



## ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

## Persian Gulf water mass tracking in oman sea by surface temperature and salinity properties

Ramak, H.<sup>1</sup>, Soyuf Jahromi, M.<sup>2\*</sup>, Akbari, P.<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Department of physics, Education office of Khozestan Province, Education Ministry, Ahwaz, Iran

## ARTICLE INFO

Code: A-10-1143-1

## Article History:

Received: 22/12/2020

Revised: 12/08/2021

Accepted: 22/07/2021

## Keywords:

Persian Gulf water mass  
Sea surface temperature  
Sea surface salinity  
OSTIA  
NOAA NESDIS STAR

\*Corresponding author:

✉ [soyufjahromi@yahoo.com.au](mailto:soyufjahromi@yahoo.com.au)



## ABSTRACT

**Background and Objectives:** The Persian Gulf is a shallow, semi-closed environment with an average depth of 35 meters and a maximum depth of 90 meters, connected to the Gulf of Oman through the Strait of Hormuz. The Persian Gulf is one of the main sources of saline water masses in the world. In the past, passive detectors have been used to track water mass. The use of satellite data in the study of water patterns and masses is a new science. The reasons of satellite data usage are its low costs and its availability. The purpose of this research is to investigate the location of Persian Gulf Water mass (PGW) in both warm and cold seasons which by using satellite data analysis, the distribution and dynamics of the Persian Gulf Water mass have been investigated and its possible areas in the Oman Sea have been identified.

**Methods:** The sea surface temperature of the studied area (47.00-59.45°E, 22.60-32.00°N) prepared from the Group for High Resolution Sea Surface Temperature (SST) of NOAA named OSTIA (by the resolution of 0.05°), and Sea Surface Salinity (SSS) prepared from NOAA NESDIS STAR (by the resolution of 0.25°), respectively. First, daily statistical data for six years (2014-2019) were extracted annually, in both warm and cold seasons. Then, temporal mean, maximum, minimum, range and standard deviation were obtained for the whole basin and the means of the basin were illustrated separately for each season. The spatial mean of annual SST of basin in the studied years (2014-2019) was calculated for all cells, but the spatial mean of annual SSS was not calculated due to the lack of data in many cells. Then, the SST and SSS satellite data, according to the 73-years measured historical data, were spatially filtered in MATLAB to obtain the filtered range of SST and SSS and determine the expansion of the PGW mass in Oman Sea.

**Findings:** From the filter of OSTIA satellite data in the warm season of the studied years (2014-2019), it was observed that the PGW mass has shifted, so that PGW mass has gone further and moved to east about 0.12 degrees equal to 14 km in 2016 in compared with 2015 and about 0.08 degrees, equivalent to 9 km in 2017 in compared with 2016. The PGW can be transported in the Oman Sea, 300 to 350 km from the Strait of Hormuz. The width of PGW in the Oman Sea is about one degree (56-57°E) in the warm season and 2.5 degrees (57-59.5°E) in the cold season, by annual changes. (The widest expansion happened in 2015.).

**Conclusion:** This study represents that the difference of the highest daily SST of the warm and cold seasons (35.87°C and 34.06°C, respectively) were about 1.8°C and the lowest daily SST difference of the warm and cold seasons (18.27°C and 13.11°C, respectively) were about 5.16°C. The average salinity in the warm season is about 34.08 psu to 36.49 psu with a range of changes of 2.4 psu. Whereas the average salinity is in the range of 34.51 psu to 36.50 psu with a range of changes of 2.01 psu in the cold season. Moreover, the surface water of the cold season (by filtered temperature of 28.5-30°C) is located in the west of Oman Sea (58.5°E to 59.5°E). In the warm season, this water progress farther to the middle of Oman Sea (longitudes more than 59.5°E), which indicates that the PGW mass penetrates more from its subsurface to the Oman Sea in the warm season.



NUMBER OF TABLES

7



NUMBER OF FIGURES

11



NUMBER OF REFERENCES

51

## مقاله پژوهشی (علوم دریایی)

## ردیابی توده آب خلیج فارس در دریای عمان با استفاده از ویژگی‌های دما و شوری سطحی

حسین رامک<sup>۱</sup>، مریم سیوف‌جهرمی<sup>۲\*</sup>، پرستو اکبری<sup>۳</sup><sup>۱</sup> گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران<sup>۲</sup> گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران<sup>۳</sup> گروه فیزیک، آموزش و پرورش استان خوزستان، وزارت آموزش و پرورش، اهواز، ایران

## اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۳

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۰/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱

## چکیده

**پیشینه و اهداف:** خلیج فارس، محیطی کم‌عمق، نیمه‌بسته و با عمق متوسط ۳۵ متر و بیشینه عمق ۹۰ متر است که از طریق تنگه‌ی هرمز به خلیج عمان متصل می‌شود. خلیج فارس یکی از منابع اصلی توده آب شور جهان است. در گذشته از ردیاب‌های غیرفعال برای ردیابی توده‌ی آب استفاده می‌شده است. کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه الگوی آب و توده‌ی آب به عنوان یک علم جدید مطرح است. دلیل استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، کم هزینه بودن و در دسترس بودن آن است. هدف این پژوهش، بررسی موقعیت مکانی توده آب خلیج فارس (PGW) در دو فصل گرم و سرد است که با استفاده از تحلیل داده‌های ماهواره‌ای، نحوه توزیع و پویایی توده‌ی آب خلیج فارس بررسی شده است و مناطق احتمالی آن در دریای عمان شناسایی شده است.

**روش‌ها:** به ترتیب، دمای منطقه مورد مطالعه ( $5^{\circ}E/49^{\circ} - 0^{\circ}N/47^{\circ}$ ،  $0^{\circ}N/32^{\circ} - 60^{\circ}E/22^{\circ}$ ) از گروه داده‌های دمای سطح دریا (SST) با قدرت تفکیک زیاد (قدرت تفکیک  $0.5^{\circ}$ )، به اختصار OSTIA و شوری سطح دریا (SSS) از NOAA NESDIS STAR (قدرت تفکیک  $0.25^{\circ}$ ) از NOAA تهیه شد. ابتدا اطلاعات آماری روزانه‌ی شش سال (۲۰۱۴-۲۰۱۹)، به صورت سالیانه، و در دو فصل گرم و سرد استخراج گردید. سپس از داده‌ها برای کل حوضه، متوسط زمانی، بیشینه، کمینه، دامنه و انحراف معیار به دست آمد و متوسط هر فصل به تفکیک رسم گردید. میانگین مکانی SST سالیانه حوضه در سال‌های مذکور (۲۰۱۴-۲۰۱۹) برای همه‌ی سلول‌ها، محاسبه شد اما از محاسبه میانگین مکانی SSS سالیانه به علت اینکه در بسیاری از سلول‌ها، داده وجود نداشت، صرف‌نظر شد. سپس داده‌های ماهواره‌ای SST و SSS، با توجه به داده‌های تاریخی اندازه‌گیری شده‌ی ۷۳ ساله، در متلب از نظر مکانی فیلتر شدند تا محدوده فیلتر شده‌ی SST و SSS به دست آید و گسترش توده‌ی PGW در دریای عمان مشخص گردد.

**یافته‌ها:** از فیلتر دمایی داده‌های ماهواره‌ای OSTIA در فصل گرم سال‌های مورد مطالعه (۲۰۱۴-۲۰۱۹) مشاهده گردید که توده‌ی PGW تغییر مکان داده است، به طوری که در سال ۲۰۱۶ نسبت به سال ۲۰۱۵ توده‌ی PGW در حدود ۰/۱۲ درجه معادل ۱۴ کیلومتر و سال ۲۰۱۷ نسبت به سال ۲۰۱۶ نیز حدود ۰/۰۸ درجه معادل ۹ کیلومتر جلوتر رفته و به سمت شرق پیشروی داشته است. توده‌ی PGW، می‌تواند در دریای عمان و به فاصله ۳۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتر از تنگه هرمز منتقل شود. پهنای توده‌ی PGW در دریای عمان، حدود یک درجه ( $56^{\circ}E - 57^{\circ}$ ) در فصل گرم و  $5^{\circ}$  درجه ( $5^{\circ}E - 59^{\circ}$ ) در فصل سرد، با تغییرات سالیانه است. (بیشترین گسترش در ۲۰۱۵ اتفاق افتاده است).

\*نویسنده مسئول

✉ [soyufjahromi@yahoo.com.au](mailto:soyufjahromi@yahoo.com.au)

**نتیجه‌گیری:** این مطالعه نشان می‌دهد که اختلاف بیشترین SST روزانه‌ی فصل گرم و سرد (به ترتیب،  $35/87^{\circ}\text{C}$  و  $34/06^{\circ}\text{C}$ )، حدود  $1/8^{\circ}\text{C}$  بوده‌است و اختلاف کمترین SST روزانه در فصل گرم و سرد (به ترتیب،  $18/27^{\circ}\text{C}$  و  $13/11^{\circ}\text{C}$ ) حدود  $5/16^{\circ}\text{C}$  بود. میانگین شوری در فصل گرم در حدود  $34/08\text{psu}$  تا  $36/49\text{psu}$  است که دامنه‌ی تغییرات آن  $2/4\text{psu}$  است. در صورتی که در فصل سرد میانگین شوری در محدوده‌ی  $34/51\text{psu}$  الی  $36/5\text{psu}$  با دامنه‌ی تغییرات  $2/01\text{psu}$  است. همچنین، آب سطحی (با دمای فیلترشده‌ی  $28/5-30^{\circ}\text{C}$ ) در فصل سرد در غرب دریای عمان ( $58/5^{\circ}\text{E}$  الی  $59/5^{\circ}\text{E}$ ) قرار دارد. این آب در فصل گرم، به سمت قسمت‌های میانی دریای عمان (طول‌های جغرافیایی بیشتر از  $59/5^{\circ}\text{E}$ ) پیشروی می‌نماید که بیانگر نفوذ بیشتر توده‌ی PGW از لایه زیرسطحی آن به دریای عمان در فصل گرم است.

