



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Seasonal changes of the Outflow of Persian Gulf Water mass in the Gulf of Oman

Shakila Lashkari¹, Maryam Soyuf Jahromi^{2}, Samad Hamzei³*

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

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

3- Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran

ABSTRACT

Article History:

Received: 2023/04/30

Revised: 2023/07/8

Accepted: 2023/05/31

KEYWORDS:

Persian Gulf water mass

Gulf of Oman

temperature

salinity

WOA2018

*Corresponding author

✉ soyufjahromi@yahoo.com.au

orcid 0000-0002-7877-6277

doi: 10.52547/joc.14.53.9

dor:20.1001.1.15621057.1402.14.53.9.3

Background and Objectives: The Gulf of Oman plays the role of a passage that connects the Persian Gulf to the Indian Ocean and is the place where the saline water of the Persian Gulf is exchanged with the less salty water of the Indian Ocean. This research has investigated the Persian Gulf water mass (abbreviated as PGW) in the Gulf of Oman, whose seasonal changes are important.

Methods: In order to identify PGW, in the studied area, the international data set of temperature and salinity of the World Ocean Atlas with the abbreviation WOA18 and the spatial accuracy of 0.25 ° longitude and latitude at the surface, depths of 150 and 300 meters were used seasonally. Contour maps for the mentioned depths were drawn using Ocea Data View (ODV) software. The vertical cross-section map of AB was drawn in line with the deepest depths from the middle of the Gulf of Oman to determine the thickness of PGW, its expansion rate, and its placement depth (based on the salinity fill line of 36.45 psu).

Findings: The results show that the density on the surface is mostly a function of temperature. In the surface layer, in the winter season, the water is colder (23.24°C) and denser (25.12 kg/m³), and in the summer season the water is warmer (32.42°C) and less dense (22.41 kg/m³). In the summer season, water has the highest and lowest salinity at the surface (36.45 psu < S_{surface} < 36.66 psu) and at a depth of 150 m (36.12 psu < S_{150 m} < 36.45 psu) experiences. On the contrary, the surface layer where the water is cold in the winter season and warm in the summer season, at the depth of 150 m, the water is warm in the winter season and cold in the summer season. At the depth of 150 m, the density pattern in summer and autumn is a function of salinity, but in spring and winter, the density pattern is a function of temperature. In addition, in summer, sub-mesoscale high-pressure cyclones near Muscat can be seen on the surface, which are not clearly seen in other seasons. Also, the results clearly show that PGW is not seen in the surface layer and flows subsurface from the southern side of the Strait of Hormuz towards the Gulf of Oman. The depth of placement and extent of PGW has seasonal and spatial changes, and by moving eastward in all seasons, the thickness of PGW decreases due to mixing with the surrounding waters. The results obtained from the vertical cross-section AB, in the middle of the bay, show that PGW is observed during different seasons from the depth of 150 to 375 meters, which is shallower in spring and summer and has less depth buoyancy than in autumn and winter.

In the side results of this research, several fronts such as Ras Al-Had, Fins and Al-Ramis were observed in the quantity of temperature, salinity or density, which have seasonal changes. These fronts are especially present in layers such as 150 m and 300 m depth because the presence of subsurface fronts is less reported in the region.

Also, the results of the research showed dense and less dense cores, some of which are formed due to the eddies in the area and others due to the hydrodynamics of the area. For example, the low salinity core (13.36 psu) near Chabahar can be due to the occurrence of the upwelling of the area, which brings the less saline waters of the middle of the gulf to the surface and causes a decrease in salinity.

Conclusion: The results of this research clearly showed that PGW has seasonal changes. PGW is deeper in autumn and winter than in spring and summer. Examining the same surface maps, especially at the depth of 150 m, showed that PGW, in addition to the southern coast, can also be seen on the northern coast, which requires a more detailed investigation regarding the possibility of its presence on the northern coast or its multiple branches.



NUMBER OF TABLES

7



NUMBER OF FIGURES

6



NUMBER OF REFERENCES

28

مقاله پژوهشی

تغییرات فصلی توده آب خروجی خلیج فارس در خلیج عمان

شکیلا لشکری^۱، مریم سیوف جهرمی^{۲*}، صمد حمزه‌ئی^۳

۱- گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳- پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: خلیج عمان نقش گذرگاهی را بازی می‌کند که خلیج فارس را به اقیانوس هند متصل کرده و محل تبادل آب شور خلیج فارس با آب کم شور اقیانوس هند است. این پژوهش به بررسی توده آب خلیج فارس (که به اختصار PGW می‌نامند) در خلیج عمان پرداخته است که تغییرات فصلی آن حائز اهمیت است.

روش‌ها: به منظور شناسایی PGW، در منطقه مورد مطالعه، از مجموعه داده‌های بین‌المللی دما و شوری اطلس اقیانوس جهانی با علامت اختصار WOA18 و دقت مکانی 0.25° طول و عرض جغرافیایی در سطح، عمق‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ متری به صورت فصلی استفاده شد. نقشه‌های همسطح برای اعماق مذکور با استفاده از نرم‌افزار Ocea Data View، (ODV)، رسم گردید. نقشه مقطع قائم AB در راستای بیشترین اعماق از در میانه خلیج عمان رسم گردید تا ضخامت PGW، میزان گسترش آن و عمق قرارگیری آن (بر اساس خط پربندی شوری ۳۶/۴۵ psu) تعیین شود.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که چگالی در سطح، بیشتر تابع دماست. در لایه سطحی، در فصل زمستان آب سردتر ($23/24^\circ\text{C}$) و چگال‌تر ($25/12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) است و در فصل تابستان آب گرم‌تر ($32/42^\circ\text{C}$) و کم‌چگال‌تر ($22/41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) است. در فصل تابستان آب بیشترین و کمترین شوری را در سطح ($36/66 \text{ psu} < S_{\text{surface}} < 36/45 \text{ psu}$) و در عمق ۱۵۰ m ($36/12 \text{ psu} < S_{150 \text{ m}} < 36/45 \text{ psu}$) تجربه می‌کند. عکس لایه سطحی که آب در فصل زمستان سرد و در فصل تابستان گرم است در عمق ۱۵۰ m در فصل زمستان آب گرم و در فصل تابستان آب سرد است. در عمق ۱۵۰ m، الگوی چگالی در تابستان و پاییز تابع شوری است اما در بهار و زمستان، الگوی چگالی تابع دماست. به علاوه در تابستان پدیده‌های زیرمیان‌مقیاس پرفشار چرخندی در نزدیکی مسقط در سطح دیده می‌شوند که در سایر فصول به وضوح دیده نمی‌شوند. همچنین نتایج به خوبی نشان می‌دهند که PGW، در لایه سطحی دیده نمی‌شود و به صورت زیر سطحی از کناره جنوبی تنگه هرمز به سمت خلیج عمان سرازیر می‌شود. عمق قرارگیری و میزان گسترش PGW دارای تغییرات فصلی و مکانی بوده و با پیشروی به سمت شرق در تمامی فصول ضخامت PGW به علت اختلاط با آب‌های اطراف کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از مقطع قائم AB، در میانه خلیج نشان می‌دهد که PGW طی فصول مختلف از عمق ۱۵۰ تا ۳۷۵ متری مشاهده می‌شود که در بهار و تابستان، سطحی‌تر و در عمق شناوری کمتری نسبت به پاییز و زمستان دارد.

در نتایج جانبی این پژوهش، جبهه‌های متعددی مانند راس‌الحد، فنس و الرمیس در کمیت دما، شوری یا چگالی مشاهده شد که تغییرات فصلی دارند. این جبهه‌ها به ویژه در لایه‌هایی مانند عمق ۱۵۰ m و ۳۰۰ m وجود دارند زیرا وجود جبهه‌های زیر سطحی کمتر در منطقه گزارش شده است. همچنین نتایج پژوهش هسته‌های چگال و کم‌چگال را نشان داد که برخی به علت پیچک‌های موجود در منطقه و برخی دیگر به علت هیدرودینامیک منطقه تشکیل می‌شوند. به عنوان مثال هسته کم‌شور ($36/13 \text{ psu}$) در نزدیکی چاهار می‌تواند به علت رخداد فراچاهی آن منطقه باشد که آب‌های کم‌شور میانی خلیج را به سطح می‌آورد و موجب کاهش شوری می‌شود.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش به خوبی نشان داد که PGW تغییرات فصلی دارد. PGW در پاییز و زمستان عمیق‌تر از فصول بهار و تابستان است. بررسی نقشه‌های هم سطح به ویژه در عمق ۱۵۰ m، نشان داد که PGW، علاوه بر ساحل جنوبی می‌تواند در سمت سواحل شمالی نیز مشاهده شود که بررسی دقیق‌تر آن در خصوص احتمال حضور آن در سواحل شمالی و یا چند شاخه شدن آن ضروری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱۰

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۰

واژگان کلیدی:

