scale events in the sea are represented by changes in physical parameters. Temperature and salinity are two influencing marine parameters such as current patterns, which are also related to each other. The Oman Sea is influenced by the water basins of the Persian Gulf and the Arabian Sea. In winter, the direction of the current in Makran coast is generally northerly and from the Oman Sea to the Persian Gulf. In winter, the presence of superboiling phenomenon causes the intensification of this flow and its plume increases. In addition, the presence of winter monsoon also affects the movement of coastal currents in this region. MATLAB software showed the outputs of sea surface temperature and salinity. Also, Ramez's three-dimensional numerical model showed a temperature change of half to one degree Celsius in the area of Makran beach and its adjacent points in the winter season. The reason for that is the presence of the boiling phenomenon and the infiltration of cool water with low salinity from the deep parts of the Indian Ocean to these coasts. This cold ocean water plume in a vertical cut prevented the penetration of warm and salty surface flow from the Arabian Sea to the region. So that the temperature (C0 23.3) and the salinity of the Strait of Hormuz (psu 36.5) reached their minimum value in this season of the year. Also, examination of the field data of Chabahar coast shows a sudden decrease in salinity in Bahman and March (36.3) compared to the maximum salinity of this region at the end of June (37.4), which is due to the phenomenon of boiling.

**Keywords:** Oman Sea, Upwelling, Winter Monsoon, Surface Temperature and Salinity, Makran Coast

**Cite this article:** Hosseinihamid, M., farzingohar, M., sadrinassab, M., & layeghi, B. (2024). Investigate the effects of marine physical components on the water mass motion, study area: Makaran west coast. Journal of the Nivar, 48(126-127), 97-108. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.449846.1286>

**E-mail:** (2) [farzingohar@hormozgan.ac.ir](mailto:farzingohar@hormozgan.ac.ir) (3) [masoud.sadri@ut.ac.ir](mailto:masoud.sadri@ut.ac.ir) (4) [layeghi2001@yahoo.com](mailto:layeghi2001@yahoo.com)



## بررسی اثرات مولفه‌های فیزیکی دریایی بر نحوه حرکت توده‌های آب، منطقه مورد مطالعه: بخش غربی سواحل مکران

مجید حسینی حمید<sup>۱</sup> | مهرانز فرزینگر<sup>۲</sup> | مسعود صدری نسب<sup>۳</sup> | بهزاد لایقی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری فیزیک دریا، گروه علوم غیر زیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. استادیار دانشگاه هرمزگان، گروه علوم غیر زیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳. دانشیار دانشگاه تهران، گروه محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۴. سرپرست معاونت توسعه، پیش بینی و مدیریت بحران مخاطرات جوی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: [majidfizik@gmail.com](mailto:majidfizik@gmail.com)

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۹، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰)

### چکیده

رخدادهای بزرگ مقیاس دریایی با تغییر در مولفه‌های فیزیکی دریا بروز و ظهور می‌کنند. دما و شوری دو مولفه تاثیر گذار بر نحوه الگوی جریانات دریا می‌باشند که به یکدیگر وابسته و مرتبط‌اند. دریای عمان تحت تاثیر حوزه‌های آبی خلیج فارس و دریای عرب می‌باشد. جهت جریان در زمستان در بخش سواحل مکران عموماً بصورت شمال سو و از سمت دریای عمان به خلیج فارس است. در زمستان حضور پدیده فراجوشی باعث تشدید این جریان شده و زبانه نفوذ آن افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، پدیده فراجوشی ساحلی در حضور مانسون زمستانه نیز بر نحوه حرکت جریانات ساحلی منطقه تاثیر می‌گذارد. با بررسی خروجی دما و شوری سطحی سواحل شمالی دریای عمان توسط نرم افزار متلب و همچنین مدل سازی سه بعدی عددی رامز در فصل زمستان تغییرات دمایی نیم تا یک درجه سلسیوس در محدوده ساحلی مکران نسبت به نقاط مجاور دیده شد که نشان دهنده حضور پدیده فراجوشی و تزریق آب خنک با شوری کم از نقاط عمیق اقیانوس هند به این سواحل می‌باشد. این پلوم آب سرد اقیانوسی در یک برش قائم مانع نفوذ جریان گرم و شور سطحی از دریای عرب به منطقه شد. بطوریکه در تنگه هرمز دما ( $23/3^{\circ}\text{C}$ ) و شوری (۳۶/۵ psu) در این فصل از سال به کمینه مقدار خود رسید. همچنین بررسی داده‌های میدانی ساحل چابهار نشان از کاهش ناگهانی شوری در ماه بهمن و اسفند (۳۶/۳ psu) نسبت به بیشینه شوری این منطقه در آخر خرداد (۳۷/۴ psu) دارد که دال بر حضور پدیده فراجوشی می‌باشد. این تغییرات شوری به همراه ورود جبهه‌ی جدیدی از سمت دریای عرب همراه می‌شود بطوریکه در فصل بهار با ورود آب شور از سمت دریای عرب، شوری در سواحل غربی دریای عمان افزایش و در تابستان این شوری به اوج خود رسید. هم زمان جبهه جریانات سطحی از سمت دریای عرب به سمت تنگه هرمز پیشروی می‌کند که باعث کاهش شوری برای سواحل غربی ایران شد.

**کلیدواژه‌ها:** دریای عمان، فراجوشی، مانسون، دما و شوری سطحی، سواحل مکران

**استناد:** حسینی حمید، مجید، فرزین گهر، مهرانز، صدری نسب، مسعود، و لایقی، بهزاد. (۱۴۰۳). بررسی اثرات مولفه‌های فیزیکی دریایی بر نحوه حرکت توده‌های آب، منطقه

مورد مطالعه: بخش غربی سواحل مکران. مجله نیوار، ۴۸ (۱۲۶-۱۲۷)، ۹۷-۱۰۸. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.449846.1286>

رایانامه: (۲) [farzingohar@hormozgan.ac.ir](mailto:farzingohar@hormozgan.ac.ir) (۳) [masoud.sadri@ut.ac.ir](mailto:masoud.sadri@ut.ac.ir) (۴) [layeghi2001@yahoo.com](mailto:layeghi2001@yahoo.com)

ناشر: سازمان هواشناسی کشور.



DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.449846.1286>

## ۱. مقدمه

دریای عمان یک پهنه‌ای آبی و خلیجی است که از غرب به تنگه هرمز، خلیج فارس و از شمال به ایران، از شرق به اقیانوس هند و از جنوب به کشور عمان محدود می‌شود. دریای عمان، پیشروی آب اقیانوس هند به داخل خشکی در جنوب غربی آسیا است. سواحل شرقی ایران در شمال آن و کشورهای عمان و امارات در جنوب آن قرار دارند. طول ساحل ایران در امتداد دریای عمان، از خلیج گواتر تا بندرعباس، ۷۸۴ کیلومتر است. مدار رأس‌السرطان از شمال آن عبور می‌کند و از این رو این دریا در منطقه گرم کره زمین واقع است. حداکثر درجه حرارت سطح آب در مرداد ماه  $33^{\circ}\text{C}$  و در دی ماه دست کم  $19/8^{\circ}\text{C}$  می‌شود. عمق این دریا از خلیج فارس بیشتر است. مساحت آن ۹۰۳ هزار کیلومتر مربع بوده و عمق این دریا در اطراف چابهار حدود ۳۳۹۸ متر و حد اکثر عمق دریا در محدوده آب‌های ساحلی ایران در قسمت میانه به بیش از ۲۰۰۰ متر می‌رسد. هرچه به سوی غرب این دریا پیش برویم، عمق آن به سرعت کم می‌شود تا جایی که در نزدیکی تنگه هرمز به ۷۳ متر می‌رسد (کمجان و همکاران، ۲۰۱۲).