## مقدمه

در علم اقیانوس‌شناسی، «توده آب»، به آبی گفته می‌شود که تاریخچه شکل‌گیری یکسانی دارد و با ویژگی‌های دما، شوری، شیمیایی و ایزوتوپی خود از سایر آب‌های اطراف متمایز می‌شود [۱] که ممکن است از منطقه شکل‌گیری خود خارج شده باشند. این عبارت، از مفهوم «توده هوا» در علم هواشناسی، وارد علم اقیانوس‌شناسی شده است [۲]. توده‌های آب، با توجه به نام حوضه شکل‌گیری، نام‌های مختلفی دارند. 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]. در غیاب برهم‌کنش جو و دریا، توده‌های مختلف آب می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند و خواص متفاوتی از توده آب را به اشتراک بگذارند [۴]. اگر اختلاط دو توده آب انجام نشود، خواص دمایی و شوری آن پایسته باقی می‌ماند، اما خواص بیولوژیکی مانند اکسیژن و مواد مغذی به علت مصرف توسط آبزیان پایسته می‌ماند [۵]. لذا بررسی دما و شوری توده آب به علت پایسته بودن، حائز اهمیت است. دریای سرخ و خلیج فارس، دو منشا شکل‌گیری توده‌ی آب شور اقیانوس‌ها هستند [۶]. خلیج فارس (شکل ۲)، محیطی کم عمق، نیمه‌بسته و با عمق متوسط ۳۵ متر و بیشینه عمق ۹۰ متر است که از طریق تنگه‌ی هرمز به دریای عمان متصل می‌شود [۷]. با حرکت از شمال تنگه هرمز به سمت جنوب آن، تنگه هرمز عمیق‌تر می‌شود، و در نتیجه عمیق‌ترین نقاط در سمت ساحل جنوبی آن قرار دارد [۸]. از این رو در تنگه‌ی هرمز عمق ۱۰۰ متری وجود دارد [۹]. دمای آب خلیج فارس بین  $32^{\circ}\text{C}$  تا  $34^{\circ}\text{C}$  در تابستان و بین  $18^{\circ}\text{C}$  تا  $20^{\circ}\text{C}$  در زمستان متغیر است [۱۰]. شوری آب خلیج فارس در زمستان و تابستان به ترتیب  $38\text{psu}$  و  $36/5\text{psu}$  است [۷]. بیشینه شوری توده‌ی آب خلیج فارس در بیش‌تر مناطق خلیج، بین  $40/5-40\text{psu}$  گزارش شده است [۱۱]. نرخ تبخیر زیاد خلیج فارس در مقایسه با میزان بارش ( $7\text{cm/year}$ ) [۹] و ورودی کم آب رودخانه (از  $10\text{cm/year}$  تا  $46\text{cm/year}$ ) [۹] و نیز کم‌عمق بودن خلیج فارس، موجب شکل‌گیری توده‌ی آب شور و چگال می‌شود [۹]. به علاوه، این مساله موجب می‌شود که چرخشی پادساعتگرد با خروج آب‌های شور از قسمت عمقی تنگه‌ی هرمز ایجاد شود که با

آب‌های سطحی ورودی و کم‌شور دریای عمان جایگزین می‌شود [۹]. [۱۲]. به عبارتی، خلیج فارس به صورت خور معکوس عمل می‌کند و از سطح شمالی تنگه، آب با شوری کمتر از اقیانوس هند وارد آن می‌شود [۷]. جریان خروجی از خلیج فارس با عبور از تنگه هرمز وارد خلیج عمان می‌شود، این جریان خروجی نیز پیش از آن در مطالعات گذشته گزارش شده است [۱۳-۱۸]. توده‌ی آب خلیج فارس که به اختصار PGW می‌نامند، ضمن خروج از تنگه و سرازیر شدن به دریای عمان در مجاورت ساحل کشور عمان، با توده‌های آب مجاور با شوری کم‌تر مانند آب با شوری کم‌تر اقیانوس هند اختلاط می‌یابد و ضمن کاهش چشمگیر شوری، در نهایت به عمقی که در آن شناوری خنثی دارد، خواهد رسید. البته جریان خروجی و شور عمقی خلیج فارس، ممکن است از چند ناحیه در داخل خلیج ناشی شود [۹]. توده‌ی آب خلیج فارس، در کف و از کناره‌ی جنوبی تنگه‌ی هرمز به سمت دریای عمان سرازیر می‌شود و آب با شوری کم‌تر اقیانوس‌هند (با علامت اختصار IOSW) که در شمال دریای عمان جریان دارد، از سطح و از لبه‌ی شمالی تنگه‌ی هرمز به درون خلیج فارس جریان می‌یابد.

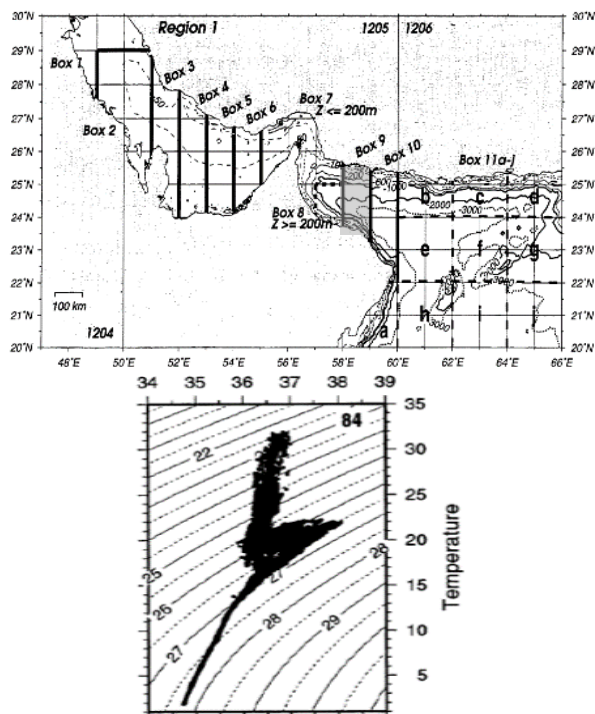
اندازه‌گیری‌های انجام شده، نشان‌دهنده‌ی نفوذ توده‌ی آب خلیج فارس به دریای عرب است [۶، ۱۹، ۲۰]. اندازه‌گیری‌های میدانی محدوده‌ی تنگه‌ی هرمز، به خصوص به قسمت شمالی تنگه‌ی هرمز یعنی محدوده‌ی آب‌های ایرانی محدود است. البته برخی از اندازه‌گیری‌ها مربوط به قسمت جنوبی تنگه‌ی هرمز [۷] و ورودی تنگه‌ی هرمز [۱۰، ۲۱] نیز وجود دارد. همچنین، چگونگی تشکیل توده‌ی آب خلیج فارس و تبادل آن با آب اقیانوس هند به صورت فصلی با مدل HYCOM مورد بررسی قرار گرفته است [۲۲]. پروفایل دما و شوری خلیج فارس و دریای عمان و دریای عرب، با استفاده از داده‌های تاریخی در بازه ۱۹۲۳-۱۹۹۶ (۷۳ سال) ترسیم شده است [۲۳]. آن‌ها، حوضه را به جعبه‌های مختلف (شکل ۱، بالا) تقسیم کردند و مشاهدات دما و شوری هر جعبه را با نمودارهای دما-شوری که به آن نمودار TS می‌گویند، رسم نمودند. شکل ۱ (پایین)، نمونه‌ای از نمودار TS از ناحیه یک شماره ۱۲۰۵، جعبه شماره ۹ (جعبه خاکستری رنگ شکل ۱، بالا) را نشان می‌دهد که جزئیات آن در جدول ۱ آورده شده است.

داده‌های ماهواره‌ای به دلیل کم هزینه بودن برای تخمین و محاسبه‌ی عمق آب در مطالعات گوناگون اقیانوسی استفاده شده است [۲۴-۲۷]. به عنوان مثال، این مشاهدات ماهواره‌ای می‌تواند گردش سطحی آب در شمال غربی خلیج مکزیک طی مارس و آوریل ۱۹۸۹ را بیان کند [۲۸]. کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه الگوی آب و توده‌ی آب به عنوان علم جدیدی مطرح است که در گذشته از ردیاب‌های غیر فعال برای ردیابی توده‌ی آب از جمله خلیج عدن استفاده شده است [۲۹].

خصوصیات توده‌ی آب حاصل از مشاهدات ماهواره در دریای بارنتس، مورد مطالعه قرار گرفته شده است که در این مطالعه، از تحلیل فواید مربوط به مشاهدات ماهواره‌ای در بیان خواص آب دریای بارنتس و شناسایی چشمه‌های تغییرپذیری و انحراف‌های مربوط به آن استفاده شده است [۳۰]. نتایج آن نشان داد که دمای سطح دریا تقریب خوبی برای مقدار گرما در ستون بالایی آب در جنوب شرقی دریای بارنتس است و مقدار آب شیرین را می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دست آورد. با تخمین ماهواره‌ای می‌توان به شناسایی مناطق تشکیل توده آب، با هدف نشان دادن و ارزیابی استفاده‌ی ماهواره‌ای جهت توصیف توزیع و پویایی توده‌ی آب پرداخت [۳۱].

در این مطالعه آهنگ تبدیل و تشکیل توده‌ی آب به مدت بیش از سه سال برای سه حوضه اقیانوس اطلس شمالی، آرام شمالی و جنوبی در دستگاه مختصات ترموهالین (یعنی دمای پتانسیل و شوری  $\theta-S$ )، دستگاه مختصات چگالی سیگما ( $\sigma$ ) و دستگاه مختصات جغرافیایی محاسبه شد که از داده‌های اوستیا برای دمای سطحی آب دریا، و از داده‌های شوری NOAA NESDIS STAR، برای شوری سطح دریا و شبکه‌ی ماهواره‌ی سطح دوم رطوبت خاک و شوری اقیانوس (با علامت اختصار SMOS) استفاده گردیده است. آنالیز دوباره دمای روزانه‌ی جهانی سطح دریا با قدرت تفکیک زیاد از داده‌های اوستیا برای ۱ ژانویه ۱۹۸۵ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۷ انجام شده است [۳۲] که از کیفیت خوب داده‌ها حکایت دارد. از داده‌های اوستیا جهت بررسی دمای سطح اقیانوس اطلس شمالی استفاده شده است و با پیش‌بینی عددی آب‌وهوای جهانی (NWP) در ۲۴ مارس ۲۰۰۷ مقایسه گردیده است [۳۳]. قدرت تفکیک زیاد داده‌های اوستیا توانست به طور قابل توجهی جریان‌های قوی، مانند جریان گلف استریم و عوارض میان اقیانوسی را در مقایسه با پیش‌بینی عددی آب‌وهوای جهانی بهبود بخشد. در مطالعه‌ی دیگری توده‌ی آب خلیج فارس با مدل عددی General Estuarine Transport Modal مدل شد و نتایج مدل با داده‌های اوستیا برای ۲۴ مارس ۲۰۰۷ مقایسه شد که تطابق خوبی بین مدل و داده‌های اوستیا در ردیابی توده آب خلیج فارس در تاریخ ۲۴ مارس ۲۰۰۷ مشاهده گردید [۳۴].

هدف این پژوهش، بررسی توده آب در دو فصل گرم و سرد است که با استفاده از تخمین ماهواره‌ای، به شناسایی مناطق وجود توده آب خلیج فارس، جهت توصیف توزیع و پویایی توده‌ی آب خلیج در دریای



شکل ۱: بالا) تقسیم‌بندی حوضه خلیج فارس و دریای عمان از داده‌های تاریخی در بازه ۱۹۲۳-۱۹۹۶ (۷۳ سال) [۲۳] جعبه شماره ۹، که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است با خاکستری نشان داده شده است.

پایین) نمودار TS سالیانه مربوط به جعبه شماره ۹.

Fig. 1: above) The Persian Gulf and Oman Sea basin division from historical data in the period 1923-1996 (73 years) [23] Box No. 9, which has been used in this research. Bottom) Annual TS diagram for box number 9

جدول ۱: گستره‌ی دما و شوری توده‌های آب جعبه شماره ۹ از داده‌های تاریخی در بازه ۱۹۲۳-۱۹۹۶ (۷۳ سال) [۲۳] براساس نمودار TS شکل ۱، پایین

Table 1: Temperature and salinity range of water masses Box 9 from historical data in the period 1923-1996 (73 years) [23] based on TS diagram Figure 1, below

| نام توده                           | حداقل (Min) | حداکثر (Max) | دامنه تغییرات (Variation range) |                         |
|------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------------|-------------------------|
| توده‌ی آب سطحی دریای عمان          | 22.20       | 32.00        | 9.8                             | دما<br>Temperature (°C) |
| The Surface Water Mass of Oman Sea | 22.20       | 32.00        | 9.8                             |                         |
| توده‌ی آب خلیج فارس                | 16.20       | 22.20        | 6.00                            |                         |
| The Persian Gulf Water Mass        | 16.20       | 22.20        | 6.00                            | شوری<br>Salinity (psu)  |
| توده‌ی آب عمقی دریای عمان          | 1.50        | 16.20        | 14.70                           |                         |
| The Deep Water Mass of Oman Sea    | 1.50        | 16.20        | 14.70                           |                         |
| توده‌ی آب سطحی دریای عمان          | 36.20       | 37.00        | 0.80                            | دما<br>Temperature (°C) |
| The Surface Water Mass of Oman Sea | 36.20       | 37.00        | 0.80                            |                         |
| توده‌ی آب خلیج فارس                | 35.80       | 38.20        | 2.40                            |                         |
| The Persian Gulf Water Mass        | 35.80       | 38.20        | 2.40                            | شوری<br>Salinity (psu)  |
| توده‌ی آب عمقی دریای عمان          | 34.70       | 36.40        | 1.70                            |                         |
| The Deep Water Mass of Oman Sea    | 34.70       | 36.40        | 1.70                            |                         |

طبیعی از سطح سیاره زمین، تغییرات شوری آب دریا را اندازه‌گیری کند [۳۸].