توده آب خلیج فارس

خلیج عمان

دما

شوری

WOA2018

*نویسنده مسئول

✉ soyufjahromi@yahoo.com.au

orcid 0000-0002-7877-6277

doi: 10.52547/joc.14.53.9

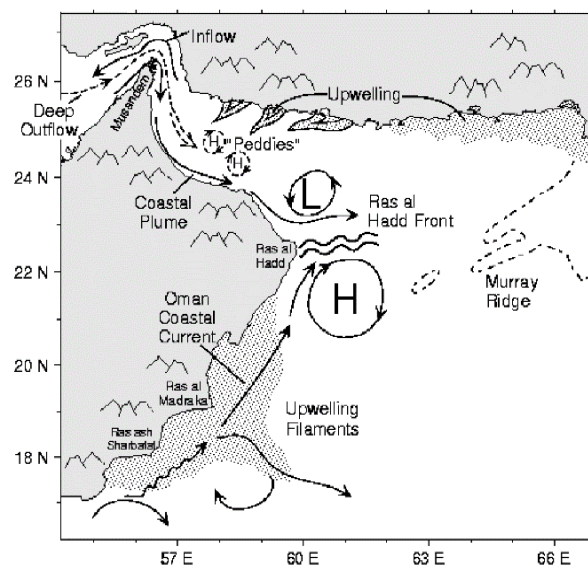
dor:20.1001.1.15621057.1402.14.53.9.3

مقدمه

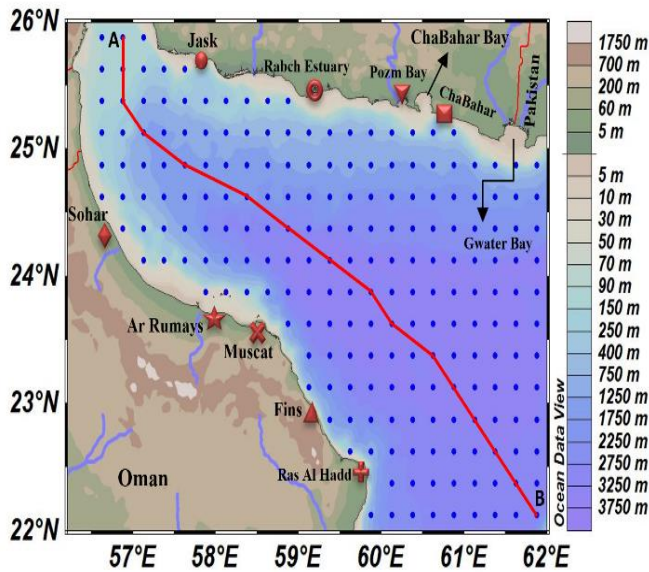
اگرچه توده‌های آب متفاوتی در دریای عمان ممکن است راه یابند (مثل توده آب عمیق شمال اقیانوس هند (NIDW) [۱]، اما توده‌های آب سطحی اقیانوس هند (IOSW) [۴]، و توده آب خلیج فارس (PGW) [۵]، به عنوان دو توده اصلی منطقه هستند [۶]. ضمن خروج از تنگه و سرازیر شدن به خلیج عمان در مجاورت با سواحل کشور عمان، با توده‌های آب مجاور با شوری کم‌تر مانند آب کم‌تر شور اقیانوس هند اختلاط می‌یابد و ضمن کاهش چشمگیر شوری، در نهایت به عمقی که در آن شناوری خنثی دارد، خواهد رسید [۷-۹]. PGW در خلیج عمان در عمق ۱۵۰ m تا ۳۰۰ m با دمای 20°C تا 22°C و شوری ۳۷/۲۵ psu تا ۳۷/۵ psu وجود دارد [۱]. PGW از طریق کف و از کناره جنوبی تنگه هرمز به سمت خلیج عمان سرازیر می‌شود و IOSW در شمال خلیج عمان جریان دارد [۴، ۱۰]. PGW در خلیج عمان در زیر توده آب سطحی خلیج عمان قرار می‌گیرد [۱۱]. توده آب خروجی از تنگه هرمز در محدوده ۳۰۰ km الی ۳۵۰ km در سواحل جنوبی خلیج عمان جریان دارد، به طوری که آب شورتر از قسمت جنوبی و نزدیک سواحل عمان از تنگه خارج می‌شوند [۷]. هنگامی که جریان خروجی خلیج فارس وارد خلیج عمان می‌شود، به تدریج از بستر جدا شده و روی شیب قاره به طرف مناطق عمیق‌تر نفوذ می‌کند. در این مرحله فرارفت افقی جریان به صورت جریان شورتر و گرم‌تر نسبت به آب‌های پیرامون مشاهده می‌گردد [۹].

مطالعات نشان‌دهنده تغییر جهت PGW، بر اثر نیروی کوریولیس [۸، ۱۲]، تغییرات فصلی [۶، ۸-۹، ۱۳-۱۶] و سالیانه دما و شوری [۱۳-۱۴] و تغییر سرعت [۱۷] برای PGW است. در مطالعه Pous و همکاران (۲۰۰۴a)، نشان داده شده است که دما و شوری PGW از 27°C و ۳۹/۷۵ psu در خلیج فارس تا 21°C و ۳۷/۱ psu در شمال دریای عرب به صورت غیریکنواخت کاهش می‌یابد [۱]. طبق مشاهدات Piontkovski و Chiffings (۲۰۱۴) بیشترین انتقال آب در فصل تابستان صورت می‌گیرد که حکایت از تغییرات فصلی جریان ورودی PGW، به دریای عمان دارد [۶]. اما مطالعه Ghazi و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که در زمستان جریان خروجی خلیج فارس به علت چگالی بیشتر آب، در عمق‌های پایین نسبت به بقیه‌ی فصول نفوذ می‌کند [۹]. در تابستان جریان سطحی‌تر (با عمق شناوری ۲۰۰ m- می‌کند [۹]. در تابستان جریان سطحی‌تر (با عمق شناوری بالاتری نسبت به زمستان (با عمق شناوری ۳۰۰-۵۰۰ m [۸] و ۲۰۰ m [۱۶]) قرار دارد [۹]. در مطالعه Ramak و همکاران (۲۰۲۳) نیز سرعت حرکت پایین سوی PGW، برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب

خلیج عمان با مساحتی در حدود 94000 km^2 و عمق بیش از ۳۰۰۰ m، در محدوده‌ی عرض جغرافیایی 26°N - 22°N و طول جغرافیایی 62°E - 56°E قرار گرفته است [۱-۲]. خلیج عمان امتداد دریای عرب به سمت غرب است که به خلیج فارس ختم می‌شود و حوضه آن به سمت تنگه هرمز، باریک و کم‌عمق می‌شود [۳]. در واقع خلیج عمان نقش گذرگاه را بازی می‌کند که خلیج فارس را به اقیانوس هند متصل کرده است. این آبراهه محل تبادل آب بسیار شور خلیج فارس با آب کم‌شور اقیانوس هند است. از این رو، به علت پایداری دما و شوری آب [۴]، بررسی ویژگی‌های این حوضه آبی، حائز اهمیت است. در مقیاس جهانی، به علت محدود بودن مطالعات توده آب، نمی‌توان دیدگاه مناسبی از تغییرات مکانی و زمانی توده آب ارائه داد [۵] که بررسی این موضوع، در دریاها و خلیج‌های حاشیه‌ای پیچیده‌تر می‌شود. خلیج عمان هم از این قاعده مستثنی نیست و الگوهای زمانی-مکانی دما و شوری آن، اندک مورد بررسی قرار گرفته است [۶]. البته مطالعاتی روی الگوی گردش و ساختار جریان ترموهالاینی خروجی خلیج فارس در خلیج عمان انجام شده است که وجود چرخندها و نفوذ آب‌های خروجی خلیج فارس به خلیج عمان را نشان می‌دهد (شکل ۱).



شکل ۱: الگوی گردش عمومی خلیج عمان. L و H به ترتیب نشان‌دهنده پیچک‌های چرخندی و واچرخندی، است. پدی‌ها، ادی‌های ریزمقیاس چرخندی (قطر کمتر از ۲۵ کیلومتر) هستند [۳].



شکل ۲: منطقه مورد مطالعه. نقاط آبی، مکان ایستگاه‌های WOA18 و خط قرمز، مکان برش قائم مقاطع A-B می‌باشد. علامت‌های روی شکل، ایستگاه‌هایی هستند که موقعیت آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: موقعیت ایستگاه‌های علامت‌گذاری شده روی شکل ۲.

علامت	موقعیت جغرافیایی		نام انگلیسی	نام فارسی	منطقه
	عرض (°N)	طول (°E)			
دایره	۲۵/۷۲	۵۷/۸	Jask	جاسک	رگ رگ رگ
مربع	۲۳/۳	۶۰/۷	Chabahar	چابهار	
دایره توخالی	۲۵/۴	۵۹/۱	Rabch Estuary	خور رابچ	
مثلث وارونه	۲۵/۴	۶۰/۲	Pozm Bay	خلیج پزم	
لوزی	۲۴/۳	۵۶/۷	Sohar	صحار	رگ رگ رگ رگ رگ
ضربدر	۲۳/۵	۵۸/۵	Muscat	مسقط	
ستاره	۲۳/۹	۵۸	Ar Rumays	الریمیس	
مثلث	۲۳	۵۹/۲	Fins	فنس	
بدعاوه	۲۲/۳	۵۹/۸	Ras Al Hadd	راس الحد	

۲. تحلیل داده‌ها (The data analysis)

داده‌های World Ocean Atlas با علامت اختصار WOA، از سه مرکز داده‌ای ۱- مرکز داده‌های ملی آب‌وهوا (NCDC)، ۲- مرکز ملی داده‌های ژئوفیزیک (NGDC) و ۳- مرکز ملی اطلاعات

برابر با 1 cm/s ، $1/2 \text{ cm/s}$ ، $1/7 \text{ cm/s}$ و 2 cm/s به دست آمده است [۱۷].

به علاوه در فصل زمستان جریان مرزی PGW، قبل از راس الحمرا^۱ از ساحل جدا می‌شود، اما در فصل تابستان این جریان مرزی حتی بعد از گذشتن از این منطقه باز هم در مجاورت ساحل باقی می‌ماند. PGW، به صورت شناور نزدیک راس الشربت^۲ (حدود 18°N و 57°E) با شوری $36/5 \text{ psu}$ و دمای $18-19^\circ\text{C}$ مشاهده شده است. این توده آب می‌تواند در تابستان خلیج عمان را به سمت جنوب شرقی در طول این فصل ترک کند [۸]. مطالعه Shafiee Sarvestani (۲۰۱۷)، حاصل از مدل‌سازی MITgcm بیانگر این است که ضخامت PGW، در فصل زمستان و تابستان نیز به ترتیب برابر 150 m و 200 m است [۱۶]. بررسی‌های مطالعه Ramak و همکاران (۲۰۲۲b) طی ۶ سال (۲۰۱۹-۲۰۱۴) حاکی از آن است که PGW، در سال ۲۰۱۷، بیشترین میانگین شوری و در سال ۲۰۱۴ کمترین شوری داشته است که بیانگر تغییرات سالیانه PGW است [۱۴].

همان‌طور که دیده می‌شود مطالعه PGW در سال‌های اخیر تفاوت‌هایی دارد که بعضاً متناقض است. به عنوان مثال، Piontkovski و Chiffings (۲۰۱۴) بیشترین انتقال آب PGW را به فصل تابستان نسبت داده اند [۶]، در حالی که مطالعه Ghazi و همکاران (۲۰۲۱) آن را به فصل زمستان ارجاع داده است [۹]. لذا بررسی تغییرات فصلی PGW حائز اهمیت است. در این پژوهش به بررسی تغییرات فصلی دما و شوری PGW در خلیج عمان با استفاده از بسته داده معتبر بین المللی پرداخته شده است.

روش پژوهش

۱. منطقه مورد مطالعه (The study area)

منطقه‌ی مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی $22-26^\circ\text{N}$ و طول جغرافیایی $56-62^\circ\text{E}$ قرار داشته است (شکل ۲) که در محیط نرم افزار Ocean Data View (ODV) [۱۸] ترسیم شده است. در شکل ۲، ایستگاه‌هایی مربوط به ساحل شمالی (چهار ایستگاه) و جنوبی (پنج ایستگاه) با علامت‌های ویژه، مشخص شده‌اند که در تفسیر و توضیح نتایج این پژوهش به آنان ارجاع داده خواهد شد و هر جا در تفسیر نتایج لازم بوده است، از علامت مخصوص آن ایستگاه در نتایج استفاده شده است. موقعیت این نقاط در جدول ۱، آورده شده است.

3 National Climatic Data Center
4 National Geophysical Data Center

1 Ras al Hamra
2 Ras ash sharbatat

جدول ۳: عمق و فاصله خطوط پربندی جهت تحلیل نتایج

عمق (m)	دما (°C)	شوری (psu)	چگالی (kg/m ³)
سطح	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۵
۱۵۰	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۲
۳۰۰	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۲

داده‌های WOA18، در نرم‌افزار ODV به صورت نقشه‌های هم‌سطح و برش قائم و به صورت فصلی ترسیم شد. همچنین برشی قائم در راستای طول که از آن به عنوان مقطع طولی AB یاد می‌شود، مطابق با موقعیت مطالعه Ramak و همکاران (۲۰۲۳) به صورت فصلی تا عمق ۴۰۰ m مورد تحلیل قرار گرفت [۱۷] (خطوط قرمز شکل ۲). معیار محاسبه وجود PGW، براساس گستره شوری پیشنهادی در سایر مطالعات بوده است. به عنوان مثال در مطالعه Ezam و همکاران (۲۰۱۰)، بیان شده است PGW در نزدیکی راس الشربت شوری psu ۳۶/۵ دارد [۸]. لذا در این پژوهش مرز توده آب PGW را با خط پربندی متفاوت، ۳۶/۴۵ psu و بیشتر از آن برای PGW و ۳۶/۳۵ psu و کمتر از آن برای IOCW، در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

۱. نقشه‌های سطحی (Surface maps)

۱.۱. لایه سطحی (Surface layer)