برای بررسی رفتار توده‌های آب دریا و اقیانوس نیاز به داشتن برخی مولفه‌های دریایی می‌باشد. از جمله مولفه‌های فیزیکی می‌توان به دما، شوری، نرخ تبخیر آب، باد، شار گرمای خالص در سطح دریا نام برد. بطور مثال توده‌های آب دریای چین جنوبی تنوع پیچیده‌ای دارند که با توجه به نفوذ آب شور استوایی اقیانوس آرام شمالی و آب کم شور میانی اقیانوس آرام شمالی، دارای لایه بندی‌هایی به صورت آب‌های سطحی، آب‌های زیرسطحی، آب‌های میانی و آب‌های عمیق طبقه بندی می‌شوند (هو و همکاران، ۲۰۲۰). تغییر در مولفه‌های فیزیکی دریایی می‌تواند بر گردش عمومی آب اقیانوس ها تاثیر بگذارد (سیلوی و همکاران، ۲۰۲۰).

بررسی مولفه‌های فیزیکی، نشان دهنده و پیش بینی کننده رخداد‌های دریایی و نحوه حرکت و پخش انواع آلاینده‌هایی دریایی می‌باشند. داشتن دمای سطحی و شوری دریای عمان و خلیج فارس در کنار رخداد‌های کوچک و بزرگ طبیعی

که هر ساله در این دریاها رخ می‌دهند همگی نقش مهمی در روند حرکتی توده‌های آب سطحی و زیرسطحی این دریا دارند. لشکری و همکارانش در خصوص توده‌های آب در دریای عمان بیان می‌کنند که توده‌های آب متفاوتی در دریای عمان ممکن است راه یابند مانند توده آب عمیق شمال اقیانوس هند، اما دو توده آب خلیج فارس و توده‌های آب سطحی اقیانوس هند، به عنوان توده‌های اصلی در منطقه دریای عمان می‌باشند. توده خلیج فارس ضمن خروج از تنگه هرمز و سرازیر شدن به دریای عمان در مجاورت سواحل کشور عمان، با توده‌های آب مجاور با شوری کمتر مانند آب کمتر شور اقیانوس هند اختلاط می‌یابند و ضمن کاهش چشمگیر شوری، در نهایت با رسیدن به شناوری خنثی در عمقی ادامه مسیر می‌دهند. یک توده سطحی اقیانوسی در شمال خلیج عمان جریان دارد به طوری که آب شورتر از قسمت جنوبی و نزدیک سواحل عمان از این تنگه خارج می‌شود. هنگامی که جریان خروجی خلیج فارس وارد دریای عمان می‌شود، به تدریج از بستر جدا شده و روی شیب قاره به طرف مناطق عمیق‌تر نفوذ می‌کند (لشکری و همکاران، ۲۰۲۳). صدوری‌نسب با استفاده از مدل هیدرودینامیکی سه بعدی کوهرنس زمان‌های تخلیه کامل خلیج فارس که یک مصب معکوس تبخیر محور است را مورد مطالعه قرار داد و نشان داد که توسط ورود آب‌های سطحی از مجاور اقیانوس هند به سمت خلیج و خروج آب شور از پایین خلیج فارس از طریق تنگه هرمز در طول بهار و تابستان باعث ایجاد یک چرخند شده که در طول پاییز و زمستان، این گردش قطع می‌شود (صدوری‌نسب و کامپ، ۲۰۰۴).

از جمله رخداد‌های تاثیرگذار بر مولفه‌های فیزیکی دریای عمان پدیده مانسون فصلی و فراجوشی در سواحل مکران می‌باشد. این پدیده‌های بزرگ مقیاس دریایی باعث جابجایی توده عظیم آب در دریا می‌شوند. سن و همکارانش در یک مطالعه به بررسی تغییرپذیری جابجایی فصلی جریان‌های مرزی اقیانوس هند شمالی پرداختند، به ویژه، جریان ساحلی هند شرقی در خلیج بنگال، جریان ساحلی هند غربی در

در یک مطالعه با استفاده از مدل عدد MIT gcm<sup>3</sup> به مدل سازی جبهه‌ی سطحی دریای عمان پرداختند. نتایج مدل نشان دهنده‌ی وجود جبهه‌ی رأس الحد در سواحل جنوبی دریای عمان است که پهنا و گستردگی آن به صورت مکانی و زمانی تغییر کرده و در زمستان به علت شدت وزش بادهای شمال غربی، پهن تر و گسترده تر می شود ولی این روند در تابستان و پاییز گستردگی کمتری خواهد داشت. همچنین بیشینه اختلاف چگالی بین شمال و جنوب دریای عمان در زمستان  $1/3 \text{ kg/m}^3$  و کمینه ی اختلاف چگالی در پاییز  $1/3 \text{ kg/m}^3$  و محاسبه شد (یزدان فر و همکاران، ۲۰۱۸). تبادل آب بین خلیج فارس و دریای عمان باعث می شود آب حالت دو لایه داشته باشد. اختلاط افقی این جریانات باعث شکل گیری زبانه‌های شورتر تر موها لاینی می شود که با گرادیانهای افقی دما و شوری همراه هستند. وقتی این جریان درون لایه‌ها تنظیم شود می تواند تا هزاران کیلومتر پیش رفته و بر روی لایه بندی اقیانوس و گردشهای اقیانوسی اثر بگذارد. این جریانات نقش مهمی در دینامیک اقیانوسها دارند (بیدختی و کاشانی، ۲۰۰۳). مولفه‌های فیزیکی دریایی با یکدیگر در ارتباط بوده بطوری که تغییر در یکی باعث ایجاد تغییر در دیگران می شود. وو و همکارانش در یک تحقیق به کمک جفت کردن مدل‌های رامز با WRF<sup>4</sup> و SWAN<sup>5</sup> به مطالعه برهمکنش دریا-هوا بین سطح بالای اقیانوس و طوفان‌ها در دریای چین جنوبی پرداختند. در هنگام برخورد یک طوفان، تبادل شار گرمایی قوی بین جو و اقیانوس بوجود می آید و میدان‌های فیزیکی مانند میدان باد، میدان موج، میدان جریان و میدان دمای سطحی دریا نیز با یکدیگر تعامل دارند. طوفان کای تاک با استفاده از این مدل کاملا جفت شده و برخی از طرح های جفت شده دیگر شبیه سازی شد. در این مقاله، تغییرات دمای سطح دریا و دمای زیرسطحی اقیانوس ناشی از طوفان کای تاک توسط مدل تحلیل شده و ویژگی‌های اساسی پاسخ لایه بالایی اقیانوس به طوفان ارائه شده است (وو و همکاران، ۲۰۱۹).