جدول ۲: مشخصات داده‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر

Table 2: Data specifications used in the present study

| شوری سطح دریا<br>(Sea surface salinity)<br>(psu) | دمای سطح دریا<br>(Sea surface temperature)<br>(°C) | نام کمیت (واحد)<br>Quantity (unit)                        |
|--|--|---|
| SSS  | SST  | متغیر<br>(Variable)                                       |
| NOAA NESDIS STAR                                 | NOAA   | ارگان تولیدکننده داده<br>(Data producer organ)            |
| 0.25   | 0.05   | دقت<br>(Resolution)                                       |
| 47-59.45   |  | محدوده<br>جغرافیایی داده‌ها<br>(Geographic data<br>range) |
| 22.6-32  |  | طول (°E)<br>عرض (°N)<br>(Latitude)                        |
| 2014-2019  |  | محدوده زمانی<br>داده‌ها<br>(Data time<br>range)           |
| روزانه<br>(Daily)                                |  | بازه<br>(Period)<br>دقت<br>(Resolution)                   |

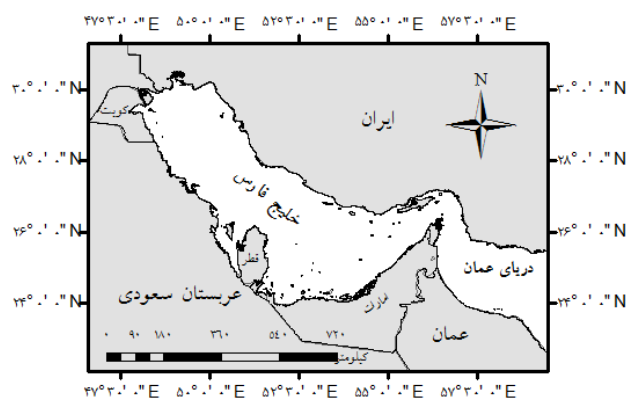
داده‌های اوستیا، ضمن برخورداری از اعتبار کافی، پوشش خوبی برای آب اقیانوس در مقیاس جهانی دارند و قبلاً این داده‌ها جهت ردیابی توده آب خلیج فارس در دریای عمان برای یک روز (۲۴ مارس ۲۰۰۷) مورد تایید قرار گرفته است [۳۴]. به‌علاوه از اعتبار این داده‌ها در ردیابی توده آب دریای بارس به مدت ۱۰ سال (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳) استفاده شده است [۳۰]. لذا در این پژوهش با اعتماد به همه این ویژگی‌ها، از این داده‌ها جهت شناسایی موقعیت توده آب خلیج فارس در دو فصل گرم و سرد استفاده شده است. به‌علاوه از پوشش داده‌های شوری NOAA NESDIS STAR، در دریای عمان استفاده شده است تا تحلیل توده آب خلیج فارس بهتر صورت پذیرد. این مجموعه داده نیز اعتبار جهانی دارد و در مطالعات دیگر مورد استفاده قرار گرفته است [۳۹-۴۳]. از این داده‌ها برای مشاهدات توزیع شوری ماهواره‌ای در عرض‌های جغرافیایی بالا در نیمکره شمالی و برای تخمین ماهواره‌ای شناسایی مناطق تشکیل توده آب، که هدف آن نشان دادن و ارزیابی امکان استفاده‌ی ماهواره در توصیف توزیع و پویایی توده‌ی آب است از داده‌های شوری NOAA NESDIS STAR استفاده گردیده است [۳۱، ۴۲].

داده‌های دمای اوستیا و داده‌های شوری NOAA NESDIS STAR، در منطقه‌ی مورد مطالعه (۳۲/۰۰°N-۲۲/۶۰°N و ۵۹/۴۵°E-۴۷/۰۰°E)، به صورت روزانه، با قدرت تفکیک فضایی ۰/۰۵° برای دما و ۰/۲۵° طول و عرض جغرافیایی برای شوری (جدول ۲)، به مدت ۶ سال از تاریخ نهم مهرماه ۱۳۹۲ (۱ اکتبر ۲۰۱۳) الی هشتم مهرماه ۱۳۹۸ (۳۰ سپتامبر ۲۰۱۹)، در دو فصل گرم و سرد مطابق با جدول ۳ و با فرمت mat دریافت شد. در همه سلول‌های شبکه از داده‌های اوستیا، داده وجود داشت؛ اما در داده‌های NOAA NESDIS STAR مربوط به شوری، در برخی از سلول‌ها داده وجود نداشت، که آن

عمان در دو فصل پرداخته شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند نشان دهد که تغییرات فصلی می‌تواند بر موقعیت مکانی و زمانی توده آب خلیج فارس موثر باشد یا خیر. لذا ضروری است تا بررسی دقیق تغییرات دمایی و شوری توده آب، نقش فصول گرم و سرد به دقت برآورد شود.

## روش پژوهش

در این پژوهش، از داده‌های ماهواره‌ای سطحی به منظور ردیابی توده‌ی آب خلیج فارس استفاده شده است. منطقه در محدوده عرض جغرافیایی ۲۲/۶۰°N تا ۳۲/۰۰°N و طول جغرافیایی ۴۷/۰۰°E تا ۵۹/۴۵°E قرار دارد. اطلاعات عمق منطقه از داده‌های جبکو (GEBCO)، تهیه و در محیط ArcGIS [۳۵] ترسیم شد (شکل ۲).



شکل ۲: منطقه‌ی مورد مطالعه که با استفاده از داده‌های عمق سنجی GEBCO، در محیط ArcGIS [۳۵] تهیه شده است.

Fig. 2: The study area prepared by GEBCO depth measurement data in ArcGIS [35].

جدول ۲، ویژگی‌های داده‌های دما و شوری سطح دریا را نشان می‌دهد. دمای سطح دریا از داده‌های گروه دمای سطح دریا با قدرت تفکیک ۰/۰۵° از GHRSSST مربوط به سازمان NOAA است [۳۶]. که تحت پوشش اداره هواشناسی انگلیس می‌باشد و از این به بعد، اوستیا نامیده می‌شود [۳۷]. اساس داده‌های اوستیا، داده‌های ماهواره‌ای آرانس بین‌المللی GHRSSST است که شامل داده‌های میکروویو و مادون قرمز است. این مجموعه داده، علاوه بر ارائه موقعیت جغرافیایی و زمان، دمای سطح دریا را با دقت ۰/۰۱°C ارائه می‌دهد (جدول ۲). داده‌های شوری سطح دریا نیز مطابق جدول ۲، از موسسه‌ی خدمات ملی داده‌ها و اطلاعات زیست محیطی ماهواره‌ای نووا (به اختصار NOAA NESDIS STAR) گرفته شد. این داده‌ها مستقیماً از شبکه‌ی ماهواره‌ی سطح دوم رطوبت خاک و شوری اقیانوس (با علامت اختصار SMOS) و رادیومتر تصویربرداری میکروویو با استفاده از سنتز دیافراگم (با علامت اختصار MIRAS) تولید می‌شود که بر روی ماهواره‌ی SMOS ابزار جدیدی به نام میراس نصب گردیده تا تصاویر حاصل از تشعشع میکروویو (GHZ) را مخابره کند و می‌تواند با مشاهده تغییرات انتشار میکروویو

سال‌های مورد مطالعه (۲۰۱۴-۲۰۱۹) نشان می‌دهد. داده‌ها به خوبی نشان می‌دهد که میانگین سالیانه دمای سطح دریا در منطقه نسبتاً ثابت و برابر با  $27^{\circ}\text{C}$  (جدول ۴) و میانگین سالیانه شوری سطح دریا برابر با  $35\text{psu}$  (جدول ۵) است. سال ۲۰۱۶، بیشینه میانگین دمای سطحی سالیانه و سال ۲۰۱۴، کمترین میانگین دمای سطحی سالیانه را به ترتیب با مقادیر  $27/41 \pm 0/11^{\circ}\text{C}$  و  $27/04 \pm 0/12^{\circ}\text{C}$  (SD میانگین) داشت. سال ۲۰۱۷، بیشترین میانگین شوری سطحی سالیانه، و مجدداً سال ۲۰۱۴ کمترین میانگین شوری سطحی سالیانه (به ترتیب  $35/75 \pm 0/72\text{psu}$  و  $33/33 \pm 0/57\text{psu}$ ) را دارد.

جدول ۴: تغییرات آماری دمای سالیانه سطح دریا در بازه ۲۰۱۴ الی ۲۰۱۹

Table 4: Statistical changes in annual sea surface temperature the period 2014 to 2019

| پارامتر آماری (Statistical parameter) | میانگین (Mean) | انحراف معیار (Standard deviation) | بیشینه (Max) | کمینه (Min) | دامنه تغییرات (Variation range) |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------|
| 2014                                  | 27.04          | 0.12                              | 34.89        | 13.62       | 21.27                           |
| 2015                                  | 27.31          | 0.09                              | 35.50        | 14.17       | 21.33                           |
| 2016                                  | 27.41          | 0.11                              | 35.69        | 13.56       | 22.13                           |
| 2017                                  | 27.22          | 0.09                              | 35.53        | 13.11       | 22.42                           |
| 2018                                  | 27.35          | 0.11                              | 35.24        | 14.56       | 20.68                           |
| 2019                                  | 27.19          | 0.07                              | 35.87        | 13.77       | 22.10                           |
| کلی (All)                             | 27.25          | 0.10                              | 35.45        | 13.79       | 21.73                           |

جدول ۵: تغییرات آماری شوری سالیانه سطح دریا در بازه ۲۰۱۴ الی ۲۰۱۹

Table 5: Statistical changes in annual sea surface salinity the period 2014 to 2019

| پارامتر آماری (Statistical parameter) | میانگین (Mean) | انحراف معیار (Standard deviation) | بیشینه (Max) | کمینه (Min) | دامنه تغییرات (Variation range) |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------|
| 2014                                  | 33.33          | 0.57                              | 38.46        | 25.58       | 12.88                           |
| 2015                                  | 35.00          | 0.62                              | 39.98        | 31.28       | 8.7                             |
| 2016                                  | 35.18          | 0.61                              | 39.98        | 26.96       | 13.02                           |
| 2017                                  | 35.75          | 0.72                              | 39.98        | 26.45       | 13.53                           |
| 2018                                  | 35.23          | 0.62                              | 39.82        | 26.53       | 12.67                           |
| 2019                                  | 34.80          | 0.58                              | 39.39        | 28.17       | 11.22                           |
| کلی (All)                             | 34.91          | 0.62                              | 39.60        | 27.32       | 12.00                           |

بیشترین دامنه تغییرات دما و شوری سالیانه در سرتاسر حوضه، مربوط به سال ۲۰۱۷ ( $22/42^{\circ}\text{C}$  و  $13/53\text{psu}$ ) و کمترین دامنه تغییرات به ترتیب مربوط به سال ۲۰۱۸ ( $20/68^{\circ}\text{C}$ ) و ۲۰۱۵ ( $8/7\text{psu}$ ) است. از آنجایی که داده‌ها، روزانه بودند، بیشینه و کمینه دمای سطحی روزانه ثبت شده در حوضه  $35/87^{\circ}\text{C}$  در سال ۲۰۱۹ و کمترین آن‌ها  $13/11^{\circ}\text{C}$  در سال ۲۰۱۷ بود. به طور مشابه بیشینه شوری سطحی روزانه ثبت شده در حوضه  $39/98\text{psu}$  در سال ۲۰۱۷ و کمترین آن‌ها  $25/58\text{psu}$  در سال ۲۰۱۴ بود.