بررسی داده‌های WOA18 نشان می‌دهد که اختلاف دمای سطحی نسبتاً زیادی در طول سال وجود دارد (°C ۹/۱۸، جدول ۴). فصل تابستان گرمترین فصل سال (با بیشترین بازه تغییرات) در سطح و فصل زمستان سردترین فصل سال در سطح است (جدول ۴). کمترین بازه تغییرات دمای سطحی در فصل پاییز رخ می‌دهد. باتوجه به ارتباط معکوس بین دما و چگالی، الگوی چگالی در لایه سطحی مخالف دماست و تابستان کم‌چگالی (حداکثر چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۴/۰۸) و زمستان چگالی‌تر (حداکثر چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۵/۱۲) است. این در حالی است که حداقل و حداکثر شوری سالیانه مربوط به فصل تابستان بوده که با توجه به رابطه مستقیم بین شوری و چگالی می‌توان گفت در سطح چگالی بیشتر تابع دما است. در مطالعه Piontkovski و Chiffings (۲۰۱۴) نیز نشان داده شده است که دمای سطحی خلیج عمان در ماه ژوئن به بیشترین مقدار خود می‌رسد و تابش خورشیدی اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار بر دمای سطحی آب در خلیج عمان است [۶]. در مطالعه Hassanzadeh و Najar Khodabakhsh (۲۰۰۳) بیان شده است که تغییرات دما در لایه سطحی شمال اقیانوس هند در هنگام رخداد مانسون تابستانی و زمستانی شدید

اقیانوسی (NODC)^۱ تشکیل شده است که سازمان NOAA^۲ برای بهبود پاسخگویی به تقاضای داده‌های کاربران، اطلاعاتی را به آن اضافه نموده است و از این رو در بسته‌های مختلف داده به کاربران ارائه می‌دهد. در این پژوهش، داده‌های فصلی WOA، که در سال ۲۰۱۸ ارائه گردیده است، با نام WOA18^۳ با دقت مکانی ۰/۲۵° طول و عرض جغرافیایی به صورت فصلی با متوسط سه ماهه (جدول ۲) و با پسوند odv از آدرس [۱۹] دانلود شد (نقاط آبی‌رنگ شکل ۲).

جدول ۲: ماه‌های استفاده شده در داده‌های فصلی WOA18، منطقه عمان

فصل	ماه‌های میلادی		
بهار	June	May	April
تابستان	September	August	July
پاییز	December	November	October
زمستان	March	February	January

سپس از نرم‌افزار Ocean Data View [۱۸] با علامت اختصار ODV، برای داده‌های WOA18 استفاده شد. نرم‌افزار ODV، یک بسته نرم‌افزاری رایگان برای کاوش و نمایش گرافیکی مشخصات چند پارامتر یا داده‌های متوالی است که در اصل برای مشاهدات اقیانوس‌شناسی توسعه یافته بود، اما قابلیت این را دارد که در سایر حوزه‌های علوم زمین کاربرد داشته باشد.

با توجه به اینکه داده‌های تهیه شده فقط شامل دما و شوری در عمق‌های استاندارد بود، لذا از بین آن عمق‌ها، سه عمق صفر، ۱۵۰ m، ۳۰۰ m جهت تحلیل نقشه‌های هم‌سطح در نرم‌افزار ODV، انتخاب شد (جدول ۳). انتخاب این عمق‌ها بر اساس مشاهدات گذشته (مانند مطالعات Ezam و همکاران (۲۰۱۰)، Ghazi، و همکاران (۲۰۲۱)، Ramak و همکاران (۲۰۲۲a) و Shafiee Sarvestani (۲۰۱۷)) در توصیف مکان تقریبی PGW بوده است. همچنین براساس دما و شوری موجود، در نرم‌افزار ODV، چگالی پتانسیل نیز محاسبه شد و مورد تحلیل قرار گرفت.

که با حرکت به سمت سواحل شمالی فاصله این خطوط افزایش می‌یابد. در تابستان این جبهه قوی‌تر از بهار است و از شدت آن در پاییز و زمستان کاسته می‌شود. همچنین در فصل تابستان جبهه دما و شوری و چگالی در الرمیسی (علامت ستاره) مشاهده می‌شود.

در فصل تابستان، در سمت تنگه‌هرمز محدوده‌ای گرم (با هم‌دمای $^{\circ}\text{C}$ $31/9$) مشاهده می‌شود، که به دو بخش شمالی و جنوبی با دو هسته گرم تقسیم می‌شود. یک زبانه آب گرم (با هسته‌ی $^{\circ}\text{C}$ $32/42$) در مجاورت جاسک (علامت دایره) و زبانه آب گرم دیگر (با هسته‌ی $^{\circ}\text{C}$ $32/25$) در مجاورت صحار (علامت لوزی) مشاهده می‌گردد. در این فصل در مجاورت مسقط یک هسته به دمای $^{\circ}\text{C}$ $30/00$ وجود دارد.

آنچه که در الگوی تابستانه مسقط (علامت ضرب‌در)، هم در دما (هسته $^{\circ}\text{C}$ $30/00$) و هم در شوری (با هسته‌ی psu $36/75$) و هم در چگالی (با هسته‌ی $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $23/07$) به خوبی دیده می‌شود، وجود پدی^۱ است که در مطالعه Al-Hajri و همکاران (۲۰۲۱) (شکل ۱)، از آن نام برده شده است [۳].

است [۲۰]. از این رو اختلاف دمای بیش از $^{\circ}\text{C}$ 9 ، می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد.

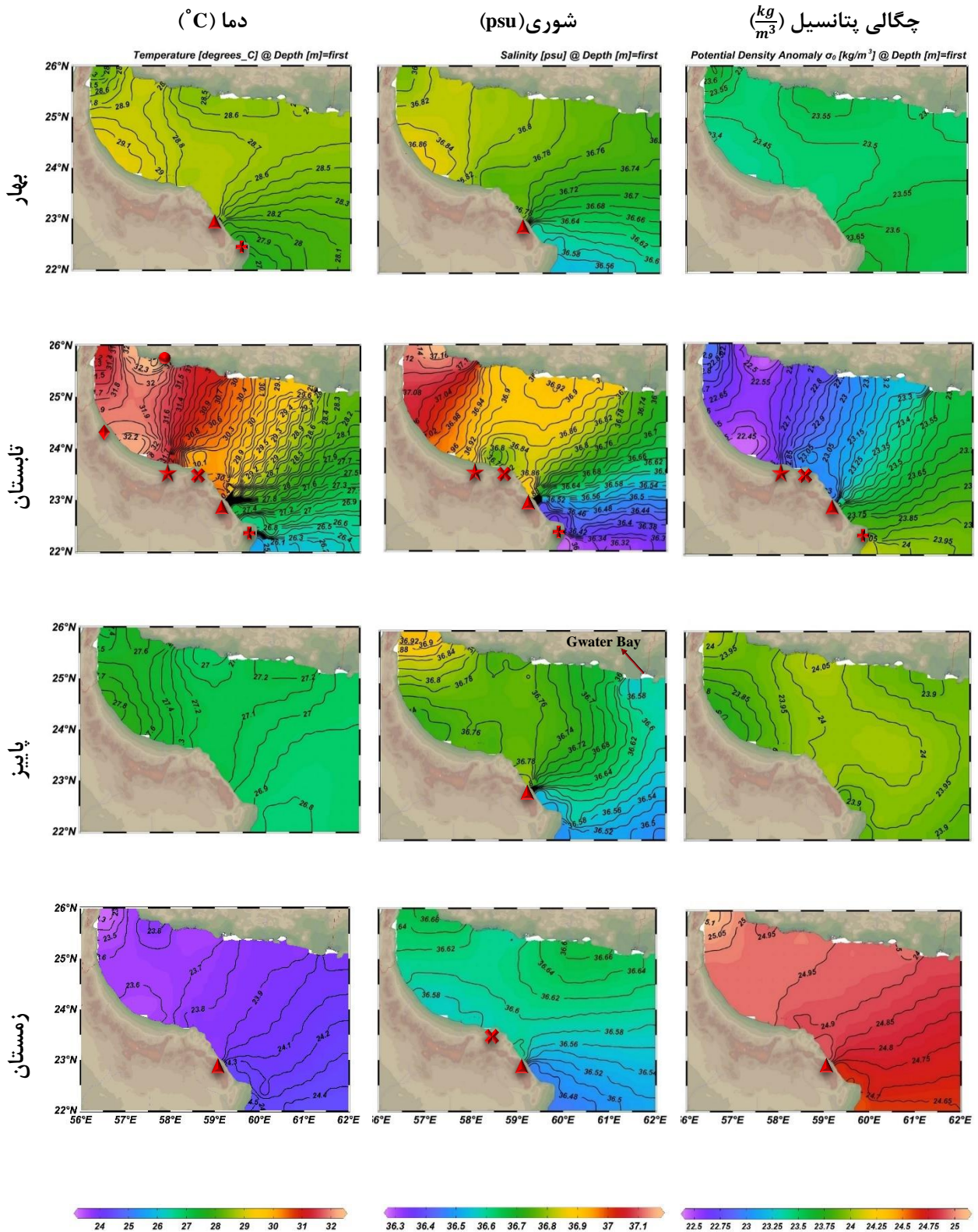
جدول ۴: تغییرات فصلی سطحی (عمق صفر متر) در داده‌های WOA18، خلیج عمان.

پارامتر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالیانه
دما ($^{\circ}\text{C}$)	حداقل	۲۷/۶۶	۲۵/۷۲	۲۶/۷۵	۲۳/۲۴ (زمستان)
	حداکثر	۲۹/۱۸	۳۲/۴۲	۲۷/۸۵	۲۴/۵۰ (تابستان)
	اختلاف	۱/۱۵	۶/۶۹	۱/۱۰	۱/۲۶
شوری (psu)	حداقل	۳۶/۵۴	۳۶/۲۷	۳۶/۴۷	۳۶/۴۵ (تابستان)
	حداکثر	۳۶/۸۶	۳۷/۱۷	۳۶/۹۲	۳۶/۶۶ (تابستان)
	اختلاف	۰/۳۲	۰/۸۹	۰/۴۵	۰/۲۰
چگالی پتانسیل (kg/m^3)	حداقل	۲۳/۳۹	۲۲/۴۱	۲۳/۷۴	۲۴/۶۰ (تابستان)
	حداکثر	۲۳/۶۶	۲۴/۰۸	۲۴/۰۶	۲۵/۱۲ (زمستان)
	اختلاف	۰/۲۷	۱/۶۷	۰/۳۱	۰/۵۲

همان‌گونه که در شکل ۳ هم مشاهده می‌شود در تابستان، خطوط هم‌دما بسیار به هم نزدیک هستند. البته الگوی کلی تغییرات دمای سطحی در سه فصل بهار ($^{\circ}\text{C}$ $1/518$)، تابستان ($^{\circ}\text{C}$ $6/69$) و پاییز ($^{\circ}\text{C}$ $1/10$)، کاهش دما را از غرب به شرق نشان می‌دهد (شکل ۳)، اما در زمستان دمای سطحی از غرب به شرق ($^{\circ}\text{C}$ $1/26$) افزایش پیدا می‌کند. در مطالعه Ebrahimi و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان داده شده است که دمای سطحی آب دریای عمان از شرق به غرب، در تابستان افزایش و در زمستان کاهش می‌یابد که علت آن کمتر بودن ظرفیت گرمایی آب در قسمت‌های غربی دریای عمان نسبت به قسمت‌های شرقی آن است [۲۱].