دریای عرب و جریان سومالی در اقیانوس هند استوایی با استفاده از سیستم مدل سازی اقیانوسی (ROMS)<sup>1</sup> با ورودی رودخانه پرداخته شد، نتایج این شبیه سازی نشان می دهد که جریان ساحلی هند شرقی به سمت شمال در ماه مارس به اوج می رسد و میانگین انتقال آن در طول فوریه تا آوریل ۲/۶۵ سیورت است. این جریان به سمت جنوب تا عمق ۲۰۰ متری گسترش می یابد. جریان ساحلی هند غربی به سمت شمال که تا عمق ۱۰۰ متری امتداد دارد، توده ای به اندازه ۰/۳۱ سیورت را در امتداد سواحل غربی هند در طول باران-های موسمی زمستانی منتقل می کند. این مطالعه نشان داد که تنش باد نقش حیاتی در معکوس شدن شش ماهه جابجایی توده آب ایفا می کند (سن و همکاران، ۲۰۲۲). اسماعیل پور و همکارانش با بررسی این پارامترها و مدلسازی دریای عرب در یک دوره هشت ساله نشان دادند که میانگین دمای سطح دریا ۰/۳۶ درجه سلسیوس و میانگین شوری سطح دریا نیز  $0/4 \text{ psu}^2$  افزایش داشته که آنرا بدلیل افزایش عواملی نظیر تبخیر سطحی در دریای عرب، تنش بادهای مونسونی، وارونگی های جریانی و شار گرمای خالص دانستند (ملا اسماعیل پور و همکاران، ۲۰۱۹).

این تغییرات فیزیکی می توانند بر روی میزان شوری لایه های مختلف دریا تاثیر بگذارند که نتیجه آن تغییر در الگوی چرخشی جریان دریا می شود. در یک پژوهش قاضی و همکارانش مقدار بیشینه دما و شوری دریای عمان را در زمستان  $21/4 \text{ }^\circ\text{C}$  و در تابستان  $30/1 \text{ }^\circ\text{C}$  و  $37 \text{ psu}$  اندازه گرفتند بطوریکه بیشینه شوری در عمق پایین-تری نسبت به بیشینه دمایی قرار دارد. این پژوهش نشان داد که در زمستان تغییرات لایه های نفوذی در برشهای مقطعی شوری بیشتر از دما است (قاضی و همکاران، ۲۰۲۱). امروزه با داشتن مولفه های فیزیکی می توان به مدلسازی عددی منطقه پرداخت. استفاده از مدلسازی عددی به دانشمندان تصویر واضحی از نحوه اندرکنش با وقایع آبی مانند بررسی نحوه پخش آلودگی های دریایی را می دهد. یزدانفر و همکارانش

<sup>1</sup> Regional Ocean Modeling System

<sup>5</sup> SWAN is a third-generation wave model

<sup>2</sup> Practical Salinity Units

<sup>3</sup> The MIT General Circulation Model

در پاییز مرزی و قدرتمند می‌باشد. این مدل نشان داد که جریان ورودی به خلیج فارس دارای شوری کمتر و سرعت بیشتری نسبت به جریان خروجی از آن دارد (کرمی، ۲۰۲۱).

## ۲. روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) مربوط به سواحل شمالی دریای عمان در محدوده کشور ایران، بین بندر پشتی تا تنگه هرمز می‌باشد. دریای عمان از قسمت جنوبی متصل به دریای عرب و در بخش شمال غربی به خلیج فارس متصل می‌باشد.

### ۱-۲. مدل‌سازی سه بعدی منطقه

مدل هیدرودینامیکی ROMS روی شبکه نامنظم، برای مناطق عمیق و کم عمق کاربرد دارد. این مدل از نوع سطح آزاد و زمین مرجع است که معادلات میانگین‌گیری شده‌ی رینولدزی را به کمک تقریب‌های هیدروستاتیکی و بوسینسکی بر اساس روش تفاضل محدود حل می‌کند (حسینی و همکاران، ۲۰۱۷). در این مدل از شبکه بندی C با دقت بالا در ۱۳ لایه عمودی از سطح تا کف برای بررسی لایه‌های مختلف دریای عمان استفاده شد (شکل ۱). در شکل ۱ لایه بستر دریا در پایین‌ترین عمق برابر با ۳۳۹۴ متر شروع و با حرکت به سمت سطح آب لایه‌های ایجاد شده به یکدیگر نزدیکتر شدند.

Vertical S-coordinate System,		
level	S-coord	at hmax
13	0.0000000	0.000
12	-0.0769231	-8.791
11	-0.1538462	-19.321
10	-0.2307692	-33.706
9	-0.3076923	-54.900
8	-0.3846154	-87.330
7	-0.4615385	-137.861
6	-0.5384615	-217.284
5	-0.6153846	-342.652
4	-0.6923077	-540.982
3	-0.7692308	-855.110
2	-0.8461538	-1352.980
1	-0.9230769	-2142.376
0	-1.0000000	-3394.294

شکل ۱. نحوه لایه بندی دریای عمان از بستر دریا تا سطح

داده‌های هندسه بستر و شرایط اولیه برای سال ۲۰۰۰ میلادی به ترتیب از مجموعه داده‌های ETOPO1 با دقت ۲ کیلومتر

مولفه‌های دما و شوری یکی دیگر از عوامل مهم و تاثیرگذار بر نحوه پخش آلودگی می‌باشند، ژیا شن به کمک یک مدل عددی سه بعدی و بر اساس تغییر بر پارامترهای دما و شوری آب به بررسی نحوه پخش آلودگی در دریا پرداخت. او نشان داد که تغییرات در میزان شوری نشان از تغییر جریان در منطقه دارد (شن و همکاران، ۲۰۲۲).