شکل ۳، متوسط شش ساله از توزیع سالیانه دمای سطح دریا در محدوده خلیج فارس و دریای عمان را نشان می‌دهد. در شمال تنگه هرمز، گستره دمایی  $27/5^{\circ}\text{C}$  و در جنوب، دو لکه دمایی  $28^{\circ}\text{C}$  دیده

سلول‌ها از تحلیل حذف شد. ابتدا اطلاعات آماری روزانه‌ی این شش سال (۲۰۱۴-۲۰۱۹)، به صورت سالیانه، و در دو فصل گرم و سرد (مطابق جدول ۳) استخراج گردید. در داده‌ها یک سال کبیسه (سال ۲۰۱۶) مطابق با داده‌های ماه میلادی (ماه فوریه) در داده‌ها وجود داشت. سپس از داده‌ها برای کل حوضه، متوسط زمانی، بیشینه، کمینه، دامنه تغییرات و میانگین و انحراف معیار (به اختصار SD) به دست آمد و اطلاعات مربوط به میانگین سالیانه و میانگین فصل گرم و سرد به تفکیک رسم گردید. میانگین مکانی دمای سالیانه حوضه در سال‌های مذکور (۲۰۱۴-۲۰۱۹) برای همه‌ی سلول‌ها، محاسبه شد. اما میانگین مکانی داده‌های شوری سالیانه به علت اینکه در برخی از سلول‌ها، داده موجود نبود، صرف‌نظر شد.

جدول ۳: تعداد روزهای مورد استفاده در محاسبه ساخت داده فصل گرم و سرد

Table 3: Number of days used to calculate warm and cold season data fabrication

| فصل (Season)   | سرد (Cold)  | گرم (Warm)  |
|--|---|---|
| ماه‌های میلادی (Months)  | October<br>November<br>December<br>January<br>February<br>March | April<br>May<br>June<br>July<br>August<br>September |
| تعداد روز از سال (کبیسه)<br>Number of days of the (leap) years | 182   | 183   |

سپس داده‌های ماهواره‌ای، با توجه به داده‌های اندازه‌گیری ۷۳ ساله [۲۳] طبق جدول ۱، در محیط نرم‌افزار متلب هم از نظر مکانی و هم از نظر گستره دما و شوری فیلتر شدند تا محدوده فیلتر شده‌ی دما و شوری سطحی به دست آید. چون توده‌ی آب خلیج فارس در دریای عمان در زیر توده آب سطحی دریای عمان است، لذا اطلاعات ارائه شده در آن مطالعه در این راستا مورد استفاده قرار گرفت [۲۳]. از آنجایی که زمان تخلیه‌ی آب خلیج فارس برای آب‌های سطحی خلیج فارس ۳ تا ۵ سال و برای آب‌های عمقی خلیج فارس بین ۵ تا ۷ سال است [۴۴]، پس در نتیجه داده‌های اندازه‌گیری این مطالعه با در بر گرفتن بیش از ده دوره از آب خلیج فارس، در مقایسه با سایر مطالعات جامع‌تر است [۱۰، ۴۵-۴۸] و بهتر می‌تواند الگوی مناسبی از توده آب خلیج فارس ارائه کند. در نتیجه با تخمین دما و شوری و موقعیت لایه آب سطحی دریای عمان، می‌توان از لایه زیرین، یعنی آب خلیج فارس در دو فصل گرم و سرد، آگاهی پیدا نمود. لازم به ذکر است که در همه تحلیل‌ها، محاسبات و ترسیم شکل‌های این پژوهش از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب استفاده شد.

## نتایج و بحث

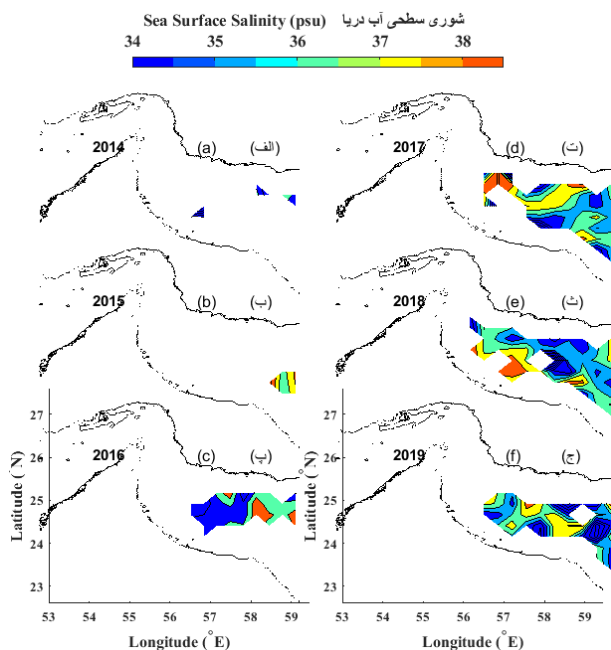
### ۱. نتایج

جدول ۴ و ۵، اطلاعات آماری داده‌های دما و شوری را در بازه

Fig. 4: Average annual sea surface temperature (in °C) from OSTIA data. Left) top to bottom: 2014-2016 (a to c), right) top to bottom: 2017-2019 (d to f) respectively.

در سال‌های ۲۰۱۵ (شکل ۴ ب) و ۲۰۱۶ (شکل ۴ پ) دمای سطحی آب این مناطق با افزایش حدود  $1/5^{\circ}\text{C}$  به  $28/5^{\circ}\text{C}$  افزایش می‌یابد و این گستره‌ی دمایی ناحیه‌ی وسیع‌تری در حدود  $300$  الی  $350$  کیلومتر ناحیه‌ی غربی دریای عمان (بین طول‌های جغرافیایی  $58^{\circ}\text{E}$  الی  $59/5^{\circ}\text{E}$ ) را از تنگه‌ی هرمز به طرف شرق تا قسمت‌های جنوبی دریای عمان نیز پوشش می‌دهد. از سال ۲۰۱۸ (شکل ۴ ث) و ۲۰۱۹ (شکل ۴ ج) این گستره‌ی دمایی از سواحل ایران فاصله گرفته و به سمت سواحل کشور عمان کشیده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی آن است که آب با دمای بیشتر که از تنگه‌ی هرمز خارج شده و به مناطق جنوبی دریای عمان سرازیر گردیده است (شکل ۴).

توزیع داده‌های شوری در سلول‌های موجود نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵ (شکل ۵ ب) در قسمت‌های میانی حوضه، محدوده‌ی شوری سالیانه بین  $36/0\text{psu}$  الی  $37/0\text{psu}$  می‌باشد که به صورت خطوطی با شوری یکسان در راستای شمال-جنوب قرار گرفته‌اند. در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ محدوده‌ی شوری از  $35/0\text{psu}$  الی  $36/5\text{psu}$  وجود دارد که در همه‌ی این سال‌ها آب با شوری بیشتر در قسمت‌های جنوبی حوضه واقع شده است (شکل ۵).

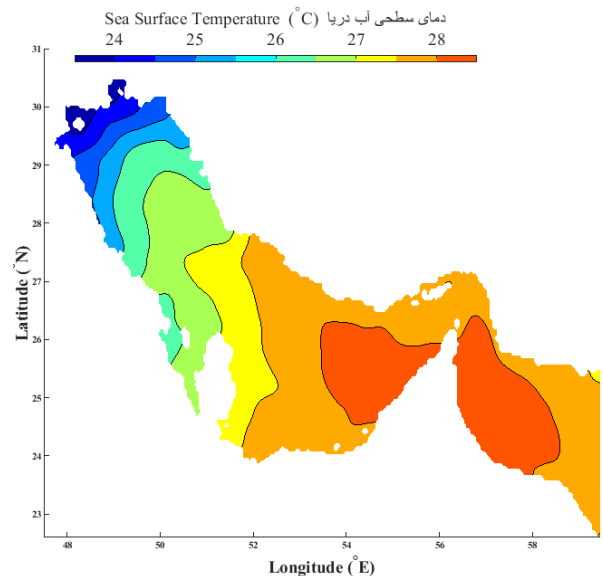


شکل ۵: گستره‌ی تغییرات شوری سطحی سالیانه (بر حسب psu) با داده‌های NOAA NESDIS STAR. چپ) به ترتیب بالا به پایین: ۲۰۱۴-۲۰۱۶ (الف تا پ)، راست) بالا به پایین: ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (ت تا ج).

Fig. 5: Range of annual surface salinity changes (in psu) with NOAA NESDIS STAR data. Left) top to bottom: 2014-2016 (a to c), right) top to bottom: 2017-2019 (d to f) respectively.

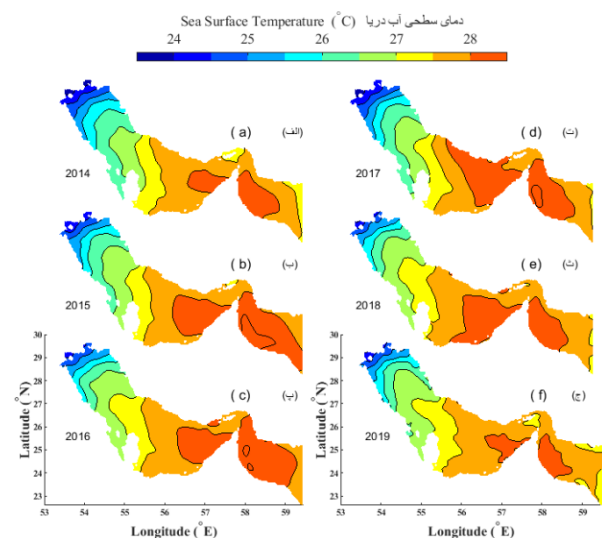
می‌شود که بخش عمده‌ای از محدوده ورودی تنگه هرمز به دریای عمان را می‌پوشاند.

طبق شکل ۴، در اغلب سال‌های مورد مطالعه، یعنی سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸، دمای سطح آب در شرق تنگه‌ی هرمز (محدوده‌ی  $56^{\circ}\text{E}$  الی  $57^{\circ}\text{E}$ ) در حدود  $28^{\circ}\text{C}$  تا  $28/5^{\circ}\text{C}$  است که بسیار نزدیک به مقدار متوسط سالیانه ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ (جدول ۴ و شکل ۳) است، اما این دما در بخش غربی دریای عمان (محدوده‌ی  $58^{\circ}\text{E}$  الی  $59/5^{\circ}\text{E}$ ) در حدود  $1$  تا  $1/5^{\circ}\text{C}$  کاهش می‌یابد.



شکل ۳: متوسط سالیانه (سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹) دمای سطح دریا (بر حسب  $^{\circ}\text{C}$ ) از داده‌های اوستیا

Fig. 3: Average annual (2014-2019) sea surface temperature (in  $^{\circ}\text{C}$ ) from OSTIA data.



شکل ۴: متوسط دمای سطحی سالیانه (بر حسب  $^{\circ}\text{C}$ ) از داده‌های اوستیا چپ) به ترتیب بالا به پایین: ۲۰۱۶-۲۰۱۴ (الف تا پ)، راست) بالا به پایین: ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (ت تا ج).