همچنین در تابستان، در فنس (علامت مثلث) و دماغه راس‌الحد (علامت به‌علاوه) گرادیان دما مشاهده شده و فاصله خطوط هم‌دما در سمت سواحل جنوبی کم بوده و خطوط متراکم می‌شود که نشان‌دهنده‌ی وجود گرادیان شدید دما و جبهه‌ی دمایی در این منطقه است (شکل ۳). با حرکت به سمت شرق و شمال شرقی فاصله بین خطوط هم‌دما کمی افزایش می‌یابد. جبهه فنس در بهار و زمستان هم به طور نسبتاً ضعیفی مشاهده می‌شود اما در پاییز مشاهده نمی‌شود. به عبارتی این جبهه دمایی، فصلی است. مشابه با جبهه دما در فنس فاصله خطوط هم‌شوری به هم نزدیک شده و جبهه شوری رخ می‌دهد

^۱ادی‌های زیرمیان‌مقیاس چرخندی (پرفشار) با قطر کمتر از ۲۵ km



شکل ۳: توزیع دما (ستون اول)، شوری (ستون دوم) و چگالی (ستون سوم) داده‌های WOA2018، در سطح با قدرت تفکیک ۰/۲۵ درجه، خلیج عمان. ردیف اول (بهار، ردیف دوم) تابستان، ردیف سوم) پاییز، و ردیف چهارم) زمستان. موقعیت ایستگاه‌های نشان‌داده شده با علامت‌های خاص روی این شکل را در جدول ۱ ببینید.

فصل تابستان، هم حداقل (۳۶/۲۷ psu) و هم حداکثر شوری (۳۷/۱۷ psu) را با گستره تغییراتی نزدیک به ۱ psu (۰/۸۹ psu) در بر می‌گیرد (جدول ۴). در مطالعه Hassanzadeh و Najar (۲۰۰۳)، نیز بیان شده است که در لایه سطحی

از آنجایی که دما با چگالی رابطه عکس دارد، در فصل تابستان از غرب به شرق یا از انتهای خلیج به سمت دهانه خلیج کاهش دما و افزایش چگالی وجود دارد. سه جبهه چگالی ایجاد شده در الرمیس (علامت ستاره)، فنس (علامت مثلث) و راس الحد (علامت به‌علاوه) در شکل مشخص شده‌اند.

در زمستان با حرکت از غرب به شرق $0.52 \frac{kg}{m^3}$ کاهش چگالی یکنواختی مشاهده می‌شود و الگوی چگالی در زمستان نیز از دما تبعیت می‌کند. به طور کلی، چگالی در فصول بهار، تابستان و پاییز از انتهای خلیج به سمت دهانه خلیج افزایش داشته، اما در زمستان بر خلاف فصول قبلی کاهش چگالی مشاهده می‌شود. پدی‌های موجود در مسقط (علامت ضرب‌در) به خوبی در فصل تابستان مشهود است و در سایر فصول به وضوح در مجموعه داده‌های WOA18 دیده نمی‌شود. نتایج بررسی لایه سطحی نشان دهنده آن است که PGW در لایه سطحی، در خلیج عمان دیده نمی‌شود و از این رو بررسی لایه‌های پایین‌تر ضروری است.

۱.۲. لایه ۱۵۰ متری (150-meters layer)

شکل ۴، الگوی توزیع دما در عمق ۱۵۰ m را طبق جدول ۵ نشان می‌دهد که گستره دمایی $18.38^{\circ}C$ (تابستان) تا $21.40^{\circ}C$ (زمستان) را شامل می‌شود (جدول ۵). در لایه سطحی آب خلیج عمان در تابستان گرم و در زمستان سرد بود (جدول ۴)، اما در عمق ۱۵۰ m، در تابستان آب سرد و در زمستان آب گرم است (جدول ۵).

جدول ۵: تغییرات فصلی عمق ۱۵۰ متری در داده‌های WOA18، خلیج عمان.

پارامتر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالیانه
دما ($^{\circ}C$)	حدافل	۱۹/۲۴	۱۸/۳۸	۱۸/۵۳	۱۹/۷۴
	حداکثر	۲۰/۶۳	۲۰/۳۰	۱۹/۹۷	۲۱/۴۰
	اختلاف	۱/۳۹	۱/۹۱	۱/۴۳	۳/۰۱
شوری (psu)	حدافل	۳۶/۱۴	۳۶/۰۷	۳۶/۱۲	۳۶/۱۲
	حداکثر	۳۶/۵۲	۳۶/۵۳	۳۶/۴۳	۳۶/۴۵
	اختلاف	۰/۳۸	۰/۴۵	۰/۳۰	۰/۴۵
چگالی پتانسیل (kg/m^3)	حدافل	۲۵/۵۷	۲۵/۸۴	۲۵/۷۸	۲۵/۵۰
	حداکثر	۲۵/۹۹	۲۶/۳۰	۲۶/۲۲	۲۵/۸۰
	اختلاف	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۷۹

نکته جالب دیگر که از جدول ۵ دیده می‌شود، مشابه جدول ۴، شوری در تابستان بیشترین بازه تغییرات (۰/۴۵ psu) را دارد و حداقل و حداکثر شوری سالانه به فصل تابستان اختصاص دارد (همانند شوری سطحی که در جدول ۴ دیده می‌شود).

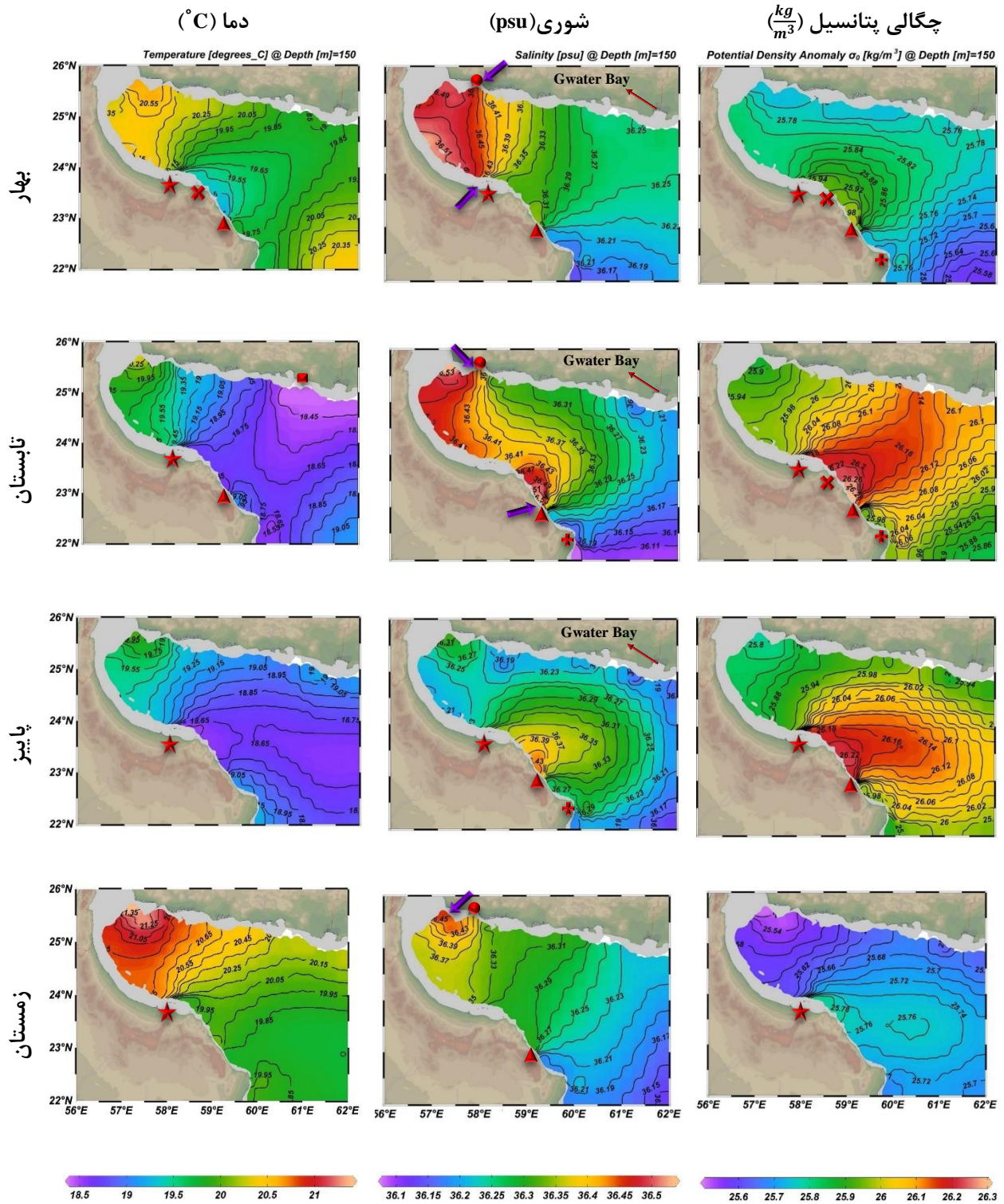
شمال اقیانوس هند، شوری در فصل گرم بیشتر است [۲۰]. تغییرات سطحی شوری در بهار اندک است و از تنگه هرمز به سمت دریای عرب، ۰/۳۲ psu کاهش شوری وجود دارد. کمینه شوری در بهار (۳۶/۵۴ psu) در مجاورت دماغه راس الحد رخ می‌دهد که می‌تواند ناشی از آب سطحی اقیانوس هند (IOSW) باشد. در تابستان، در نزدیکی جاسک در قسمت شمالی خلیج شوری زیاد (۳۷/۱۰ psu) مشاهده می‌شود که به تدریج به سمت میانه خلیج (حدود طول جغرافیایی $58.2^{\circ}E$) شوری کاهش پیدا کرده و به ۳۶/۹ psu می‌رسد.

علاوه بر جبهه فنس (علامت مثلث)، جبهه مشهور دیگری نیز در دماغه راس الحد ($22.3^{\circ}N$ و $59.8^{\circ}E$) وجود دارد که به Ras al Hadd Front مشهور است (شکل ۱) و در مطالعات مختلف (مانند مطالعات صورت گرفته توسط L'Hégaret و همکاران (۲۰۱۳)، L'Hégaret و همکاران (۲۰۱۵) و Kim و Flag (۱۹۹۸)) گزارش شده است و با نام جت راس الحد نیز شناخته می‌شود. در مطالعه Kim و Flag (۱۹۹۸) بیان شده است که در دماغه راس الحد، در تابستان یک جت در حال انتشار به سمت شرق وجود دارد که به نام جت راس الحد شناخته می‌شود [۲۵]. البته جت راس الحد بسیار متغیر است و در برخی اوقات به سمت شرق گسترش می‌یابد و در برخی از زمان‌ها به سمت شمال شرقی و یا حتی جنوب شرقی گسترش می‌یابد، زیرا مرز فصلی بین دریای عربی و خلیج عمان را تشکیل می‌دهد [۲۳].

در فصل تابستان و پاییز شوری بیشتر در سمت تنگه هرمز مشاهده می‌شود که با حرکت از تنگه هرمز به به طرف دریای عربی شوری کاهش می‌یابد (تابستان: ۰/۸۹ psu، پاییز: ۰/۴۵ psu).

در پاییز، در مجاورت خلیج گواتر ($24.87^{\circ}N$ و $61.37^{\circ}E$) که در سواحل شمالی خلیج قرار دارد کاهش شوری به ۳۶/۵۶ psu مشاهده گردید که به دلیل آب ورودی از رودخانه‌های دائمی/فصلی (شکل ۲) در این منطقه باشد که کاهش شوری اتفاق افتاده است. کاهش شوری سطحی در زمستان، در نزدیکی مسقط ۰/۰۴ psu است که می‌تواند ناشی از اختلاط PGW با IOSW باشد.