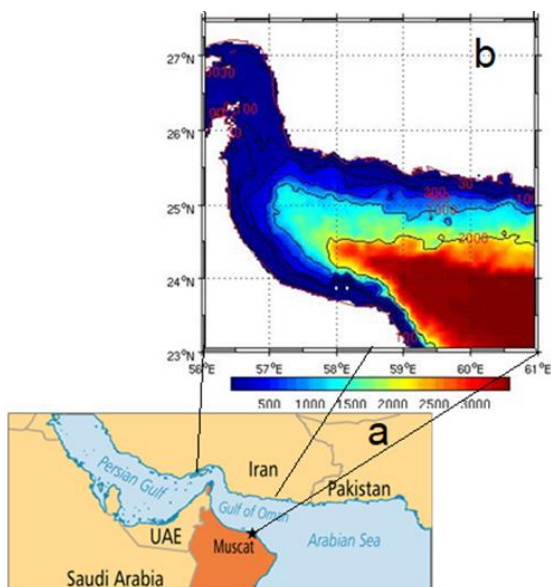
از جمله عوامل مهم تاثیر گذار بر میزان دما و شوری آب دریا می‌توان به حضور چرخنده‌های بزرگ مقیاس اقیانوسی و پدیده‌های فراجوشی و فروجوشی اشاره کرد که می‌تواند با برهم زدن نحوه جریان‌های دریایی بر چرخش پساب خروجی از تاسیسات صنعتی مانند آب شیرین کن‌های دریایی اثر بگذارد. نایف الجهانی در ساحل جنوب شرقی دریای سرخ عربستان با استفاده از یک مدل عددی سه بعدی (Delf) به مطالعه اثرات زیست محیطی مرتبط با پساب ناشی از کارخانه نمک‌زدایی آب دریا پرداخت. او نشان داد که چرخاب‌های منطقه‌ای فصلی می‌توانند بر الگوی پخش پساب در دریا تاثیر بگذارند (الجهانی و همکاران، ۲۰۲۲). فراجوشی لایه‌های عمیق‌تر اقیانوس را به سطح می‌آورد و باعث خنک شدن آب‌های سطحی می‌شود. فراجوشی همچنین با سرد کردن دمای سطح دریا و تحت تاثیر برهمکنش‌های هوا - دریا در ارتباط با تغییرات دمای سطحی، آب و هوا را متأثر می‌کند (ایزومو و همکاران، ۲۰۰۸).

کارمی در تحقیق خود یکی دیگر از عوامل موثر بر پخش آلودگی در دریای عمان را وجود جریان‌های قوی در این دریا و ارتباطشان با خلیج فارس و اقیانوس هند بیان کرد. جریان‌های سطحی و زیر سطحی دریایی از اهمیت بالایی در مطالعات دریایی برخوردارند. این جریان‌ها می‌توانند عامل مهمی در انتقال چگالی و آلاینده‌ها در محیط‌های اقیانوسی محسوب شوند. محدوده آبی خلیج فارس و دریای عمان از مهمترین آبراه‌های دنیا به شمار می‌روند. در این پژوهش، از داده‌های جریان در مدل HYCOM<sup>1</sup> بهره گرفته شد و نتایج حضور قوی‌ترین جریان‌های دریای عمان در پاییز و زمستان را نشان داد. شکل جریان‌ها در زمستان به صورت چرخه‌ای و

<sup>1</sup> HYbrid Coordinate Ocean Model

میدانی پژوهشگاه ملی در تاریخ ۷ دی سال ۱۳۹۲ مقدار  $23^{\circ}\text{C}$  درجه ثبت گردید که درصد خطای نسبی ۳ درصد بدست آمد. همچنین در خروجی مدل مقدار شوری برای ساحل چابهار در تاریخ ۲۲ ژانویه (۳ بهمن) مقدار  $36/5\text{psu}$  مشاهده شد که این مقدار بر اساس داده‌های میدانی برای تاریخ ۱ بهمن مقدار  $36/3\text{psu}$  ثبت گردید که میزان درصد خطای نسبی ۵ درصد بدست آمد که نشان از دقت بالای خروجی های این مدل می باشد.

در شکل ۲ بر اساس خروجی مدلسازی انجام شده، عمق دریای عمان در منطقه مورد پردازش به بیش از ۳۰۰۰ متر نیز می رسد (b). عمق سنجی بر اساس تفکیک رنگی در تصویر مشخص گردید، مشاهده می گردد که مقدار عمق در قسمت های میانی و شرقی بیشتر از سایر نقاط می باشد و با پیشروی به سمت تنگه هرمز مقادیر عمق کاهش پیدا کرده بطوریکه کمترین عمق در محدوده تنگه هرمز هشتاد متر می باشد که با نتایج تحقیق کمیجانی و همکاران در سال ۲۰۱۲ همخوانی دارد.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی دریای عمان (a) و عمق سنجی دریای عمان (b) مربوط به فصل زمستان حاصل از مدلسازی عددی رامز (سال ۲۰۰۰)

و مجموعه داده‌های WOA استفاده شد (جدول ۱). با استفاده از برنامه ROMS\_AGRIF تحت متلب، خروجی های دما و شوری و سایر مولفه های فیزیکی مورد نیاز مدل محاسبه و خروجی بصورت تصاویر رنگی بدست آمد. در این تحقیق خروجی های دمای سطحی و شوری سطحی این نرم افزار بطور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت (پنون و همکاران، ۲۰۱۰). علاوه بر آن از این مولفه های دریایی به عنوان ورودی به مدل عددی ROMS استفاده شد و تصاویر حاصل از خروجی این مدل بر اساس مولفه های فیزیکی مورد بررسی قرار گرفت. در این مدلسازی عددی منطقه مورد نظر بر اساس شبکه بندی  $0.05 \times 0.05$  درجه  $(2\text{ km} \times 2\text{ km})$  شبکه بندی و مدل در حالت پایدار اجرا شد.

کاربرد	منابع	فایل شرایط اولیه و مرزی
شبکه	-	Roms_grid.nc
اولیه	WOA98& Ingrid.ldgo.colombia.edu	Roms_ini.nc
نیرو	Atlas of Surface Marine Data 1994	Roms_forcing.nc
هواشناسی	WOA98& Ingrid.ldgo.colombia.edu	Roms_clim.nc
مرزی	WOA98	Roms_bry.nc

چگالی متوسط آب دریا برای تقریب بوسینسکی مقدار  $1025\text{ kg/m}^3$  و ضرایب پخش قائم برای پارامترهای دما و شوری در آب دریا  $5 \times 10^{-6}$  و ضرایب دراگ در حالت خطی  $3 \times 10^{-4}$  قرار داده شد.

جدول ۱. آماده سازی داده های مدل و نرم افزار

در نتیجه تعداد نقاط شبکه در راستای محور افقی ۲۴۹ و در راستای محور قائم ۲۴۸ نقطه بدست آمد (شکل ۲) و موقعیت مکانی کارخانه آبشیرین کن فرضی در بندرجاسک با مختصات شبکه  $(i=107, j=139)$  انتخاب گردید. برای بررسی دقت مدل، نتایج بدست آمده با داده های میدانی در بندر چابهار مقایسه گردید. در خروجی مدل دمای سطحی دریا در منطقه چابهار در تاریخ ۱ ژانویه (۱۲ دی) مقدار  $23/7$  درجه سلسیوس بدست آمد و این مقدار بر اساس داده های