برای این دو فصل مربوط به سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۴ بود (جدول ۷). با ترسیم توزیع مکانی فصل گرم و سرد در شکل ۶ و ۷، مشاهده می‌شود که دمای سطحی آب در فصل گرم در ناحیه‌ی غربی دریای عمان (طول‌های جغرافیایی  $59^{\circ}E$  الی  $60^{\circ}E$  تا  $29^{\circ}C$  تا  $29/5^{\circ}C$ ) نسبت به بقیه‌ی طول‌های جغرافیایی در حدود  $1^{\circ}C$  الی  $2^{\circ}C$  کمتر است. در سال‌های ۲۰۱۵ (شکل ۶ ب)، ۲۰۱۷ (شکل ۶ ت)، و ۲۰۱۸ (شکل ۶ ث) گستره‌ی دمایی آب بین  $30/5^{\circ}C$  تا  $31/2^{\circ}C$  بیشتر در محل خروجی تنگه‌ی هرمز (محدوده‌ی طول جغرافیایی  $56^{\circ}E$  الی  $57^{\circ}E$ ) شکل ۶ قرار دارد.

جدول ۷: تغییرات آماری شوری بر حسب psu در فصل گرم و سرد در بازه ۲۰۱۴ الی ۲۰۱۹

Table 7: Statistical changes of temperature (in psu) in warm and cold seasons in the period 2014 to 2019

| پارامتر آماری (Statistical parameter) | میانگین (Mean) | انحراف معیار (Standard deviation) | بیشینه (Max) | کمینه (Min) | دامنه تغییرات (Variation range) |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------|
| فصل گرم (Warm season)                 | 2014           | 34.08                             | 0.01         | 38.04       | 9.23                            |
|                                       | 2015           | 35.63                             | 0.00         | 39.67       | 12.71                           |
|                                       | 2016           | 34.80                             | 0.64         | 39.97       | 13.01                           |
|                                       | 2017           | 35.13                             | 0.78         | 39.98       | 13.43                           |
|                                       | 2018           | 36.49                             | 0.51         | 39.82       | 13.29                           |
|                                       | 2019           | 35.68                             | 0.52         | 39.39       | 8.98                            |
| کلی (All)                             | 35.30          | 0.61                              | 39.46        | 27.04       | 11.77                           |
| فصل سرد (Cold season)                 | 2014           | 31.03                             | 0.01         | 38.46       | 12.88                           |
|                                       | 2015           | 35.67                             | 0.39         | 39.98       | 8.7                             |
|                                       | 2016           | 36.13                             | 0.40         | 39.98       | 8.14                            |
|                                       | 2017           | 36.50                             | 0.63         | 39.84       | 11.98                           |
|                                       | 2018           | 35.88                             | 1.20         | 39.49       | 11.10                           |
|                                       | 2019           | 34.51                             | 0.12         | 38.72       | 10.55                           |
| کلی (All)                             | 34.95          | 0.57                              | 39.41        | 28.85       | 10.55                           |

با توجه به تغییرات دمایی سطح دریا در دو فصل گرم (شکل ۶) و سرد (شکل ۷)، به خوبی دیده شد که توزیع تغییرات دمایی سطح دریا در فصل سرد، مقادیر کمتری نسبت به فصل گرم دارد. بخشی از دریای عمان دمای یکنواخت‌تری ( $25^{\circ}C$  الی  $27^{\circ}C$ ) نسبت به خلیج فارس در فصل سرد (شکل ۷) دارد که این ویژگی در سال ۲۰۱۶ ( $26^{\circ}C$ ) و در سال ۲۰۱۹ ( $27^{\circ}C$ ) محسوس‌تر و واضح‌تر است که می‌تواند نشان دهنده‌ی توده‌ی آبی باشد که در فصل سرد از گذرگاه تنگه هرمز خارج شده و کم‌کم به سواحل کشور عمان و دریای عمان نزدیک می‌شود و به قسمت غربی دریای عمان (محدوده‌ی  $57^{\circ}E$  الی  $59/5^{\circ}E$ ) می‌رسد. بر این اساس، طبق این نتیجه، توده‌ی آب خلیج فارس خروجی از تنگه‌ی هرمز حدود ۳۰۰ الی ۳۵۰ کیلومتری سواحل جنوبی دریای عمان وارد می‌شود که همخوانی با مطالعات گذشته دارد به طوری که با داده‌های اندازه‌گیری نشان داده شده است که آب شورتر از قسمت جنوبی و نزدیک سواحل عمان از تنگه خارج می‌شوند [۹] که تحلیل دمایی آب‌های سطحی در هر دو فصل گرم و سرد، خروج توده‌ی آب خلیج فارس را از قسمت جنوبی و نزدیک ساحل عمان تصدیق می‌کند. در فصل گرم در سال‌های

با توجه به این‌که هدف این پژوهش، بررسی توده آب در دو فصل گرم و سرد است، لذا با تفکیک زمانی داده‌ها به دو فصل گرم و سرد، میانگین دمای حوضه که در حدود  $30^{\circ}C$  است برای فصل گرم و سرد، در بازه سال‌های مورد مطالعه در جدول ۶ آورده شده است. طبق این داده‌ها، بیشینه و کمینه دمای میانگین سطح دریا در فصل گرم، به ترتیب در سال ۲۰۱۷، و سال ۲۰۱۴ اتفاق می‌افتاد که در فصل سرد، مقادیر بیشینه و کمینه به سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۴ اختصاص می‌یافت. میانگین دمای حوضه در فصل سرد، نسبت به فصل گرم، کاهشی در حدود  $6^{\circ}C$  داشت. بیشترین و کمترین دامنه تغییرات دمایی در فصل گرم به ترتیب مربوط به سال ۲۰۱۹ و سال ۲۰۱۸ بود. در فصل سرد، بیشترین و کمترین دامنه تغییرات دمایی مربوط به سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ بود. سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ در فصل گرم به ترتیب دارای بیشینه و کمینه‌ی دمای سطحی روزانه ثبت شده در حوضه بودند که این کمیت‌ها در فصل سرد به سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۷ برمی‌گشت (جدول ۶).

جدول ۶: تغییرات آماری دما بر حسب ( $^{\circ}C$ ) در فصل گرم و سرد در بازه ۲۰۱۴ الی ۲۰۱۹

Table 6: Statistical changes of temperature (in  $^{\circ}C$ ) in warm and cold seasons in the period 2014 to 2019

| پارامتر آماری (Statistical parameter) | میانگین (Mean) | انحراف معیار (Standard deviation) | بیشینه (Max) | کمینه (Min) | دامنه تغییرات (Variation range) |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------|-------------|---------------------------------|
| فصل گرم (Warm season)                 | 2014           | 30.01                             | 0.04         | 34.89       | 16.62                           |
|                                       | 2015           | 30.08                             | 0.07         | 35.50       | 15.91                           |
|                                       | 2016           | 30.41                             | 0.04         | 35.69       | 16.56                           |
|                                       | 2017           | 30.48                             | 0.07         | 35.53       | 16.36                           |
|                                       | 2018           | 30.11                             | 0.05         | 35.24       | 15.05                           |
|                                       | 2019           | 30.09                             | 0.07         | 35.87       | 16.96                           |
| کلی (All)                             | 30.29          | 0.05                              | 35.45        | 19.20       | 16.24                           |
| فصل سرد (Cold season)                 | 2014           | 23.76                             | 0.07         | 32.41       | 18.79                           |
|                                       | 2015           | 24.23                             | 0.06         | 33.56       | 19.39                           |
|                                       | 2016           | 24.42                             | 0.09         | 33.69       | 20.13                           |
|                                       | 2017           | 23.95                             | 0.07         | 32.67       | 19.56                           |
|                                       | 2018           | 24.57                             | 0.08         | 34.06       | 19.50                           |
|                                       | 2019           | 24.28                             | 0.06         | 34.01       | 20.24                           |
| کلی (All)                             | 24.21          | 0.07                              | 33.40        | 13.79       | 19.60                           |

میانگین شوری حوضه در فصل گرم سال‌های مورد مطالعه (۲۰۱۹-۲۰۱۴) در حدود  $35/30$  psu است، اگرچه تغییراتی در مقدار دقیق آن دیده می‌شود. به عنوان مثال، سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۷ بیشترین میانگین شوری سطح دریا به ترتیب در فصل گرم و سرد بودند. در فصل سرد، میانگین شوری حوضه کاهشی در حدود  $0/4$  psu دارد و به حدود  $34/95$  psu می‌رسد (جدول ۷).

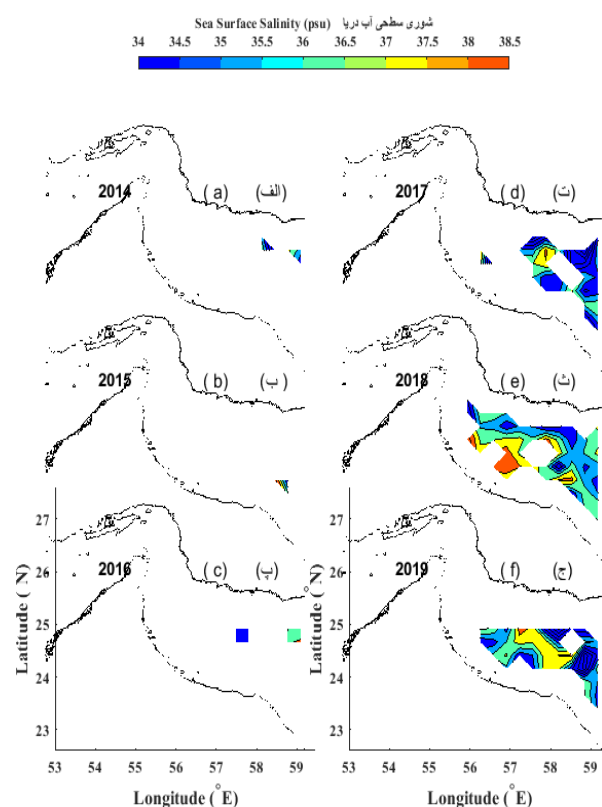
با توجه به داده‌ها بیشترین دامنه تغییرات شوری فصل گرم و سرد در سرتاسر حوضه، به ترتیب مربوط به سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ و کمترین دامنه تغییرات برای دو فصل گرم و سرد در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۱۶ می‌باشد. بیشینه شوری سطحی روزانه ثبت شده در حوضه برای فصل گرم و سرد، مربوط به سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۶ و کمترین شوری



شکل ۷: متوسط دمای سطحی دریا فصل سرد (بر حسب °C) از داده‌های اوستیا. (چپ) به ترتیب بالا به پایین: ۲۰۱۴-۲۰۱۶ (الف تا پ)، راست) بالا به پایین: ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (ت تا ج).

Fig. 7: Average sea surface temperature of the cold season (in °C) from OSTIA data. Left) top to bottom: 2014-2016 (a to c), right) top to bottom: 2017-2019 (d to f) respectively.