تغییرات چگالی در سطح گستره چگالی سالیانه از $22.41 \frac{kg}{m^3}$ (تابستان) تا $25.12 \frac{kg}{m^3}$ (زمستان) را دارا می‌باشد. در بهار، تغییرات چگالی سطحی کم ($0.27 \frac{kg}{m^3}$) است. الگوی تغییرات چگالی سطحی در بهار، تابستان و پاییز تابع دمای سطحی است. در تابستان، با حرکت از غرب به شرق، $1.67 \frac{kg}{m^3}$ افزایش چگالی اتفاق می‌افتد و فاصله خطوط هم‌چگال کاهش می‌یابد.



شکل ۴: توزیع دما (ستون اول)، شوری (ستون دوم) و چگالی (ستون سوم) داده‌های WOA2018، در لایه ۱۵۰ متری با قدرت تفکیک ۰/۲۵ درجه، خلیج عمان. ردیف اول (بهار، ردیف دوم (تابستان، ردیف سوم (پاییز، و ردیف چهارم) زمستان. موقعیت ایستگاه‌های نشان داده شده با علامت‌های خاص روی این شکل را در جدول ۱ ببینید.

در بهار، الگوی توزیع دما و چگالی مشابه است و زبانه آب چگال و گرم PGW به خوبی مشهود است (شکل ۴). در سمت تنگه هرمز دمای زیاد (با بیشینه‌ی $20/63^{\circ}\text{C}$) وجود دارد. با حرکت از انتهای خلیج به سمت میانه خلیج دما حدود $0/7^{\circ}\text{C}$ کاهش یافته و به $19/85^{\circ}\text{C}$ می‌رسد، مجدداً در نزدیکی مسقط ضرب‌در به علت اختلاط توده‌های PGW و IOCW، کاهش دما اتفاق می‌افتد و در نزدیکی فنس (علامت مثلث) دما به $19/24^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. به عبارتی بیش از یک درجه کاهش دما در راستای

در بهار، الگوی توزیع دما و چگالی مشابه است و زبانه آب چگال و گرم PGW به خوبی مشهود است (شکل ۴). در سمت تنگه هرمز دمای زیاد (با بیشینه‌ی $20/63^{\circ}\text{C}$) وجود دارد. با حرکت از انتهای خلیج به سمت میانه خلیج دما حدود $0/7^{\circ}\text{C}$ کاهش یافته و به $19/85^{\circ}\text{C}$ می‌رسد، مجدداً در نزدیکی مسقط ضرب‌در به علت اختلاط توده‌های PGW و IOCW، کاهش دما اتفاق می‌افتد و در نزدیکی فنس (علامت مثلث) دما به $19/24^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. به عبارتی بیش از یک درجه کاهش دما در راستای

پایین تر یکنواخت تر می شود. تغییرات دما و شوری در لایه های بالایی در گردش جریان آب شمال اقیانوس هند اثر می گذارد [۲۰].

الگوی توزیع شوری در فصل بهار بیانگر وجود توده آب خلیج فارس PGW با گستره شوری ۳۶/۴۵ psu تا ۳۶/۵۲ psu در انتهای خلیج (غرب خلیج سمت تنگه هرمز) می باشد. همانگونه که در شکل ۴، مشاهده می شود PGW از آب های شمالی (جاسک، علامت دایره) تا آب های جنوبی (الرمیس، علامت ستاره) امتداد دارد (فلش بنفش رنگ، شکل ۴). این بدین معناست که PGW در شمال خلیج نیز می تواند وجود داشته باشد. L'Hégaret و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند که به علت قرار گرفتن PGW، در یک پیچک و اچرخندی، تکه هایی از آن به سمت سواحل شمالی حرکت می کند اما بخش اعظم آن در جنوب خلیج قرار دارد [۲۳]. بررسی بیشتر در خصوص چند شاخه شدن PGW، جهت مطاعات آتی می تواند مفید باشد.

در فصل تابستان و پاییز، جبهه ی شوری در فسن (علامت مثلث) و الرمیس (علامت ستاره) مشاهده می شود. جبهه شوری فسن در همه فصول مشاهده می شود و دائمی است اما در تابستان قویتر از دیگر فصول است. منطقه ای کم شورتر با شوری psu ۳۶/۲۴۹۲ در مجاورت خلیج گواتر (۲۴/۸°N و ۶۱/۱°E) مشاهده می شود که علت کاهش شوری در این منطقه می تواند فراچاهی [۳، ۷، ۲۰، ۲۶] باشد که آب میانی کم شور IOCW را به سطح آورده و موجب کاهش شوری شده است. به علاوه، یک هسته شور در نوک دماغه راس الحد (۶۰/۱۲°E و ۲۲/۳۷°N) مشاهده می شود که شوری psu ۳۶/۲۱ دارد.

با توجه به الگوی تغییرات شوری در فصل تابستان نیز PGW مشاهده می شود که گستره شوری psu ۳۶/۴۵ تا psu ۳۶/۵۳ را دارد و در آب های شمالی خلیج تا جاسک و در آب های جنوبی تا فسن زبانه PGW به خوبی مشخص است. PGW در تابستان پیشروی بیشتری نسبت به بهار داشته است. در تابستان اختلاف شوری توده آب خلیج فارس با آب خلیج عمان سبب شکل گیری جبهه شوری فسن می شود. همچنین، جبهه شوری مشاهده شده در راس الحد، در حال پیشروی به سمت شرق است که توسط مطالعاتی مانند L'Hégaret و همکاران (۲۰۱۳)، L'Hégaret و همکاران (۲۰۱۵)، Al-Hajri و همکاران (۲۰۲۱) و Johns و همکاران (۱۹۹۹) مورد تأیید قرار گرفته است. در پاییز در این عمق PGW مشاهده نمی شود که به دلیل چگالی بیشتر، به عمق بیشتری فرو رفته است که در تطابق با مطالعه Ramak و همکاران (۲۰۲۳) در فصول سرد است.

اختلاط PGW از تنگه هرمز تا نزدیکی فسن اتفاق می افتد. در بهار کاهش دما با هسته ی ۱۹/۲۴°C، در میانه خلیج در نزدیکی فسن رخ می دهد که آب سرد کاهش یافته در نزدیکی مسقط، در راستای شمال شرقی حوضه کشیده شده است. همچنین الگوی توزیع دمایی بیانگر وجود جبهه الرمیس (علامت ستاره) در تمامی فصول است.

در تابستان به علت رخداد فراچاهی در چابهار، کاهش دما تا ۱۸/۳۸°C، هم اتفاق می افتد. وجود فراچاهی در این محدوده در مطالعات صورت گرفته توسط Al-Hajri و همکاران (۲۰۲۱)، Reynolds (۱۹۹۳)، Hassanzadeh و Najar Khodabakhsh و Asefjah و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است که در توافق با داده های WOA18 است.

الگوی ظاهری لکه ی کم دما به صورت خطی است که از شمال شرقی به سمت جنوب شرقی کشیده شده است و سپس ۰/۳۴°C افزایش دما در شرق مشاهده می شود و به دمای (۱۹/۰۹°C) می رسد.

در طول جغرافیایی ۵۹/۵°E قبل از راس الحد هم یک هسته گرم با دمای ۱۹/۰۷°C مشاهده می شود که قبل از آن یک هسته سرد (با دمای ۱۸/۶۵°C) وجود داشته و سبب به وجود آمدن جبهه ای در فسن شده است.

در پاییز نیز یک لکه سرد مشاهده شده که در مقایسه با فصل تابستان متفاوت بوده و (با هم دما ۱۸/۸۵°C) الگوی ظاهری متفاوتی داشته و از مسقط به سمت شرق و جنوب شرقی گسترش می یابد و هسته آن به دمای ۱۸/۵۳°C می رسد. بیشینه دما نیز در این فصل با دمای ۱۹/۹۷°C در انتهای خلیج وجود دارد. در الرمیس (علامت ستاره) جبهه دمایی وجود دارد که با توجه به الگوی توزیع شوری (شکل ۴) در این فصل در الرمیس جبهه شوری نیز مشاهده می شود. در فصل زمستان نیز جبهه الرمیس مشاهده شده است. بیشینه دما در انتهای خلیج ۲۱/۴۰°C است. الگوی ظاهری لکه کم دما با هم دمای ۱۹/۹۵°C به صورت یک خط مورب از مسقط به سمت شرق و جنوب شرقی امتداد یافته است.

تغییرات فصلی شوری در عمق ۱۵۰ متری (جدول ۵) نشان می دهد گستره شوری سالانه psu ۳۶/۵۳ تا psu ۳۶/۰۷ را در بر می گیرد که حداقل و حداکثر شوری سالیانه مربوط به فصل تابستان است که در مقایسه با لایه سطحی (جدول ۴) از مقدار آن کاسته شده است. در مطالعه Hassanzadeh و Najar Khodabakhsh (۲۰۰۳)، بیان شده است که لایه شوری سطحی شمال اقیانوس هند که در فصل گرم زیاد است و در اعماق

مطالعه چگالی کاهش پیدا کرده است که با توجه به توزیع دما در شکل ۴ که بیانگر توزیع دما در عمق ۱۵۰ متری است در شرق دما افزایش یافته و در نتیجه کاهش چگالی مشاهده می‌شود.

با توجه به الگوی توزیع چگالی در فصل تابستان اختلاف چگالی ناشی از وجود توده آب PGW کاملاً واضح بوده و چگالی در این فصل همزمان از دما و شوری تبعیت کرده است. آب‌های چگال به صورت یک زبانه از مسقط به سمت شمال شرقی کشیده شده اند. یک هسته چگال دیگر در دماغه راس‌الحد ($22/37^{\circ}N$ و $60/12^{\circ}E$) با چگالی $26/06 \frac{kg}{m^3}$ وجود دارد که نسبت به فصل بهار $28 \frac{kg}{m^3}$ افزایش چگالی داشته است. در فنس یک جبهه چگالی و جبهه دیگر در الرمیس مشاهده می‌شود. در پاییز نیز این دو جبهه مشاهده می‌شود به عبارتی در مختصات‌هایی که جبهه شوری مشاهده شد جبهه چگالی نیز مشاهده می‌شود. در پاییز الگوی چگالی از الگوی شوری تبعیت کرده است و دارای بیشینه چگالی $26/22 \frac{kg}{m^3}$ (در موقعیت جغرافیایی $23/37^{\circ}N$ و $59/12^{\circ}E$) می‌باشد. کمینه چگالی در این فصل در انتهای خلیج سمت تنگه‌هرمز با چگالی $25/78 \frac{kg}{m^3}$ (در $25/62^{\circ}N$ و $57/12^{\circ}E$) قرار دارد. در فصل زمستان الگوی چگالی از الگوی دما تبعیت کرده است. کمینه و بیشینه چگالی به ترتیب دارای مقادیر $25/50 \frac{kg}{m^3}$ و $25/80 \frac{kg}{m^3}$ بوده که بیشینه چگالی سمت سواحل جنوبی خلیج در مجاورت مسقط (در $23/87^{\circ}N$ و $58/37^{\circ}E$) و کمینه آن در انتهای خلیج (در $25/62^{\circ}N$ و $57/12^{\circ}E$) قرار دارد. در این فصل یک جبهه در الرمیس وجود دارد.

به طور کلی الگوی توزیع دما، شوری و چگالی در ۱۵۰ m، بیانگر این است که در فصول تابستان و پاییز الگوی چگالی تابع الگوی شوری و در بهار و زمستان تابع الگوی دما است. در الرمیس جبهه دمایی، شوری و چگالی وجود داشته، که جبهه شوری در بهار و پاییز قابل مشاهده بوده و در فصل تابستان و زمستان فصل مشاهده نشده که بیانگر فصلی بودن این جبهه است. جبهه چگالی در پاییز قویتر از دیگر فصول است.