### ۳. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

#### ۱-۳. بررسی پارامترهای فیزیکی دریای عمان

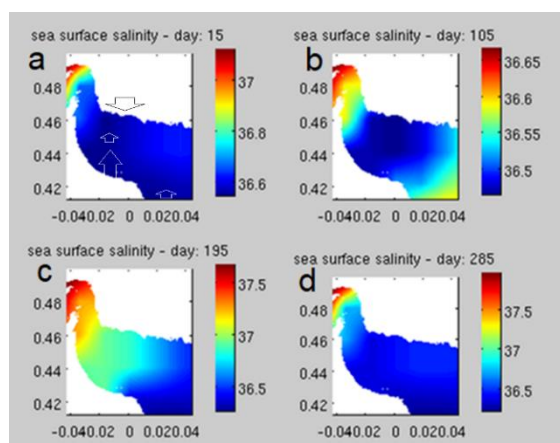
همواره ارتباط معنی‌داری بین پدیده‌های آب و هوایی در مقیاس جهانی وجود دارد. طی این سازوکار، تغییرات در الگوی‌های دما یا فشار در مناطقی از کره‌ی زمین از طریق سامانه‌های بزرگ مقیاس میانی به نواحی دیگر منتقل شده و به صورت‌های مختلف، شرایط جوی و آب و هوایی را متأثر می‌سازند. دانشمندان در بیشتر موارد با بررسی پارامترهای فیزیکی به نحوه این سازکار اقیانوسی پی ببرند. بر این اساس در این تحقیق به بررسی مولفه‌های شوری و دمای سطحی در دریای عمان پرداخته شد. این خروجی‌ها توسط نرم افزار Roms\_Agrif و بر اساس داده‌های جدول ۱ بدست آمد.

#### شوری سطح دریا<sup>۱</sup>

شوری یک عامل مهم در بحث چرخه‌های دریایی است و واحد اندازه‌گیری آن در دریا psu می‌باشد. رجبی کیاسری در تحقیق خود شوری سطح دریا را یک مولفه ژئوفیزیکی مهم در مطالعه تغییرات جوی زمین و عاملی بنیادی برای درک دینامیک دریا، تغییرات جوی، تبادل انرژی با اتمسفر و چرخه جهانی معرفی نمود. او همچنین بیان می‌کند که عوامل متعددی همچون دمای سطح آب، تبخیر، رسوب، بارندگی و کلروفیل روی پارامتر شوری تأثیر دارند (رجبی و حسنلو، ۲۰۱۵). از طرف دیگر شوری نقش مهمی در تبادل انرژی بین اقیانوس و اتمسفر بازی می‌کند (اسپریتال و تامزاک، ۲۰۰۸).

شکل ۳ به صورت خروجی netCdf به بررسی شوری سطحی دریای عمان در فصول مختلف برای زمستان (a)، بهار (b)، تابستان (c) و پاییز (d) می‌پردازد. شوری دریای عمان به دلیل تبادل توده‌های آب شور خلیج فارس و آب کم شور دریای عرب رخ می‌دهد. تغییرات شوری برای این چهار روز (به نمایندگی از فصول مختلف سال ۲۰۰۰ میلادی) در بخش غربی ساحل و در محدوده بندر جاسک از مقدار ۳۶/۶ psu در پانزدهمین روز از فصل زمستان (شکل a) به حدودا psu ۳۷ (شکل c) در روز پانزدهم از فصل تابستان می‌رسد. بر

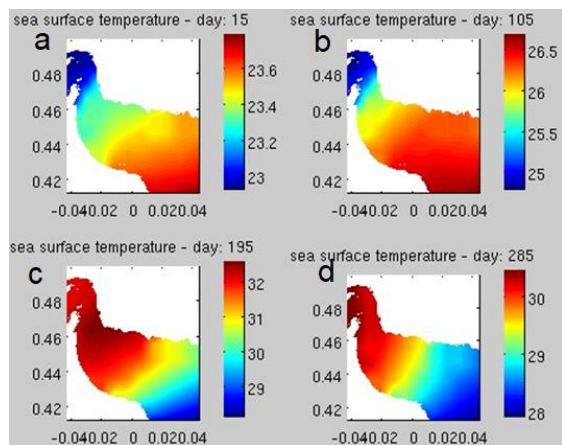
اساس این تصاویر شوری این بخش از دریا به همراه ورود جبهه‌ی جدید از سمت دریای عرب دچار تغییر شد بطوریکه در فصل بهار (b-۳) با ورود آب شور از سمت دریای عرب، شوری در سواحل غربی دریای عمان افزایش و در تابستان این شوری به اوج خود رسید. هم زمان یک جبهه جریان‌ات سطحی از سمت دریای عرب به سمت تنگه هرمز پیشروی کرد به طوری که باعث کاهش شوری برای سواحل (شکل - ۳d) شد که نشان از بروز پدیده فراجوشی در سواحل کشور ایران می‌باشد. پدیده فراجوشی با سرد کردن دمای سطح دریا و تحت تأثیر برهمکنش‌های هوا - دریا باعث تغییرات دمای سطحی و تغییرات آب و هوایی در منطقه می‌باشد که با نتایج کار ایزومو و همکاران در سال ۲۰۰۸ میلادی همخوانی دارد. بطور کلی در خلال مانسون‌های زمستانه (a-۳) و تابستانه (c-۳) میزان شوری دریای عمان دچار تغییر می‌گردد بطوریکه با ورود آب کم شور اقیانوسی میزان شوری ساحل دریا با مناطق مجاورش تغییر میکند. در شکل (a-۳) شوری مناطق نزدیک به تنگه هرمز به نقاط شرقی منتقل نشده و در نتیجه با تجمع شوری در تنگه هرمز مواجه می‌شویم به طوری که میزان شوری در این ناحیه بیشتر از سایر فصول (۳۷/۶ - ۳۷) psu می‌شود. این نتایج تطابق خوبی با نتایج تحقیق شانکار و همکاران (۲۰۰۲) و همچنین پراسادا و ایکیدا (۲۰۰۲) دارد.



شکل ۳. بررسی شوری سطحی دریای عمان برای روز پانزدهم شروع هر فصل: زمستان (a)، بهار (b)، تابستان (c)، پاییز (d)

<sup>1</sup> Sea surface salinity

حرکت توده آب گرم در این فصل از سمت خلیج بنگال به دریای عرب و نفوذ آن به سمت دریای عمان می‌باشد، سازگاری دارد. در این حالت کمترین مقدار دمایی دریای عمان برای تنگه هرمز ثبت شد (چانداران و همکاران، ۲۰۱۵ و پراساد، ۲۰۰۴). این وارونگی دمایی در فصل تابستان (۴-۳) خود را با ورود مانسون تابستانه نمایان می‌کند و آب سرد از سمت دریای عرب وارد دریای عمان می‌شود. این داده‌ها با نتایج بدست آمده از تحقیق دیونگ و لیتما که پدیده فراجوشی را علت سرمایش تابستانه در قسمت شمالی دریای عرب دانستند (دیونگ و لیتما، ۱۹۸۰)، همخوانی دارد.