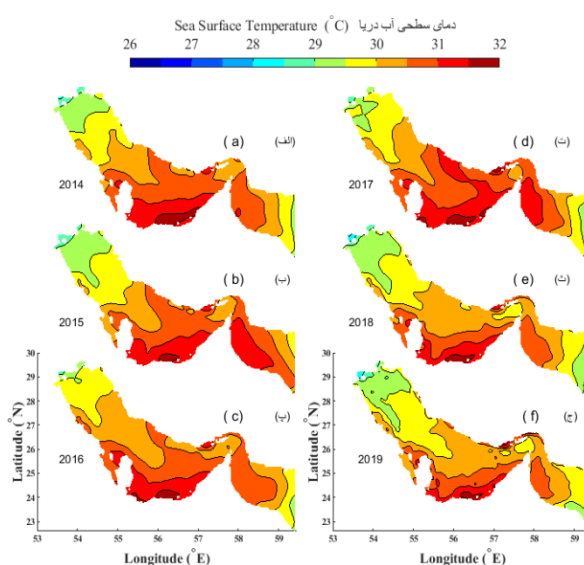
مطالعه‌ی آنان نشان داد که آب چگال از قسمت‌های کم‌عمق جنوبی خلیج فارس در زمستان تا اواخر بهار به تنگه هرمز می‌رسد که این بیانگر تایید اطلاعات فصل سرد در مطالعه حاضر است. از آنجا که داده‌های شوری NOAA NESDIS STAR، محدوده‌ای از دریای عمان را به صورت روزانه پوشش می‌داد، بعد از میانگین‌گیری و حذف سلول‌هایی که در برخی از روزها در آن‌ها داده موجود نبود، به خوبی دیده شد که بیشتر این داده‌ها برای فصل گرم در شرق تنگه‌ی هرمز (طول‌های جغرافیایی بیش از ۵۷°E) در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ (شکل ۸، ت الی ج) وجود دارد. اطلاعات این شکل‌ها جهت بررسی توده‌ی آب خلیج فارس در این ناحیه استفاده شده است به خوبی نشان می‌دهد که محدوده‌ی شوری از ۳۵/۵۰ psu الی ۳۷/۵۰ psu در محدوده دریای عمان می‌باشد (شکل ۸).



شکل ۸: گستره‌ی تغییرات شوری سطحی فصل گرم (بر حسب psu) با داده‌های NOAA NESDIS STAR. (چپ) به ترتیب بالا به پایین: ۲۰۱۴-۲۰۱۶ (الف تا پ)، راست) بالا به پایین: ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (ت تا ج).

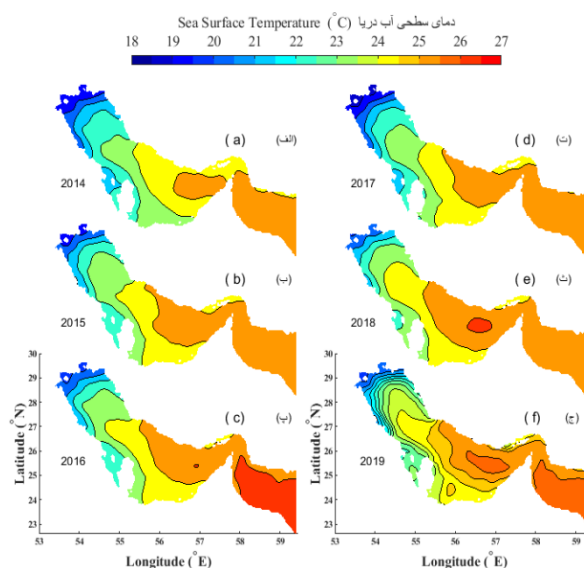
Fig. 8: Range of warm season surface salinity changes (in psu) with NOAA NESDIS STAR data. Left) top to bottom: 2014-2016 (a to c), right) top to bottom: 2017-2019 (d to f) respectively.

۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ (شکل ۶، ت و ج)، گستره‌ی دمایی ۳۰/۰°C الی ۳۰/۵°C در قسمت شمالی تنگه‌ی هرمز متمرکز است که با مطالعات گذشته مشابهت دارد [۱۰]. آن‌ها با بررسی نتایج تحقیقات گشت GOGP99 نشان دادند که آب سطحی سردتر و کم‌شورتر اقیانوس هند در فصل گرم از طریق قسمت شمالی تنگه، وارد خلیج فارس می‌شود. در فصل سرد در سال‌های ۲۰۱۶ (شکل ۷ پ) و ۲۰۱۹ (شکل ۷ ج) گستره‌ی دمایی به سمت مناطق کم‌عمق جنوبی در سواحل کشور عمان کشیده می‌شود که با مطالعاتی که در ناحیه‌ی مورد مطالعه انجام شده، تطابق خوبی دارد [۴۴].

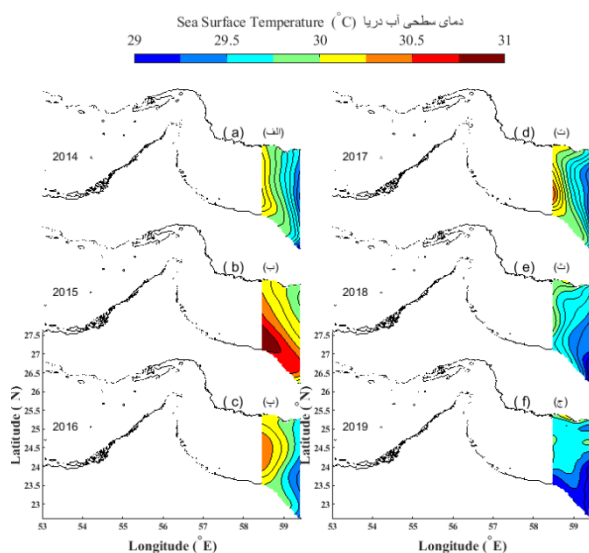


شکل ۶: متوسط دمای سطحی دریا فصل گرم (بر حسب °C) از داده‌های اوستیا. (چپ) به ترتیب بالا به پایین: ۲۰۱۴-۲۰۱۶ (الف تا پ)، راست) بالا به پایین: ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (ت تا ج).

Fig. 6: Average sea surface temperature of the warm season (in °C) from OSTIA data. Left) top to bottom: 2014-2016 (a to c), right) top to bottom: 2017-2019 (d to f) respectively.



(شکل ۱۰-ج)، این محدوده‌ی دمایی اصلا دیده نمی‌شود و در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ این گستره‌ی دمایی، اگرچه کل محدوده‌ی طول جغرافیایی را پوشش نمی‌دهد اما مانند زبانه‌ای وارد دریای عمان می‌شود و به سمت ساحل عربی کشیده می‌شود که نسبت به سال ۲۰۱۵، این زبانه گسترش کمتری دارد.

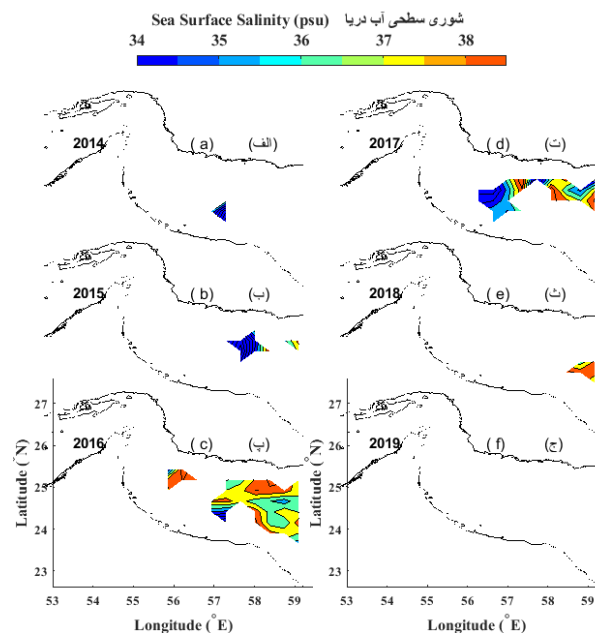


شکل ۱۰: نتایج حاصل از فیلتر دمایی داده‌های ماهواره‌ای اوستیا در فصل گرم با توجه به گستره انتخابی از داده‌های تاریخی در بازه ۱۹۲۳-۱۹۹۶ (۷۳ سال) [۲۳]. (چپ) به ترتیب بالا به پایین: ۲۰۱۴-۲۰۱۶ (الف تا پ)، (راست) بالا به پایین: ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (ت تا ج).

Fig. 10: The results of temperature filtering of OSTIA satellite data in the warm season according to the selected range of historical data in the period of 1923-1996 (73 years) [23]. Left) top to bottom: 2014-2016 (a to c), right) top to bottom: 2017-2019 (d to f) respectively.

در سال ۲۰۱۵، علاوه بر کشیده شدن به سمت ساحل عربی، شدت بیشتری دارد و دمای  $31^{\circ}\text{C}$  تقریباً کل حوضه را می‌پوشاند. این مساله می‌تواند بیانگر تقویت و تضعیف میزان نفوذ توده‌ی آب خلیج فارس به دریای عمان در سال‌های مختلف باشد و در مطالعه‌ای که مربوط به حوضه‌ی دریای اژه و دریای مدیترانه می‌باشد، تغییرات سالیانه توده مشاهده می‌شود [۴۹]. این مطالعه، مکانیسم تشکیل توده آب در دریای اژه را نشان می‌دهد که باعث خروج آب عمیق کرتان (CDW) از دریای کرتان به حوضه‌های شرق دریای مدیترانه می‌شود. مشخص شده است که حوضه مرکزی دریای اژه محل تشکیل آب میانی اژه است که به سمت جنوب می‌نزد و بسته به چگالی آنها، آب لایه‌ی میانی یا عمیق دریای کرتان را جایگزین می‌کند که در طول زمستان ۱۹۸۸، آب دریای کرتان عمدتاً در لایه‌ی میانی جایگزین شد، در حالی که در طول زمستان ۱۹۹۰، عمدتاً حجم CDW بود که افزایش یافت. در طی سال ۱۹۸۸ حجم (CDW) به  $14/1$  درصد دریای اژه و در سال ۱۹۹۰ به ۲۲ درصد آن رسیده است که تضعیف و تقویت آب خروجی دریای اژه در این سال‌ها را نشان می‌دهد. به علاوه، در سال ۲۰۱۵ از فصل گرم (شکل

در فصل سرد (شکل ۹) آب با شوری  $35/50$  psu الی  $38/50$  psu در ناحیه‌ی غربی دریای عمان (طول‌های جغرافیایی  $57/5^{\circ}\text{E}$  الی  $59/5^{\circ}\text{E}$ ) دیده می‌شود که قسمت میانی دریای عمان از محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهد.



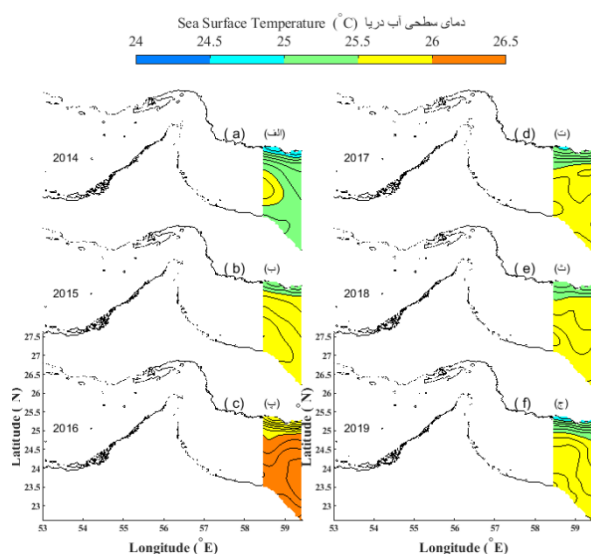
شکل ۹: گستره‌ی تغییرات شوری سطحی فصل سرد (بر حسب psu) با داده‌های NOAA NESDIS STAR. (چپ) به ترتیب بالا به پایین: ۲۰۱۴-۲۰۱۶ (الف تا پ)، (راست) بالا به پایین: ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (ت تا ج).

Fig. 9: Range of cold season surface salinity changes (in psu) with NOAA NESDIS STAR data. Left) top to bottom: 2014-2016 (a to c), right) top to bottom: 2017-2019 (d to f) respectively.