در فنس (علامت مثلث) جبهه دما، شوری و چگالی مشاهده می‌شود. جبهه دمایی فنس در فصول بهار و تابستان مشاهده شده اما در پاییز و زمستان مشاهده نشده که بیانگر فصلی بودن این جبهه می‌باشد. جبهه شوری فنس در فصول مختلف تغییراتی داشته است در تابستان شدیدتر است، در پاییز و بهار کمی تضعیف یافته و در زمستان بسیار تضعیف می‌شود. جبهه

با توجه به الگوی توزیع شوری در فصل پاییز جبهه‌های شوری متعددی مشاهده می‌شود از جمله در فنس (علامت مثلث)، الرمیس (علامت ستاره) و جبهه راس‌الحد (علامت ضرب‌در). در میانه خلیج یک لکه شور (با گستره شوری psu $36/35$ تا $36/43$) مشاهده می‌شود که هسته این لکه شور در مجاورت فنس با بیشینه شوری psu $36/43$ مشاهده شده است. در این فصل چند هسته کم‌شور در شمال حوضه مشاهده می‌شود که یک هسته کم‌شور در مختصات $58/3^{\circ}E$ و $25/1^{\circ}N$ با شوری psu $36/18$ ، یک لکه کم‌شور دیگر با شوری psu $36/16$ و $24/8^{\circ}N$ و $61/81^{\circ}E$ و آخرین هسته کم‌شور ($24/6^{\circ}N$ و $61/8^{\circ}E$) دارای شوری psu $36/16$ می‌باشد.

در فصل زمستان، در انتهای خلیج سمت تنگه‌هرمز سمت سواحل شمالی خلیج بیشینه شوری psu $36/48$ وجود دارد و PGW به مقدار خیلی کم در این فصل با گستره شوری psu $36/48$ تا $36/45$ مشاهده می‌شود (که به جاسک نمی‌رسد) و بخش اعظم آن بیشتر به عمق فرو رفته است که این موضوع به دلیل آن است که در فصل زمستان چگالی PGW بیشتر است و توده آب در عمق‌های پایین‌تری فرو می‌رود و لذا باید در اعماق بیشتر مشاهده شود، اما در تابستان چگالی کمتر بوده، توده آب خلیج فارس سطحی‌تر است. این امر توسط مطالعه Ghazi و همکاران (۲۰۲۱) که بیان می‌کند در زمستان جریان خروجی خلیج فارس به علت چگالی بیشتر آب در عمق پایین‌تری نسبت به بقیه‌ی فصول قرار دارد و در تابستان جریان سطحی‌تر است و در عمق شناوری بالاتری نسبت به زمستان قرار دارد، مورد تأیید قرار گرفته است [۹]. هم‌چنین مطالعه Ramak و همکاران (۲۰۲۳) نیز بیان کرده است که شیب گوه نمکی PGW در زمستان ($10^{-1} \times 1/5$ درجه) بیشتر از تابستان ($10^{-2} \times 3/8$ درجه) است که به نفوذ و سرازیری بیشتر PGW کمک می‌کند [۱۷].

با توجه به الگوی توزیع چگالی در عمق ۱۵۰ متری (شکل ۴) که بیانگر تغییرات فصلی چگالی در این عمق می‌باشد و گستره چگالی $25/50 \frac{kg}{m^3}$ تا $26/30 \frac{kg}{m^3}$ است. در فصل بهار یک جبهه چگالی در فنس و جبهه دیگر در الرمیس مشاهده می‌شود. الگوی توزیع چگالی در این فصل از دما تبعیت کرده و یک لکه چگال با هم‌چگال $25/82 \frac{kg}{m^3}$ در محدوده طول جغرافیایی $58^{\circ}E$ الی $60/2^{\circ}E$ وجود داشته که در حال گسترش و پیشروی به سمت شمال بوده و دارای هسته‌ای با چگالی $25/9979 \frac{kg}{m^3}$ در بین مسقط و راس‌الحد (در موقعیت جغرافیایی $23/12^{\circ}N$ و $59/12^{\circ}E$) می‌باشد. یک هسته چگال نوک دماغه راس‌الحد با چگالی $25/78 \frac{kg}{m^3}$ وجود دارد. در جنوب شرقی حوضه مورد

یک لکه سرد در نزدیکی مسقط با هسته‌ی سرد $15/66^{\circ}\text{C}$ (گستره دمایی $15/9^{\circ}\text{C}$ تا $15/66^{\circ}\text{C}$) مشاهده می‌شود که به سمت شرق پیشروی کرده است. در زمستان بیشینه دما در انتهای خلیج (نزدیکی تنگه هرمز) با دمای $18/85^{\circ}\text{C}$ مشاهده می‌شود. از غرب به شرق $2/42^{\circ}\text{C}$ کاهش دما اتفاق می‌افتد.

در بهار، بیشینه شوری در انتهای خلیج سمت تنگه هرمز با شوری $36/94$ psu مشاهده شد که PGW است (در 150 m نیز (شکل ۴) PGW مشاهده شد). در این فصل PGW با گستره شوری $36/45$ psu تا $36/94$ psu در جنوب خلیج تا فنس (مثلث) و در شمال خلیج تا مجاورت (قبل از) خلیج پزم (مثلث وارونه) پیشروی کرده است. با حرکت از غرب به شرق $0/64$ psu کاهش شوری اتفاق افتاده است. در مختصات 25°N الی $25/2^{\circ}\text{N}$ و 58°E سمت تنگه هرمز که PGW وارد خلیج عمان می‌شود، به دلیل اختلاف شوری ناشی از وجود این توده آب این جبهه پدید می‌آید، همچنین در الرمیس (ستاره) یک جبهه شوری مشاهده می‌شود به عبارت دیگر همانند الگوی توزیع دمایی این دو جبهه در الگوی توزیع شوری در تمامی فصول مشاهده می‌شوند. در تابستان PGW با گستره شوری $36/45$ psu تا $36/87$ psu مشاهده شده که در جنوب خلیج تا الرمیس و در شمال خلیج تا قبل از خور رابج (دایره تو خالی) پیشروی کرده است (PGW در فصل بهار بیشتر پیشروی کرده است). در نزدیکی چابهار یک لکه کم‌شور (با خط هم‌شوری $36/18$ psu و با هسته‌ی شوری $36/1372$ psu) مشاهده می‌گردد که می‌تواند به علت رخداد فراچاهی باشد که توسط Asefjah و همکاران (2018)، Reynolds (1993) و در شکل شماتیک ۱ توسط Al-Hajri و همکاران (2021) گزارش شده است که سبب شده آب‌های کم‌شور میانی خلیج (IOCW) به سطح آید و در نتیجه موجب کاهش شوری شود.

چگالی فنس نیز در فصول بهار و تابستان شدیدتر بوده در پاییز کمی تضعیف شده و در زمستان اثری از آن دیده نمی‌شود.

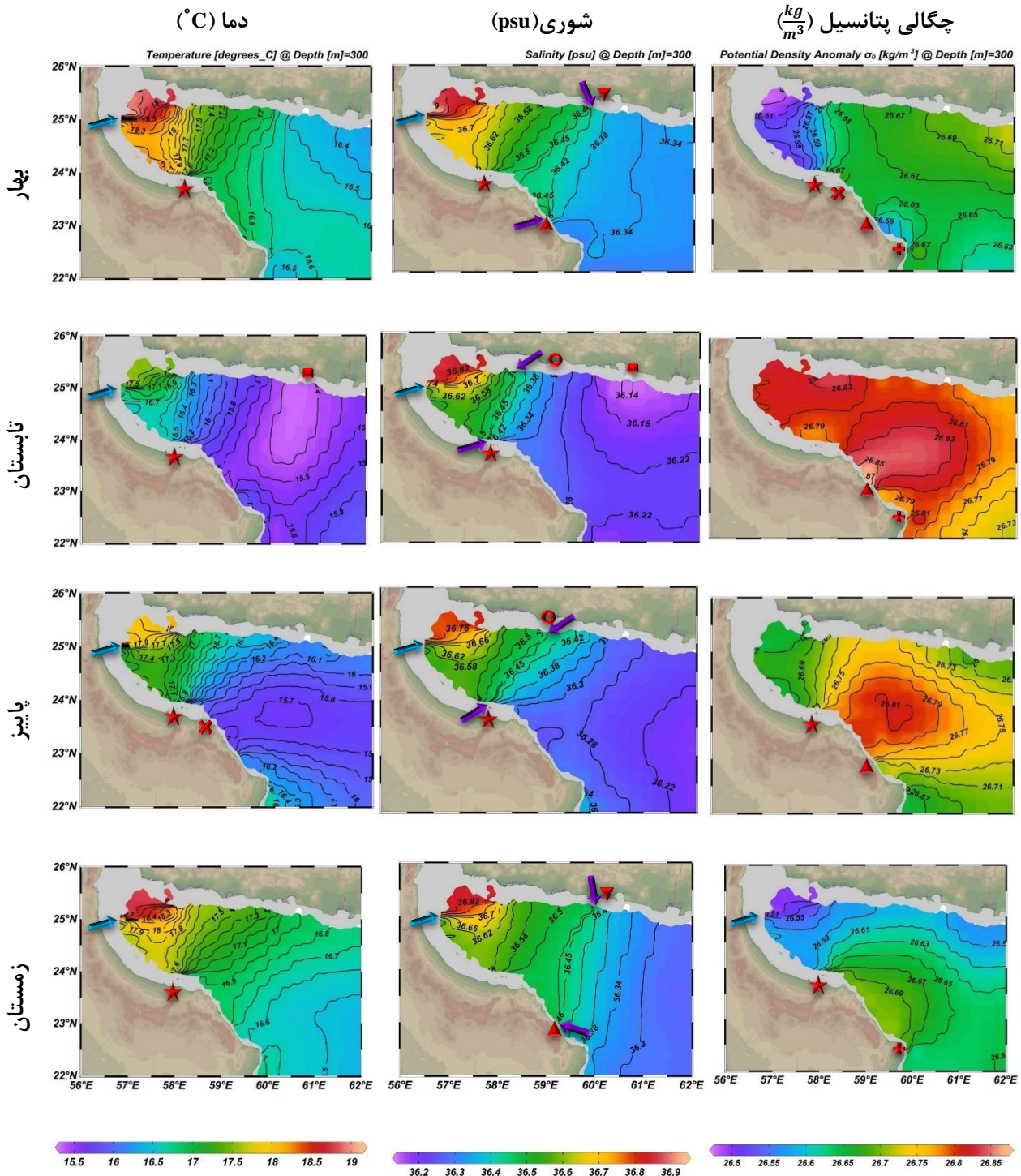
۳.۱. لایه 300 متری (300-meters layer)

توزیع دما در عمق 300 m، گستره دمایی $19/14^{\circ}\text{C}$ (تابستان) تا $15/31^{\circ}\text{C}$ (بهار) را دارد. بیشترین بازه تغییرات دمایی در فصل بهار ($2/825^{\circ}\text{C}$) و کمترین آن در تابستان ($2/37^{\circ}\text{C}$) رخ می‌دهد. گستره تغییرات فصلی شوری هم در این عمق برابر $36/13$ (تابستان) الی $36/94$ psu (بهار) است.

جدول ۶: تغییرات فصلی عمق 300 متری در داده‌های WOA18، خلیج عمان.