شکل ۴. دمای سطحی دریای عمان برای روز پانزدهم شروع هر فصل:

زمستان (a)، بهار (b)، تابستان (c) و پاییز (d)

مانسون‌های تابستانه و زمستانه دریای عمان عامل شکل‌گیری پدیده‌های فرا جوشی و فرو جوشی می‌باشند. آنها بخشی از مانسون‌های اقیانوسی هستند که از طریق دریای عرب وارد این دریا می‌شوند. ویژگی اصلی دریای عربی بادهای مانسون وارون‌پذیر فصلی آن می‌باشند. این بادهای از جنوب غربی در خلال مانسون تابستانه (از مه تا آگوست) و از شمال شرقی در خلال مانسون زمستانه (از نوامبر تا فوریه)، در جهت‌های مخالف هم و با شدت‌های متفاوت بر پهنه دریای عرب می‌وزند، جهت این بادهای دو بار در سال معکوس می‌شود (هلرمن و روزناشتاین، ۱۹۸۳). این بادهای باعث می‌شوند، جهت گردش جریانها در خلال مانسون تابستانه به سمت شرق و زمستانه به سمت غرب باشد.

بردارهای موجود در شکل ۳-a نشان دهنده کاهش شوری ۰/۲ واحدی در منطقه ساحلی مکران غربی دارد که نشان از بروز پدیده فراجوشی است. این افت شوری بدلیل حضور پدیده فراجوشی و همچنین ورود مانسون زمستانه در این ساحل می‌باشد که اولی آب سرد را از قسمت‌های عمیق اقیانوس هند و دومی آب تقریباً گرم سطحی را از دریای عرب به این مکان می‌آورد. هر دوی این جریانات باعث کاهش شوری در سطح دریای عمان شدند.

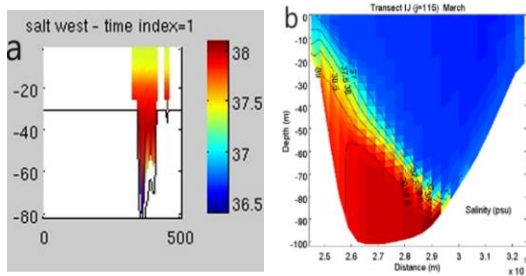
### دمای سطح دریا $SST^1$

دمای سطحی دریاها که دمای یک یا دو متری سطح دریا می‌باشد، به‌عنوان ویژگی فیزیکی مهم در دریا‌های جهان به شمار می‌رود. دمای سطحی دریا در حالت کلی وابسته به عرض‌های جغرافیایی است، به طوری‌که گرمترین آبها در نواحی استوایی و سردترین آنها در نزدیکی قطب‌ها یافت می‌شوند. زمانی که اقیانوسها گرمای بیشتری را جذب می‌کنند، دمای سطح آب افزایش می‌یابد و می‌تواند باعث ایجاد تغییر در الگوی چرخش اقیانوسی در جهان و منطقه شود (ایپا، ۲۰۱۶).

مولفه‌های دمای سطحی دریا و شوری و لایه آمیخته همواره با یکدیگر در ارتباط می‌باشند. به طوری که تغییر در یکی بر روی دیگران نیز تاثیر می‌گذارد. آهنگ تغییرات گرمایشی در اقیانوس هند سهم عمده‌ای در کاهش یا افزایش کلی میانگین دمای سطحی دریا‌های جهانی دارد. بطوریکه تغییرات کوچک در دمای سطحی دریا منجر به پاسخ قابل توجهی در جو بالایی شده که نتیجه آن تغییرات اقلیمی منطقه‌ای و جهانی از طریق بر همکنش‌های جوی می‌باشد (نایدیرو و همکاران، ۲۰۱۲).

در شکل ۴-a دیده می‌شود که با ورود مانسون زمستانه از سمت دریای عرب وارونگی دمایی در این منطقه رخ می‌دهد و در مناطق شرقی دریای عمان دما نسبت به نقاط غربی افزایش می‌یابد. در این فصل کمترین مقدار دمایی برای تنگه هرمز ثبت گردیده است که با نتایج تحقیق ویناچانداران و همکارانش و همچنین پریسد و همکاران که بیان کردند که

<sup>1</sup> Sea surface temperature



شکل ۵. برش قائم شوری در تنگه هرمز (a) خروجی کار انجام شده و (b) تحقیق عظام و همکاران (عظام و همکاران، ۲۰۱۰)

علت افزایش شوری در لایه‌های پایین‌تر نفوذ آب شور و سنگین خلیج فارس در این دریا می‌باشد. در تنگه هرمز هنگامی که آب شورتر خلیج فارس به درون دریای عمان می‌ریزد از بستر جدا شده و به سمت مناطق عمیق‌تر دریای عمان نفوذ می‌کند. این نفوذ تا جایی که به عمق شناوری خنثی برسد ادامه می‌یابد. این زبانه‌ی شور ترموهالینی می‌تواند بسته به فصول مختلف سال تا عمق‌های ۴۵۰ متری دریای عمان نفوذ کند. میزان نفوذ این جریان در زمستان به علت چگالی بیشتر آب نسبت به تابستان که جریان سطحی‌تر است بیشتر می‌باشد (قاضی و همکاران، ۲۰۲۲).

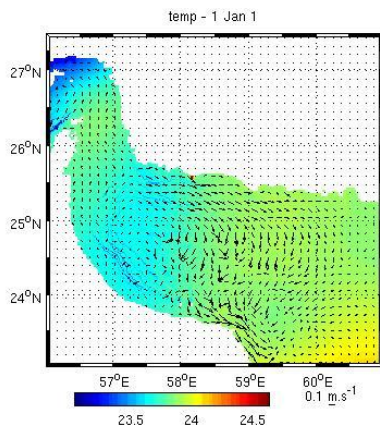
فراجوشی باعث می‌شود که آب لایه‌های پایینی که دمای کمتری دارند به سطح آمده و در نتیجه دما در سطح دریای عرب و عمان کاهش پیدا کند (ایزومو و همکاران، ۲۰۰۸). جهت گردش آب دریای عرب در طی مانسون تابستانه به سمت شرق و مانسون زمستانه به سمت غرب می‌باشد. با توجه به وارون پذیری مانسون‌ها تغییرات فصلی بر اساس بودجه گرمایی ایجاد شده در دریای عرب و تا حدودی در دریای عمان نیز رخ می‌دهد (استفانز، ۱۹۹۰؛ تروت و همکاران، ۲۰۱۷). دلیل سرمایه‌گذاری تابستانی در دریای عرب و عمان حضور پدیده فراجوشی در این منطقه است (دوینگ و لیتما، ۱۹۸۰). این پدیده اغلب از ماه مه شروع شده و در سپتامبر خاتمه می‌یابد (بروک و همکاران، ۱۹۹۵).