## ۲. یافته‌ها

در نتایج حاصل از فیلتر دمایی داده‌های ماهواره‌ای اوستیا در فصل گرم (شکل ۱۰) سال‌های مورد مطالعه (۲۰۱۴ الی ۲۰۱۹) مشاهده گردید که در طول  $59^{\circ}\text{E}$  الی  $59/5^{\circ}\text{E}$  از سواحل کشور ایران تا سواحل کشور عمان بیشتر (حدود  $3^{\circ}\text{C}$  بیشتر) و یکنواخت‌تری نسبت به فصل سرد ( $29^{\circ}\text{C}$  الی  $30^{\circ}\text{C}$ ) وجود دارد. در سال ۲۰۱۵ (شکل ۱۰-ب) دمای این محدوده به خصوص در ناحیه‌ی جنوبی آن به  $31^{\circ}\text{C}$  نیز می‌رسد. با توجه به گستره انتخابی ۷۳ ساله [۲۳] دیده می‌شود که خطوط هم‌دما در فصل گرم سال‌های ۲۰۱۴ (شکل ۱۰-ا) الی ۲۰۱۶ (شکل ۱۰-پ) و ۲۰۱۷ (شکل ۱۰-ت) در راستای شمال-جنوب قرار دارد. پس می‌توان انتظار داشت که خطوط هم‌دما توده‌ی آب خلیج فارس زیر آن نیز، در همین راستای شمال-جنوب باشد و به عبارتی توده آب در راستای محور دریای عمان به طرف شرق در جریان باشد. محدوده‌ی دمایی بین  $30^{\circ}\text{C}$  الی  $31^{\circ}\text{C}$  در سال ۲۰۱۵ فصل گرم (شکل ۱۰-ب) تقریباً کل محدوده‌ی مورد مطالعه را به جز ناحیه‌ای در شمال‌شرقی در سمت سواحل ایران، پوشش می‌دهد؛ اما در سال ۲۰۱۸ (شکل ۱۰-ث) و ۲۰۱۹

شدن شرق هسته‌ی این توده شده است و در طول مونسون جنوب غربی، نیز قسمت‌های شمالی هسته، تحت تاثیر جت منطقه قرار دارد و باعث عمیق‌تر شدن قسمت‌های جنوبی گردیده است [۵۱].



شکل ۱۱: نتایج حاصل از فیلتر دمایی داده‌های ماهواره‌ای اوستیا در فصل سرد با توجه به گستره انتخابی از داده‌های تاریخی در بازه ۱۹۲۳-۱۹۹۶ (۷۳ سال) [۲۳]. (چپ) به ترتیب بالا به پایین: ۲۰۱۴-۲۰۱۶ (الف تا پ)، راست) بالا به پایین: ۲۰۱۷-۲۰۱۹ (ت تا ج).

Fig. 11: The results of temperature filtering of OSTIA satellite data in the cold season according to the selected range of historical data in the period 1923-1996 (73 years) [23]. Left) top to bottom: 2014-2016 (a to c), right) top to bottom: 2017-2019 (d to f) respectively.

### نتیجه‌گیری

میانگین دمایی در فصل سرد  $24/0^{\circ}\text{C}$  و در فصل گرم  $30/5^{\circ}\text{C}$  بود که اختلاف حدودا  $6/5^{\circ}\text{C}$  داشتند که به عدد تخمینی مطالعه‌ای که در این زمینه انجام شده بود، نزدیک بود [۹]. آنان دما را به ترتیب  $23^{\circ}\text{C}$  برای فصل سرد و  $31^{\circ}\text{C}$  الی  $32^{\circ}\text{C}$  برای فصل گرم تخمین زدند. این مطالعه نشان می‌دهد که مقایسه بیشترین دمای روزانه سطح دریا در فصل گرم ( $35/87^{\circ}\text{C}$ ) و سرد ( $34/06^{\circ}\text{C}$ )، حدود  $1/8^{\circ}\text{C}$  اختلاف دارد و مقایسه کمترین دمای روزانه سطح دریا در فصل گرم ( $18/27^{\circ}\text{C}$ ) و سرد ( $13/11^{\circ}\text{C}$ ) حدود  $5/16^{\circ}\text{C}$  با هم تفاوت داشتند. میانگین شوری در فصل گرم در حدود  $34/08\text{psu}$  تا  $36/49\text{psu}$  است که دامنه‌ی تغییرات آن  $2/4\text{psu}$  است. در صورتی که در فصل سرد میانگین شوری در محدوده  $34/51\text{psu}$  الی  $36/50\text{psu}$  با دامنه‌ی تغییرات  $2/01\text{psu}$  است. دامنه‌ی تغییرات میانگین شوری در فصل گرم و سرد حدود  $0/39\text{psu}$  اختلاف دارد. بیشترین و کمترین دامنه تغییرات شوری روزانه فصل گرم در سرتاسر حوضه، به ترتیب  $13/43\text{psu}$  و  $8/98\text{psu}$  است. در حالی که بیشینه و کمینه دامنه تغییرات شوری در فصل سرد به ترتیب  $12/88\text{psu}$  و  $8/14\text{psu}$  می‌باشد. آب سطحی با دمایی  $28/5^{\circ}\text{C}$  الی  $30^{\circ}\text{C}$  که در فصل سرد در محدوده‌ی  $58/5^{\circ}\text{E}$  الی  $59/5^{\circ}\text{E}$  قرار دارد در فصل گرم به قسمت

۱۰-ب) راستای خطوط هم‌دما از شمال غربی به جنوب شرقی است که در این سال رنگ قرمز ( $30^{\circ}\text{C}$  تا  $31^{\circ}\text{C}$ ) بیشتری دیده شد که حاکی از افزایش دما است. اما در بعضی از سال‌ها (مانند سال ۲۰۱۶) دما کمتر است. این موضوع می‌تواند بیانگر آن باشد که توده‌ی آب تغییر مکان داده است به طوری که در سال ۲۰۱۶ نسبت به سال ۲۰۱۵ توده‌ی آب در حدود  $0/12$  درجه معادل ۱۴ کیلومتر و سال ۲۰۱۷ نسبت به سال ۲۰۱۶ نیز حدود  $0/08$  درجه معادل ۹ کیلومتر جلوتر رفته و به سمت شرق پیشروی داشته است و توده‌ی آب خلیج فارس خروجی از تنگه‌ی هرمز در  $300$  تا  $350$  کیلومتری تنگه‌ی هرمز به سواحل جنوبی دریای عربی وارد شده است، مشابه مطالعه‌ای که در این ناحیه انجام شده و نفوذ توده آب دیده می‌شود [۱۰] که در آن مطالعه با استفاده از داده‌های ADCP و داده‌های بویه که طی گشت GOGP99 در اکتبر و اوایل نوامبر ۱۹۹۹ به دست آمد، برای توصیف هسته آب خلیج فارس (توده‌ی آب خلیج فارس) و گردش آن در خلیج عمان مورد استفاده قرار دادند و نشان دادند که هسته توده‌ی آب خلیج فارس خروجی از تنگه هرمز، تا دریای عربی نفوذ می‌کند و در فاصله  $50-100$  کیلومتری ساحل آن قرار دارد.

در فصل سرد (شکل ۱۱) گستره‌ی دمایی آب سطحی محدوده‌ی طول جغرافیایی  $59^{\circ}\text{E}$  الی  $59/5^{\circ}\text{E}$  را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم‌بندی کرده است که در قسمت شمال آن (بین عرض‌های جغرافیایی  $25/3^{\circ}\text{N}$  الی  $26/2^{\circ}\text{N}$ ) مشاهده می‌گردد که این ناحیه دارای گستره‌ی دمایی  $25^{\circ}\text{C}$  الی  $25/5^{\circ}\text{C}$  است و قسمت جنوبی (بین عرض‌های  $22^{\circ}\text{N}$  الی  $25/3^{\circ}\text{N}$ ) دمایی یکنواخت‌تری وجود دارد. در سال ۲۰۱۶ (شکل ۱۱ پ) دمایی آن حتی به  $26/5^{\circ}\text{C}$  نیز می‌رسد و خطوط هم‌دما آن در این ناحیه در راستای شرقی-غربی است که این خطوط می‌تواند نشان دهنده‌ی آبی باشد که از قسمت شمالی تنگه وارد خلیج فارس شده است. در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ در عرض‌های جغرافیایی کمتر، (یعنی در ناحیه‌ی جنوبی)، خطوط هم‌دما در راستای شمال غربی-جنوب شرقی جهت‌گیری شده است.

گستره‌ی دمایی  $25/50^{\circ}\text{C}$  الی  $26^{\circ}\text{C}$  برای فصل سرد سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ بیشتر به سواحل کشور عمان نزدیک شده که می‌تواند بیانگر توده‌ی آب گرم‌تر و شورتر باشد که از تنگه‌ی هرمز خارج شده و به سمت نواحی جنوبی و مرز غربی دریای عمان کشیده شده که با مطالعه‌ی انجام شده در این حوضه تطابق خوبی دارد [۲۰]. آنان نشان دادند در طول مونسون زمستانی، گسترش توده‌ی آب خلیج فارس به سمت جنوب در امتداد مرز غربی است و در طول تابستان این امتداد وجود ندارد. لذا مطالعه سامانه‌های جوی روی توده آب ضروری به نظر می‌رسد که ثابت شده است آب خروجی از دریای اژه بیشتر به تغییرات میدان باد وابسته است [۵۰]. همچنین در حوضه‌ی دریای عربی تاثیر سامانه جوی بر توده‌ی آب با شوری بالای دریای عربی (ASHSW) دیده می‌شود که جریان ساحلی شدید شمالی که در امتداد ساحل غربی هند می‌وزند، باعث محدود

هدایت تحقیق، نحوه دریافت و فرآیند کدنویسی آن‌ها و هدایت بحث و نتیجه‌گیری مقاله را بر عهده داشتند. نویسندگی سوم به عنوان مشاور تیم تحقیق، در موارد ضروری، مشاوره‌های لازم را در راستای تحقیق ارائه می‌دادند.

### 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 شرایط پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

### تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

### منابع

- Geophysic Res Ocean.* 1992;**97**(C7):11219-11236. <http://dx.doi.org/10.1029/92JC00841>
12. Sugden W. The hydrology of the Persian Gulf and its significance in respect to evaporite deposition. *America J Sci.* 1963;**26i**:741-755. <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.261.8.741>
13. Duing W, Koske PK. Hydrographic observation in the Arabian Sea during the N.E. monsoon period , 1964-1965. "Meteor" Forschungsergebnisse. 1967;**8**:8, 1-43.
14. Duing W, Schwill WD. Spreading and mixing of the highly saline water of the Red Sea and the Persian Gulf. "Meteor" Forschungsergebnisse. 1967;**8**:44-66.
15. Emery KO. Sediments and water of Persian Gulf. *AAPG Bullet.* 1956;**40**(10):2354-2383. <http://dx.doi.org/10.1306/5CEAE595-16BB-11D7-8645000102C1865D>
16. Levean M, Szekiolda KH. Situation hydrologique et distribution du zooplancton dans le N.W. de la mer d'Arabie Sarsia. 1968;**34**:285-298. <http://dx.doi.org/10.1080/00364827.1968.10413392>
17. Sewell RBS. The John Murray expedition to the Arabian Sea. *Nature.* 1934;**133**:86-89. <http://dx.doi.org/10.1038/133086a0>
18. Meshal A, Hassan H. Evaporation from the coastal water of the central part of the Gulf. *Arab Gulf J Sci Res.* 1986;**4**(2):649-655.
19. Premchand K, Sastry JS, Murty CS. Water mass structure in the western Indian Ocean, II, The spreading and transportation of Persian Gulf water. *Mausam.* 1986;**37**:179-186.
20. Prasad TG, Ikeda M, Kumar SP. Seasonal spreading of the Persian Gulf Water mass in the Arabian Sea. *J Geophysic Res Ocean.* 2001;**106**(C8):17059-17071. <http://dx.doi.org/10.1029/2000JC000480>

سمت راست محدوده رسیده و به سمت طول‌های بیشتر از  $59/5^{\circ}E$  پیشروی می‌نماید و توده‌ی آب خلیج فارس خروجی از تنگه‌ی هرمز در ۳۰۰ تا ۳۵۰ کیلومتری آن و تا سواحل جنوبی دریای عربی وارد می‌شود. الگوی محدوده دما و شوری نشان می‌دهد که توده‌ی آب خلیج فارس دارای تغییرات سالیانه است به طوری که در سال ۲۰۱۵ بیشترین نفوذ و در سال ۲۰۱۶، کمترین نفوذ را به دریای عمان دارد. به علاوه این الگو نشان می‌دهد که تغییرات فصلی نیز در توده‌ی آب خلیج فارس اتفاق می‌افتد و نفوذ توده‌ی آب خلیج فارس در فصل گرم پهنای بیشتری دارد. همچنین به نظر می‌رسد سامانه‌های جوی مانند مونسون زمستانی می‌تواند در میزان نفوذ توده‌ی آب خلیج فارس دخیل باشد [۲۰] که مطالعات بیشتر در این خصوص لازم است.