پارامتر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالنامه
دما ($^{\circ}\text{C}$)	حداقل	16/31	15/31	15/66	16/42
	حداکثر	19/14	17/69	18/16	18/85
	اختلاف	2/82	2/37	2/50	2/71
شوری (psu)	حداقل	36/30	36/13	36/19	36/27
	حداکثر	36/94	36/87	36/82	36/85
	اختلاف	0/64	0/74	0/62	0/57
چگالی پتانسیل (kg/m^3)	حداقل	26/48	26/72	26/64	26/48
	حداکثر	26/72	26/87	26/81	26/70
	اختلاف	0/24	0/14	0/17	0/22

در فصل بهار بیشینه دما در نزدیکی تنگه هرمز با هسته گرم $19/14^{\circ}\text{C}$ مشاهده می‌شود (شکل ۵). با حرکت از غرب به شرق گرادیان دما و مقدار دما $2/825^{\circ}\text{C}$ کاهش می‌یابد. در این فصل دو جبهه دمایی وجود دارد یک جبهه در الرمیس و دومی در مختصات 25°N الی $25/2^{\circ}\text{N}$ و 58°E (که در شکل ۵ با فلش آبی نمایش داده شده است) این دو جبهه در تمامی فصول مشاهده شده که دارای تغییرات فصلی هستند. جبهه الرمیس در فصل تابستان ضعیف تر از فصول بهار، پاییز و زمستان است. جبهه مختصات 25°N الی $25/2^{\circ}\text{N}$ و 58°E در فصول بهار و پاییز قوی تر و در فصول تابستان و زمستان ضعیف تر است. در تابستان در مجاورت چابهار حلقه سردی (بنفش رنگ با بازه تغییرات دمایی $15/31^{\circ}\text{C}$ تا $15/5^{\circ}\text{C}$) مشاهده می‌گردد که علت آن رخداد فراچاهی است که در آن منطقه اتفاق می‌افتد و سبب کاهش دمایی می‌شود. این لکه سرد از شمال شرق به سمت جنوب کشیده شده و هسته‌ای با دمای $15/31^{\circ}\text{C}$ دارد. در فصل پاییز



شکل ۵: توزیع دما (ستون اول)، شوری (ستون دوم) و چگالی (ستون سوم) داده‌های WOA2018، در لایه ۳۰۰ متری با قدرت تفکیک ۰/۲۵ درجه، خلیج عمان. ردیف اول (بهار، ردیف دوم) تابستان، ردیف سوم) پاییز، و ردیف چهارم) زمستان. موقعیت ایستگاه‌های نشان داده شده با علامت‌های خاص روی این شکل را در جدول ۱ ببینید. دایره توخالی) و بیشتر از فصل تابستان، پیشروی کرده است. از غرب به شرق ۰/۶۲ psu کاهش شوری اتفاق افتاده است. در فصل زمستان PGW در عمق ۳۰۰ m، با گستره شوری ۳۶/۴۵ psu تا ۳۶/۸۵ psu مشاهده می‌شود که در جنوب خلیج تافنس و در شمال خلیج تا (قبل از) مجاورت خلیج‌چزم (مانند فصل بهار) پیشروی کرده است. با حرکت به سمت شرق شوری کاهش یافته و به ۳۶/۳ psu می‌رسد.

در فصل پاییز شوری ۰/۷۲ psu با حرکت از شرق به غرب افزایش می‌یابد و خطوط هم‌شوری به هم نزدیک می‌شوند. در این فصل PGW با گستره شوری ۳۶/۴۵ psu تا ۳۶/۸۲ psu که در جنوب خلیج تا الرمیس (مانند فصل تابستان) و در شمال خلیج تا خور راج (علامت

ستاره)، جبهه دیگر در $25^{\circ}N$ الی $25/2^{\circ}N$ و $58^{\circ}E$ و جبهه راس الحد مشاهده می‌شود.

۲. برش قائم-AB (AB-Vertical section)

شکل ۶، برش افقی پارامترهای دما، شوری و چگالی را در آب‌های میانی خلیج نشان می‌دهد. این شکل به خوبی نشان می‌دهد که در عمق میانی، بر اساس موقعیت مقطع AB، در میانه خلیج عمان یک توده آب شور وجود دارد که از تنگه هرمز وارد خلیج عمان شده است که آن را PGW نامیده‌ایم که موقعیت و میزان نفوذ آن تغییرات فصلی دارد. مطالعه Senjyu و همکاران (۱۹۹۸) بیان می‌کند که PGW در وسط خلیج عمان امتداد دارد [۲۷]. البته مطالعه L'Hégaret و همکاران (۲۰۱۵) احتمال وجود PGW را در آب‌های شمالی خلیج علاوه بر آب‌های جنوبی مطرح کرده است [۲۳]. در فصل بهار، PGW (خط هم شوری ۳۶/۴۵ psu مشکی ضخیم در شکل ۶) در این فصل با گستره شوری بیش از ۳۶/۴۵ psu (تا ۳۷/۱۲ psu) در ایستگاه‌های غربی در عمق حدود ۱۵۰ m تا ۳۴۰ m و در ایستگاه‌های مرکزی ۱۷۵ m تا ۳۰۰ m مشاهده می‌شود. PGW حدود ۴۵۰ km به سمت شرق پیشروی کرده و هسته شور آن با گستره شوری ۳۶/۹ psu تا ۳۷/۱۲ psu در عمق ۲۰۰ m تا ۳۰۰ m قرار گرفته است. در تابستان، PGW با گستره شوری ۳۶/۴۵ psu تا ۳۶/۹۸ psu در عمق حدود ۱۵۰ m تا ۳۴۰ m در ایستگاه‌های غربی و ۱۶۰ m تا ۲۵۰ m در ایستگاه‌های مرکزی قرار داشته که حدود ۴۲۰ km به سمت شرق پیشروی کرده است. هسته این توده آب دارای شوری ۳۶/۹ psu تا ۳۶/۹۸ psu بوده که در عمق ۲۲۰ m تا ۲۸۰ m قرار دارد. در فصل پاییز، PGW با گستره شوری ۳۶/۴۵ psu تا ۳۶/۸۴۳ psu، در ایستگاه‌های غربی در عمق حدود ۲۰۰ m تا ۳۶۰ m و در ایستگاه‌های مرکزی ۲۰۰ m تا ۲۵۰ m قرار دارد که حدود ۴۲۰ km به سمت شرق پیشروی کرده است و هسته آن با شوری ۳۶/۷ psu تا ۳۶/۸۴۳ psu در عمق حدود ۲۶۰ m تا ۳۲۰ m جای گرفته است. در زمستان، PGW گستره شوری ۳۶/۴۵ psu تا ۳۶/۸۱۶ psu دارد که در ایستگاه‌های غربی در عمق حدود ۲۰۰ m تا ۳۶۰ m و در ایستگاه‌های مرکزی در عمق ۲۴۰ m تا ۳۰۰ m قرار داشته و ۳۷۰ km به سمت شرق پیشروی کرده است. هسته شور آن دارای شوری ۳۶/۷ psu تا ۳۶/۸۱۶ psu بوده و در عمق ۲۶۰ m تا ۳۱۰ m قرار گرفته است (همانند فصل پاییز) قرار گرفته است.

همچنین نمودارهای تغییر شوری با عمق بیانگر این است که در عمق میانی علاوه بر PGW، توده آب میانی اقیانوس هند که به اختصار IOCW می‌نامند (خط هم شوری ۳۵/۳۶ psu سفید ضخیم در شکل ۶)، قرار دارد. این توده آب تغییرات فصلی دارد و به علت کم‌شورتر بودن نسبت به PGW چگالی سبک تری دارد. IOCW در فصل بهار گستره شوری ۳۶/۱۵ تا ۳۶/۳۵ psu دارد که در ایستگاه‌های شرقی در عمق حدود

بنابراین بیشینه پیشروی PGW در شمال خلیج در فصول بهار و زمستان و کمینه آن در فصول پاییز و تابستان مشاهده می‌شود. همچنین بیشینه پیشروی PGW در جنوب خلیج در فصول بهار و زمستان و کمینه در فصول تابستان و پاییز مشاهده گردید. جبهه شوری $25^{\circ}N$ الی $25/2^{\circ}N$ و $58^{\circ}E$ دارای تغییرات فصلی بوده و در بهار قوی‌تر از دیگر فصول بوده همچنین جبهه الرمیس نیز در فصل تابستان قوی‌تر از دیگر فصول بوده و در زمستان اثری از آن دیده نمی‌شود.

در عمق ۳۰۰ متری چگالی تغییرات اندک ($\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۴۸ الی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۸۷) دارد. الگوی توزیع چگالی در فصل بهار از الگوی توزیع دما در این فصل تبعیت می‌کند. یک هسته کم چگال با چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۵۷ قبل از راس الحد ($22/87^{\circ}N$ و $59/37^{\circ}E$) و یک هسته چگال با چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۶۸ در دماغه راس الحد ($22/37^{\circ}N$ و $60/12^{\circ}E$) وجود دارد. بیشینه چگالی ($\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۷۲) در سواحل شمالی خلیج عمان، در مجاورت پاکستان ($24/62^{\circ}N$ و $61/87^{\circ}E$) مشاهده می‌گردد. کمینه چگالی ($\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۴۸) در این فصل در انتهای خلیج سمت تنگه هرمز قرار دارد. در تابستان چگالی کل حوضه افزایش می‌یابد و یک محدوده چگال با هم چگال $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۸۱ در میانه خلیج مشاهده می‌شود که هسته‌ای در مجاورت مسقط ($23/12^{\circ}N$ و $59/12^{\circ}E$) به چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۸۷۴۵ دارد و از مسقط به شمال شرقی گسترش یافته است. در مجاورت این هسته چگال یک هسته کم چگال نیز وجود دارد که چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۷۷ دارد و در موقعیت جغرافیایی $22/37^{\circ}N$ و $60/12^{\circ}E$ قرار دارد که سبب شکل‌گیری یک جبهه چگالی در فنس شده است. همچنین جبهه الرمیس نیز در این فصل مشاهده شده که در فصول پاییز و زمستان نیز این جبهه وجود داشته اما در تابستان اثری از آن دیده نمی‌شود. همچنین یک هسته چگال در سر دماغه راس الحد با چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۸۱ وجود دارد که در تابستان نیز در همین موقعیت جغرافیایی یک هسته چگال مشاهده شد که با تغییر فصل از بهار به تابستان افزایش چگالی ($\frac{kg}{m^3}$ ۰/۲۱) را تجربه کرده است. با حرکت به سمت شرق چگالی روند کاهشی دارد و کمینه آن با مقدار چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۷۲ در شرق مشاهده می‌شود. در فصل پاییز چگالی نسبت به فصل تابستان کاهش یافته و همانند فصل تابستان در میانه خلیج یک لکه چگال با خط هم چگال $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۷۷ مشاهده شده که هسته‌ای با چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۸۱ دارد و مانند فصل تابستان از مسقط به سمت شمال شرقی گسترش یافته است. الگوی توزیع چگالی در فصل پاییز بیانگر وجود یک جبهه در فنس و جبهه دیگر در الرمیس می‌باشد. در زمستان نیز لکه چگال وجود دارد که این بار با هم چگال $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۶۵ مشاهده شده و هسته‌ای به چگالی $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۷۰۹۰ را در بردارد. کمینه چگالی در این فصل همانند فصل بهار در نزدیکی تنگه هرمز بوده و چگالی آن $\frac{kg}{m^3}$ ۲۶/۴۸ است. در این فصل یک جبهه چگالی در الرمیس (علامت

خصوص در عمق حدود ۱۵۰ m تا ۲۹۰ m کاهش دما با عمق تقریباً متوقف شده و دما یکنواخت بوده و بعد از آن PGW اختلاط دمایی یافته و لایه‌بندی دما مشاهده می‌شود. در فصل پاییز بیشینه دما در سطح و در ایستگاه‌های غربی تا مرکزی حداکثر $27/60^{\circ}C$ است. با افزایش عمق، دما کاهش یافته و در نهایت کمینه دما ($14/28^{\circ}C$) در عمق خواهد بود (جدول ۷).