همواره بین دریای عمان و خلیج فارس جریانات دریایی در حال انتقال توده‌های آب می‌باشند که بر آن اساس آب دریای عمان در شرایط عادی عموماً در نوار ساحلی در اثر جریانات

دلیل دیگر سرمایه‌گذاری تابستانی در دریای عرب و عمان فراجوشی است (دوینگ و لیتما، ۱۹۸۰). در شکل ۴-ا در زمستان آب گرم سطحی از دریای عرب وارد دریای عمان شده و به سمت تنگه هرمز پیش می‌رود. حضور پدیده فراجوشی در این فصل در نوار سواحل غربی مکران با پخش توده آب سرد لایه‌های زیرین اقیانوس هند توانست جلوی پیشروی و نفوذ پلوم سطحی دریای عرب با دمای بالاتر به سمت تنگه هرمز را بگیرد بطوریکه میزان دمای سطحی از بخش شرقی مکران ( $23/6^{\circ}\text{C}$ ) در محدوده بندر جاسک با  $0/3$  درجه کاهش ( $23/3^{\circ}\text{C}$ ) و در تنگه هرمز با کاهش  $0/5$  درجه به محدوده  $23/1^{\circ}\text{C}$  می‌رسد. با پایان یافتن پدیده‌های فراجوشی و مانسونی نفوذ آب گرم‌تر دریای عرب توانست در فصل بهار خود را به سواحل مکران برساند (شکل ۵-ب). برعکس در فصل تابستان با نفوذ آب شور خلیج فارس به محدوده سواحل مکران روبرو می‌شویم که باعث افزایش دما در این منطقه شد.

#### ۴. بحث

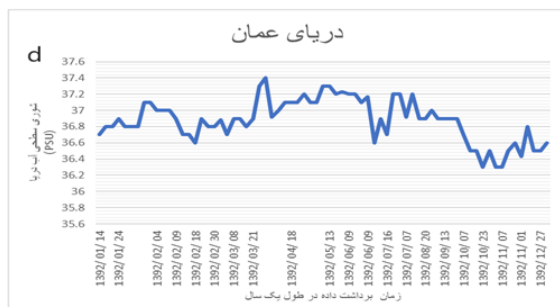
شوری سطحی دریای عمان بر اساس پدیده‌های فصلی و رفت و آمد آب بین دریای عرب و خلیج فارس در نقاط مختلف و در فصول مختلف سال متفاوت می‌باشد. علاوه بر آن چینه بندی قائم شوری این دریا نیز در فصول مختلف تغییر می‌کند و مقدار آن برای سواحل عمان در ماه‌های پاییز و زمستان کمترین و در ماه‌های تابستان و بهار بیشترین می‌باشد. در شکل ۵ شوری آب دریای عمان در منطقه تنگه هرمز به صورت یک برش قائم برای ماه مارس نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود میزان شوری در سطح به مقدار  $0/5$  درجه کمتر از عمق ۲۰ متری این دریا می‌باشد و همچنین میزان شوری در عمق‌های پایین‌تر افزایش می‌باشد. این افزایش تا حدود ۳۸ psu نیز می‌رسد. این افزایش شوری در عمق با نتایج کار عظام و همکاران (۲۰۱۰) (تصویر ۵-ب) توافق دارد و نشان از نفوذ آب شور خلیج فارس به لایه‌های زیرین دریای عمان دارد.



شکل ۶. خروجی دمای سطحی دریا توسط مدل رانز برای دریای عمان که نشان دهنده کاهش دما در قسمت شمالی دریای عمان برای ماه ژانویه سال ۲۰۰۰ می-باشد.

### ۵. نتیجه گیری

دریای عمان همواره تحت تاثیر توده های آب دریای عرب و خلیج فارس می باشد. در فصل زمستان ورود مانسون از اقیانوس هند به این دریا بر نحوه حرکت توده آب در بخشی از این دریا تاثیر می گذارد. تغییر دمای بوجود آمده از حضور مانسون و به دنبال آن پدیده فراجوشی در سواحل شمالی دریای عمان باعث می شود آب خنک و کم شور اقیانوسی در ساحل بالا آمده و باعث تغییر دمای این بخش از ساحل نسبت به مناطق مجاور می شود. همزمان با تغییر دما تغییر در سایر مولفه های فیزیکی دریای عمان رخ می دهد که نشان از وابسته بودن این مولفه ها به یکدیگر می باشد. پدیده های بزرگ مقیاسی مانند فراجوشی را می توان بر اساس مولفه های فیزیکی دما و شوری سطح دریا مورد شناسایی قرار داد. در حضور پدیده فراجوشی شوری سطحی در این منطقه کاهش خواهد داشت.



شکل ۷. نمودار تغییرات سالانه شوری سطحی دریای عمان (سال ۱۳۹۲) در بندر چابهار

دائمی به سمت خلیج فارس در حال حرکت می باشد و با دور زدن سواحل خلیج فارس به سمت دریای عرب و اقیانوس هند سرازیر می شوند ولی حضور چرخندهای بزرگ مقیاس می-توانند این آرایش انتقال توده در سطح دریا را برهم بزنند (رامک و همکاران، ۲۰۲۲). بادهای مانسونی به نوبه خود باعث شدت گرفتن گردش فصلی آب در دریای عرب و دریای عمان می شوند (پراوین و همکاران، ۲۰۰۸). این گردش در شکل ۶ بر اساس خروجی دمای سطحی آب مدل رانز (ROMS) برای فصل زمستان دیده می شود که نشان از کاهش بیشتر دما در نزدیکی تنگه هرمز نسبت به سایر نقاط دریای عمان دارد. این تصویر خروجی مدل برای اول ماه ژانویه سال ۲۰۰۰ میلادی می باشد. در حالت کلی دمای سطحی دریای عمان الگوی فصلی مشخصی دارد که اغلب به واسطه الگوی گرادیان دمایی معکوس شده در راستای عرض جغرافیایی مشخص می شود. همراه با تغییرات فصلی تغییراتی در گرمای خالص دریافتی در سطح دریای عمان ایجاد می شود، که در نتیجه تبادل گرما بین دریای عمان و دریای عرب بوجود می آید. این الگوی دمایی (شکل ۶) نشان دهنده کاهش حدوداً ۰/۵ درجه دما در بخش شمالی دریای عمان نسبت به بخش جنوبی این دریا می باشد. دلیل این افزایش دما در قسمت جنوبی دریای عمان را می توان ورود مانسون زمستانه از دریای عرب به سمت این دریا دانست. در زمستان دریای عمان از سطح، گرما از دست می دهد و به هنگام حضور مانسون زمستانه یک گردش (پیچک) ساعتگرد ایجاد می کند و سبب تولید پدیده فراجوشی شدید در دریای عرب می شود که در نتیجه آن آب سرد فراجوشی شده از ساحل جنوبی دریای عربی به سمت نوار ساحلی مکران هدایت می شوند (ویلسون و همکاران، ۲۰۰۹).

region of Oman. Master's thesis., University of Mazandaran.

10. Hu, J., Zhuang, W., Zhu, J., Huang, Z., Chen, S., & Peng, H. (2020). Temperature, salinity and water mass in the South China Sea. In *Regional oceanography of the south China sea* (pp. 43-75).

11. Izumo, T., Montégut, C. B., Luo, J. J., Behera, S. K., Masson, S., & Yamagata, T. (2008). The role of the western Arabian Sea upwelling in Indian monsoon rainfall variability. *Journal of Climate*, 21(21), 5603-5623.

12. Karami, H. (2021). Study of surface currents in the Oman Sea using HYCOM data. *Hydrophysics*, 7(1), 59-69.

13. Komijani, F., Chegini, V., Banazade Mahani, M. R., & Sanjani, M. S. (2012). Study of changes physical parameters in Chahbahar Bay water in winter monsoon (2006-2007). *Journal of the Earth and Space Physics*, 37(4), 195-216. doi: 10.22059/jesphys.2012.24310.