### مشارکت نویسندگان

نویسنده‌ی اول، به عنوان محقق اصلی پژوهش، با هدایت استاد راهنما تهیه‌ی داده‌ها و کدنویسی و پیش‌نویس اولیه مقاله را عهده‌دار بودند. نویسنده‌ی دوم به عنوان استاد راهنمای تحقیق، مسئولیت

- Emery WJ. Water types and water masses. *Encycl Ocean Sci.* 2001;**6**:3179-3187. <http://dx.doi.org/10.1006/rwos.2001.0108>
- Emery WJ, Meincke J. Global water masses-summary and review. *Oceanol Acta.* 1986;**9**(4):383-391.
- Tomczak M, Godfrey JS. Regional oceanography: an introduction. Elsevier. Pergamon Press, New York 2013.
- Stewart RH. Introduction to Physical Oceanography. Texas A&M University 2008.
- The Open University. Ocean Circulation, 2nd ed. By Ed. Bearman J, Butterworth-Heinemann 2001.
- Rochford DJ. Salinity maxima in the upper 1000 metres of the north Indian Ocean. *Marine Freshwater Res.* 1964;**15**(1):1-24. <http://dx.doi.org/10.1071/MF9690001>
- 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. *J Geophysic Res Ocean.* 2003;**108**(C12). <http://dx.doi.org/10.1029/2003JC001881>
- Malakotian M. [Introduction to the political geography and strategic importance of Iran]. (Persian). *J Facult Law Political Sci.* 2004;**63**:203-221.
- Rynolds RM. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bullet.* 1993;**27**:35-59. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(93\)90007-7](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(93)90007-7)
- 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 of Hormuz. *J Geophysic Res Ocean.* 2004;**109**(C12). <http://dx.doi.org/10.1016/0016/2003JC002145>
- Chao SY, Ka TW, Al-Hajri KR. A numerical investigation of circulation in the Arabian Gulf. *J*

33. Stark JD, Donlon CJ, Martin MJ, McCulloch ME. OSTIA: An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system. In *Oceans 2007-europe*. 2007;**12**(5):E070503-070501. <http://dx.doi.org/10.2807/esw.12.18.03185-en> <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17868605>
34. Lorenz M, Klingbell K, Burchard H. Numerical Study of the Exchange Flow of the Persian Gulf Using an Extended Total Exchange Flow Analysis Framework. *J Geophys Res Ocean*. 2020;**125**:e2019JC015527. <http://dx.doi.org/10.1029/2019JC015527>
35. ESRI. ArcGIS Desktop (Version 10.3). Redlands, 2011; CA: Environmental Systems Research Institute. 2011.
36. ERDDAP. Global SST and Sea Ice Analysis, 2020; Retrieved July 31 2020. Available from: [https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/jplUKMO\\_OSTIAv20.html](https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/jplUKMO_OSTIAv20.html).
37. MetOffice. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system 2018.
38. Mecklenburg S, Drusch M, H. KY, Font J, Martin-Neira M, Delwart S, et al. ESA's Soil Moisture and Ocean Salinity Mission: Mission Performance and Operations. In *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2012;**50**(5):1354-1366. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2012.2187666>
39. Olmedo E, Gabarró C, González-Gambau V, Martínez J, Ballabrera-Poy J, Turiel A, et al. Seven Years of SMOS Sea Surface Salinity at High Latitudes: Variability in Arctic and Sub-Arctic Regions. *Geol*. 2014;**42**(3):227-230. <http://dx.doi.org/10.3390/rs10111772>
40. Sabia R, Fernández D, Portabella M, Gouirion J, Font J, Talone M, et al. SMOS L3 salinity performances at decreasing sea surface temperature, 2012 12th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment (MicroRad), Rome. 2012:1-4. <http://dx.doi.org/10.1109/MicroRad.2012.6185232>
41. Olmedo E, Turiel A, Ballabrera-Poy J, Martinez J, Portabella M, V. G-G, et al. New SMOS salinity products at CP34-BEC in Barcelona, 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Beijing. 2016:4005-4007. <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730041>
42. Garcia-Eidell C, Comiso JC, Dinnat E, Brucker L. Sea Surface Salinity Distribution in the Southern Ocean as Observed From Space. *J Geophys Res Ocean*. 2019;**124**:3186-3205. <http://dx.doi.org/10.1029/2018JC014510>
43. Xiaobin Y, Jacqueline B, Fonn J, Reul N, Spurgeon P, Martin N, et al. SMOS ocean salinity: Recent improvements and applications. 2014 XXXIth URSI General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), Beijing. 2014:1-4. <http://dx.doi.org/10.1109/URSIGASS.2014.6929698>
44. Sadrinasab M, Kämpf J. Three-dimensional flushing times of the Persian Gulf. *Geophys Res Letter*. 2004;**31**(24):L24301. <http://dx.doi.org/10.1029/2004GL020425>
21. 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.
22. Yao F, Johns WE. A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 2. Formation and export of Persian Gulf Water. *J Geophys Res Ocean*. 2010;**115**(C11). <http://dx.doi.org/10.1029/2009JC005788>
23. Alessi CA, Hunt HD, Bower AS. Hydrographic data from the U. S. Naval Oceanographic Office Persian Gulf, southern Red Sea, and Arabian Sea 1923-1996, 1999; Tech. Rep. WHOI-99-02, Woods Hole Oceanogr. Inst., Woods Hole, Mass. <http://dx.doi.org/10.1575/1912/78>
24. Ariyo K, Yoji T, Akira K, Masahiko S. Generalized Lyzenga's. Predictor of Shallow Water Depth for Multispectral Satellite Imagery, *Marine Geodesy*. 2013;**36**(4):365-376. <http://dx.doi.org/10.1080/01490419.2013.839974>
25. Clark RK, Fay TH, Walker CL. Bathymetry calculations with Landsat 4 TM imagery under a generalized ratio assumption. *Appl Opt*. 1987;**26**(19). [http://dx.doi.org/10.1364/AO.26.4036\\_1](http://dx.doi.org/10.1364/AO.26.4036_1) <http://ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20490179>
26. Geyman EC, Maloof AC. A simple method for extracting water depth from multispectral satellite imagery in regions of variable bottom type. *Earth Space Sci*. 2019;**6**:527-537. <http://dx.doi.org/10.1029/2018EA000539>
27. Liang J, Zhang J, Ma Y, Zhang C. Derivation of Bathymetry from High-resolution Optical Satellite Imagery and USV Sounding Data, *Marine Geodesy*. 2017;**40**(6):466-479. <http://dx.doi.org/10.1080/01490419.2017.1370044>
28. Barron CN, Vastano AC. Satellite observations of surface circulation in the northwestern Gulf of Mexico during March and April 1989. *J Continental Shelf Res*. 1994;607-628. [http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343\(94\)90109-0](http://dx.doi.org/10.1016/0278-4343(94)90109-0)
29. Shafiee Sarvestani R, Sadrinasab M, Akbarinasab M. [Tracing Water Masses in the Gulf of Aden Using a Passive Tracer]. (Persian). *J Oceanograph*. 2018;**9**(35):49-60. <http://dx.doi.org/10.29252/JOC.2018.9.1317>
30. Barton BI, Lique C, Lenn YD. Water mass properties derived from satellite observations in the Barents Sea. *J Geophys Res Ocean*. 2020;**125**(8):e2019JC015449. <http://dx.doi.org/10.1029/2019JC015449>
31. Piracha A, Sabia R, Fernández-Prieto D, Klockmann M, Castaldo L. Satellite based estimation of water-mass formation areas and extents. Proc. SPIE 10784, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions. 2018:107840N. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2325699>
32. Roberts-Jones J, Fiedler E, Martin M. Daily, global, high-resolution SST and sea-ice reanalysis for 1985- 2007 using the OSTIA system. *J Climate*. 2012;**25**:6215-6232. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00648.1>

- J Marine Sci.* 2017;7:169-190.  
<http://dx.doi.org/10.4236/ojms.2017.71013>
49. Gertman I, Pinardi N, Popov Y, Hecht A. Aegean Sea Water Masses during the Early Stages of the Eastern Mediterranean Climatic Transient (1988-90). *J Physic Oceanograph.* 2006:1841-1859.  
<http://dx.doi.org/10.1175/JPO2940.1>
50. Zervakis V, Georgopoulos D, Drakopoulos PG. Hydrology and circulation in the north Aegean (eastern Mediterranean) throughout 1997 and 1998. *Mediterranean Marine Sci.* 2002;3:5-19.  
<http://dx.doi.org/10.12681/mms.254>
51. Kumar SP, Prasad TG. Formation and spreading of Arabian Sea high-salinity water mass. *J Geophysic Res Ocean.* 1999:1455-1464.  
<http://dx.doi.org/10.1029/1998JC900022>
45. Bower A, Hunt DH, Prir JF. Character and dynamic of the Red Sea and Peasian Gulf outflows. *Dep Physic Oceanograph Woods Hole Ocean Institut.* 2000.  
<http://dx.doi.org/10.1029/1999JC900297>
46. Azizpour J, Chegini V, Khosravi M, Einali A. Study of the Physical Oceanographic Properties of the Persian Gulf, Strait of Hormuz and Gulf of Oman Based on PG-GOOS CTD Measurements. *J Persian Gulf.* 2014;5:37-48.
47. Esmaielpour S, Mehdizadeh M, Hasanzadeh E, Khalilabadi M. [3D Modeling of Wind-Driven Circulation In The Northern Indian Ocean During Monsoon, in 1994]. (Persian). *J Oceanograph.* 2018;10(38):17-28.  
<http://dx.doi.org/10.29252/joc.10.38.17>
48. Ghazi E, Bidokhti A, Ezam M, Azad M, Hassanzadeh S. Physical Properties of Persian Gulf Outflow Thermohaline Intrusion in the Oman Sea. *Open*

#### AUTHOR(S) BIOSKETCHES

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

✉ [hoseynramak@gmail.com](mailto:hoseynramak@gmail.com)

 .....

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

✉ [soyuffjahromi@yahoo.com.au](mailto:soyuffjahromi@yahoo.com.au)

 0000-0002-7877-6277

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

✉ [pakbari91@yahoo.com](mailto:pakbari91@yahoo.com)

 .....



#### HOW TO CITE THIS ARTICLE

**Citation (Vancouver)** Ramak H, soyuffjahromi M, Akbari P. Persian Gulf Water mass tracking by surface temperature and salinity properties. *joc.* 2022; 12 (48) :13-28

 <http://doi.org/10.12345/joc.12.48.???>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1616-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>



#### 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.