14. Lashkari, S., Soyuf Jahromi, M., & Hamzei, S. 2023. Seasonal changes of the Persian Gulf water mass in the Gulf of Oman. *Journal of Oceanography*, 14(53), 103-122.

15. Mollaesmaeilpour, S. Mahdizadeh, M Hassanzadeh, S. Khalilabadi, M.R. Investigation of Sea Surface Temperature (SST) and Sea Surface Salinity (SSS) variations in the Arabian Sea from 2010 to 2017 ., *Journal of Marine Technology*, Volume:6 Issue: 3, 2019, PP 88 - 97.

16. Nyadjro, E. S., Subrahmanyam, B., Murty, V. S. N., & Shriver, J. F. (2012). The role of salinity on the dynamics of the Arabian Sea mini warm pool. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C9).

17. Penven, P., Cambon, G., Tan, T. A., Marchesiello, P., & Debreu, L. (2010). ROMS AGRIF/ROMSTOOLS. *User Guide. Institut de Recherche pour le Développement (IRD)*.

18. Prasad, T. G. 2004. A comparison of mixed-layer dynamics between the Arabian Sea and Bay of Bengal: One-dimensional model results. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C3).

19. Prasad, T. G., & Ikeda, M. (2002). A numerical study of the seasonal variability of Arabian Sea high-salinity water. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 107(C11), 18-1.

20. Praveen, V., Ajayamohan, R. S., Valsala, V., & Sandeep, S. (2016). Intensification of

در شکل ۷ نمودار تغییر شوری بر اساس داده های میدانی مرکز ملی اقیانوس شناسی برای بندر چابهار در طول سال ۱۳۹۲ رسم شده است. کاهش شوری در ماه بهمن و اسفند (۳۶/۳psu) نسبت به بیشینه شوری این منطقه در آخر خرداد (۳۷/۴psu) نشان از وجود پدیده فراجوشی و حضور مانسون در این منطقه دارد.

## منابع

1. Aljohani, N. S., Kavil, Y. N., Shanas, P. R., Al-Farawati, R. K., Shabbaj, I. I., Aljohani, N. H., ... & Abdel Salam, M. 2022. Environmental impacts of thermal and brine dispersion using hydrodynamic modelling for Yanbu desalination plant, on the Eastern Coast of the Red Sea. *Sustainability*, 14(8), 4389.
2. Bidokhti AA, Sabagh kashani Z. Double Diffusive Convection and Temperature Inversion in the Persian Gulf and Oman Sea. 2003;29(1):33-46.
3. Brock, J. C., McClain, C. R., Luther, M. E., & Hay, W. W. 1991. The phytoplankton bloom in the northwestern Arabian Sea during the southwest monsoon of 1979. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(C11), 20623-20642.
4. Düing, W., & Leetmaa, A. 1980. Arabian Sea cooling: A preliminary heat budget. *Journal of Physical Oceanography*, 10(2), 307-312.
5. EPA.,(2016). Climate Change Indicators in the United States: Sea Surface Temperature, United States Environmental Protection Agency.
6. Ezam, M., Bidokhti, A. A., & Javid, A. H. 2010. Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea. *Ocean Science*, 6(4), 887-900.
7. Ghazi E, Bidokhti A, Ezam M, Zoljoodi M. Study of Temperature and Salinity Inversions in the Oman Sea. *Journal of Oceanography* 2021; 12 (45) :16-27. URL: <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1606-fa.html>
8. Hellerman, S., & Rosenstein, M. 1983. Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates. *Journal of Physical Oceanography*, 13(7), 1093-1104.
9. Hosseini, M., Akbarinasab, M., Layeghi, B.,(2017). Numerical modeling of distribution of industrial waste water heaters in the northern

28. Sprintall, J., & Tomczak, M. (1992). Evidence of the barrier layer in the surface layer of the tropics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 97(C5), 7305-7316.
29. Stephens GL. On the relationship between water vapor over the oceans and sea surface temperature. *Journal of Climate*. 1990 Jun;3(6):634-45.
30. Trott, C. B., Subrahmanyam, B., & Murty, V. S. N. (2017). Variability of the Somali Current and eddies during the southwest monsoon regimes. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 79, 43-55.
31. Vinayachandran, P. N., Jahfer, S., & Nanjundiah, R. S. (2015). Impact of river runoff into the ocean on Indian summer monsoon. *Environmental Research Letters*, 10(5), 054008.
32. Wu, Z., Jiang, C., Chen, J., Long, Y., Deng, B., & Liu, X. 2019. Three-dimensional temperature field change in the South China Sea during typhoon Kai-Tak (1213) based on a fully coupled atmosphere–wave–ocean model. *Water*, 11(1), 140.
33. Wilson, C., Sinha, B., & Williams, R. G. (2009). The effect of ocean dynamics and orography on atmospheric storm tracks. *Journal of climate*, 22(13), 3689-3702.
34. Yazdan far, Salar, Ashtari, Amir, AKBARINASAB, MOHAMMAD, & DELBARI, ABOLFAZL. (2018). Study of Surface Fronts in the Oman Sea. *HYDROPHYSICS*, 4(1 ), 19-31. SID. <https://sid.ir/paper/264861/en>
- upwelling along Oman coast in a warming scenario. *Geophysical Research Letters*, 43(14), 7581-7589.
21. Rajabi Kiasri, S., and Hassanlou, M. (2015). Analysis of the sea surface salinity trend considering the factors affecting it (case study: Gulf of Mexico). National Geomatics Conference.SID. <https://sid.ir/paper/894495/fa>
22. Ramak H, soyufjahromi M, Akbari P. Persian Gulf Water mass tracking by surface temperature and salinity properties. *Journal of Oceanography* .2022; 12 (48) :13-28URL: <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1616-fa.html>
23. Sadrinassab, M., & Kämpf, J. 2004. Three-dimensional flushing times of the Persian Gulf. *Geophysical research letters*, 31(24).
24. Sen, R., Pandey, S., Dandapat, S., Francis, P. A., & Chakraborty, A. 2022. A numerical study on seasonal transport variability of the North Indian Ocean boundary currents using Regional Ocean Modeling System (ROMS). *Journal of Operational Oceanography*, 15(1), 32-51.
25. Shankar, D., Vinayachandran, P. N., & Unnikrishnan, A. S. (2002). The monsoon currents in the north Indian Ocean. *Progress in oceanography*, 52(1), 63-120.
26. Shen, X., Li, R., Cai, H., & Feng, J. 2022. Experiment and Simulation of One Deep Sewage Discharge Type: Transport of Low-Salinity Sediment-Laden Flow Discharged. *Water Resources Research*, 58(3), e2021WR031850.
27. Silvy, Y., Guilyardi, E., Sallée, J. B., & Durack, P. J. (2020). Human-induced changes to the global ocean water masses and their time of emergence. *Nature Climate Change*, 10(11), 1030-1036.