به عبارتی در پاییز با سرد شدن آب‌های لایه سطحی و افزایش اختلاط در سطح، ترموکلاین لایه سطحی تضعیف می‌گردد و موجب هم‌بهریختگی زیاد در لایه‌بندی و افزایش و کاهش نامنظم فاصله خطوط لایه‌بندی می‌شود. از عمق حدود ۱۳۰ m تا ۳۰۰ m تغییرات دمایی تقریباً یکنواخت است و اختلاط صورت می‌گیرد اما مجدد فاصله خطوط هم‌دما به هم نزدیکتر می‌شود. این مسئله می‌تواند به تمایز بین ترموکلاین فصلی و دائمی در این فصل منجر شود. در مطالعه Soyuf Jahromi و Shahmansoori (۲۰۲۱) نوعی افت و خیز ماهیانه در تغییرات تراز سطح آب گزارش شده است و برخی از ماه‌های سال به عنوان ماه گذار بین این افت و خیز مطرح شده است [۲۹]. در مطالعه Soyuf Jahromi (۲۰۲۲) نیز نوعی افت و خیز در موج گرمایی دریایی (MHW) ملاحظه شده است [۳۰]. به عبارتی این به هم‌ریختگی در لایه‌بندی دور از انتظار نیست. در فصل پاییز نسبت به فصل تابستان شیب تغییر دما بیشتر شده است. بیشینه دما در سطح $27/60^{\circ}C$ و کمینه در عمق ۴۰۰ m، برابر با $14/28^{\circ}C$ می‌باشد (جدول ۷). در فصل زمستان گستره تغییرات دمایی $24/47^{\circ}C$ در سطح تا $14/91^{\circ}C$ در عمق می‌باشد. در این فصل کمترین میزان به‌هم‌ریختگی لایه‌بندی (عمق حدود ۱۴۰ تا ۳۲۰ m) مشاهده می‌شود.

الگوی تغییرات چگالی با عمق در تمامی فصول لایه‌بندی چگالی را نمایش می‌دهد و با افزایش عمق ضخامت لایه‌های هم‌چگال افزایش می‌یابد. در تمامی فصول تغییرات چگالی با عمق نشان دهنده چگالی جبران شده است، یعنی اثرات PGW در الگوی تغییرات چگالی به طور واضح مشاهده نشده اما در نیم رخ شوری کاملاً واضح است، بنابراین لایه‌بندی چگالی اتفاق افتاده است.

جدول ۷: تغییرات فصلی مقطع AB در داده‌های WOA18، خلیج عمان.

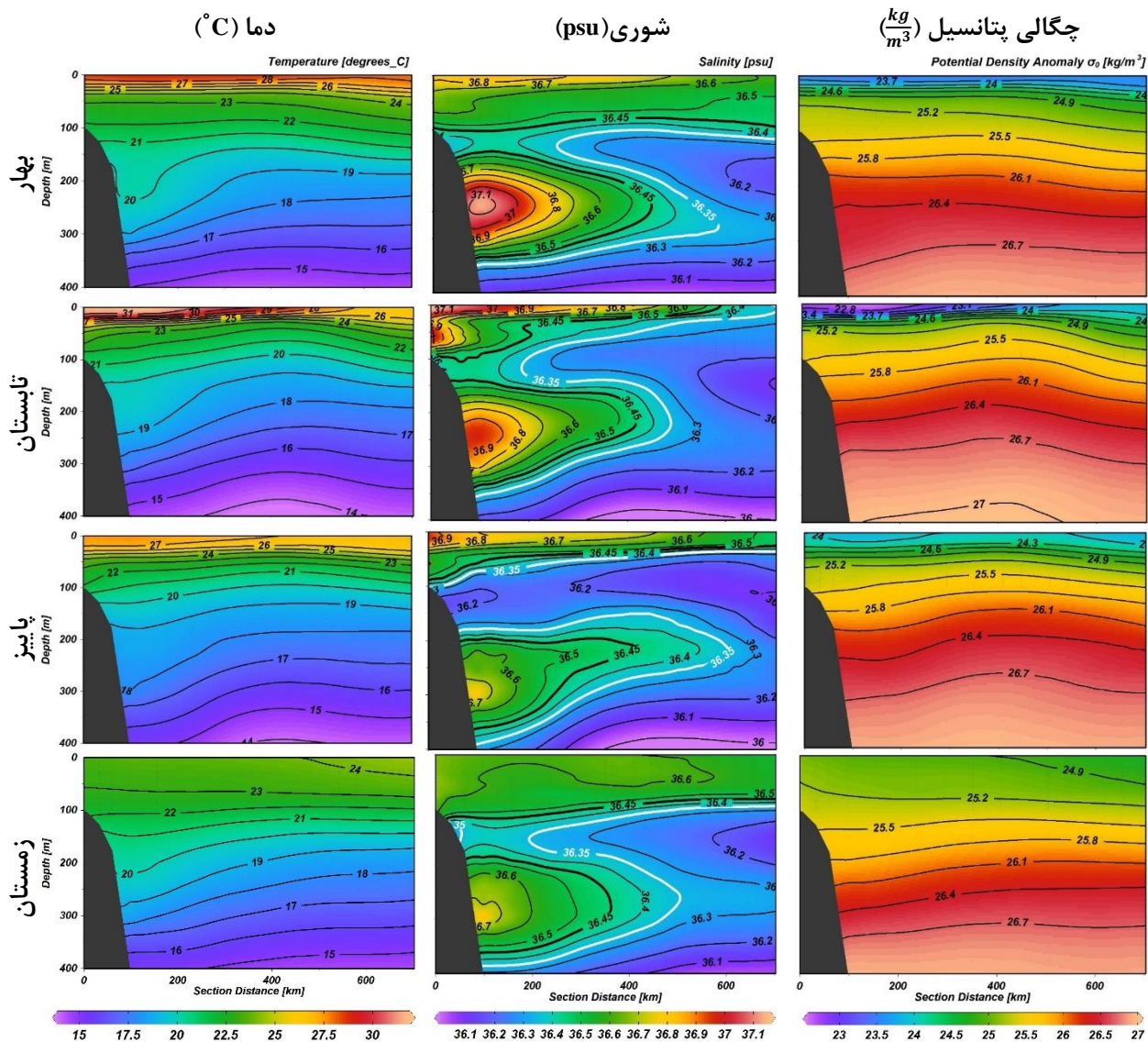
پارامتر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
دما ($^{\circ}C$)	حدافل	۱۴/۷۹	۱۳/۸۹	۱۴/۲۸	۱۴/۹۱
	حداکثر	۲۸/۹۲	۳۱/۹۱	۲۷/۶۰	۲۴/۴۷
	اختلاف	۱۴/۱۳	۱۸/۰۲	۱۳/۳۲	۹/۵۶
شوری (psu)	حدافل	۳۶/۱۰	۳۶/۰۱	۳۶/۰۰	۳۶/۱۰
	حداکثر	۳۷/۱۲	۳۷/۱۵	۳۶/۹۵	۳۶/۸۴
	اختلاف	۱/۰۲	۱/۱۴	۰/۹۴	۰/۷۴
چگالی پتانسیل (kg/m^3)	حدافل	۲۳/۴۶	۲۲/۵۷	۲۳/۴۶	۲۴/۶۴
	حداکثر	۲۶/۸۹	۲۷/۰۱	۲۶/۹۴	۲۶/۸۹
	اختلاف	۳/۴۳	۴/۴۳	۳/۴۷	۲/۴۲

۱۱۰ تا ۲۶۰ m و ایستگاه‌های مرکزی ۱۰۰ تا ۱۶۰ m قرار داشته و حدود ۵۲۰ km به سمت غرب پیشروی کرده است. IOCW، در فصل تابستان با گستره شوری ۳۶/۰۹ psu تا ۳۶/۳۵ psu در ایستگاه‌های شرقی در عمق حدود ۲۰ m تا ۲۴۰ m، ایستگاه‌های مرکزی ۵۰ m تا ۱۴۰ m و ایستگاه‌های غربی در ۹۰ m تا ۱۴۰ m قرار داشته و حدود ۵۷۰ km از شرق به غرب پیشروی کرده است. در فصل پاییز IOCW با گستره شوری ۳۶/۰۹ psu تا ۳۶/۳۵ psu در ایستگاه‌های شرقی در عمق حدود ۳۵ m تا ۲۲۰ m، ایستگاه‌های مرکزی ۶۰ m تا ۱۱۰ m و ایستگاه‌های غربی در عمق حدود ۱۰۰ تا ۱۸۰ m وجود داشته و از شرق به غرب ۷۰۰ km پیشروی کرده تا وارد تنگه هرمز و سپس خلیج فارس شود که در این فصل بیشینه پیشروی را داشته است. در زمستان، IOCW با گستره شوری ۳۶/۱۲ psu تا ۳۶/۳۵ psu مشاهده شده که در ایستگاه‌های غربی در عمق حدود ۹۰ m تا ۱۳۰ m، ایستگاه‌های مرکزی ۱۳۰ m تا ۱۹۰ m و ایستگاه‌های شرقی در عمق حدود ۹۰ تا ۲۵۰ m استقرار داشته و حدود ۵۱۰ km به سمت غرب پیشروی کرده است.

نمودار های تغییرات دما با عمق در مقطع طولی AB بیانگر وجود لایه‌بندی دما در تمامی فصول تا عمق ۴۰۰ متری می‌باشد که به دلیل وجود PGW بهم‌ریختگی‌هایی در این لایه‌بندی مشاهده می‌شود که Shafie Sarvestani (۲۰۱۷) نیز در مطالعه خود آن را تأیید کرده است. میزان به‌هم‌ریختگی لایه‌بندی دما در فصول بهار، تابستان و پاییز بیشتر از فصل زمستان بوده است. بیشترین دمای سطحی مربوط به فصل تابستان بوده که در پاسخ به گرمایش تابستانی دمای آب‌های سطحی افزایش یافته، و کمترین دمای سطحی نیز مربوط به فصل زمستان است.

در بهار، زبانه آب‌های گرم‌تر از سطح تا عمق ۵۰ m با گستره دمایی $28/92^{\circ}C$ تا $23^{\circ}C$ وجود دارند. از عمق حدود ۱۲۰ m تا ۳۰۰ m به‌هم‌ریختگی در لایه‌بندی دما به صورت افزایش فاصله خطوط هم‌دما و شیب‌دار بودن خطوط هم‌دما مشاهده شده و پس از آن اختلاط دمایی اتفاق افتاده و لایه‌بندی دمایی مشاهده می‌شود اما در همین بازه زمانی و مکانی اختلاط شوری اتفاق نیفتاده است، زیرا سرعت اختلاط و نفوذ دما بیشتر از سرعت اختلاط و نفوذ شوری است (در واقع پخش مولکولی دما ۱۰۰ برابر بیشتر از شوری است [۲۸]). بنابراین مشاهده می‌شود که کاهش دما با عمق تقریباً ثابت مانده و دما تقریباً یکنواخت است، در این فصل تغییرات دمایی از سطح با بیشینه دمای $28/91^{\circ}C$ تا عمق با کمینه دمای $14/79^{\circ}C$ وجود دارد.

دما در فصل تابستان در سطح بیشینه ($31/91^{\circ}C$) و در عمق کمینه ($13/89^{\circ}C$) است (جدول ۷). بیشینه دمای سطحی مربوط به ایستگاه‌های غربی و مرکزی بوده و با حرکت به سمت ایستگاه‌های شرقی دما کاهش یافته است. لایه‌بندی دما به دلیل وجود PGW دستخوش تغییراتی است، به



شکل ۶: مقطع طولی میان‌ی A-B برای دما (ستون اول)، شوری (ستون دوم) و چگالی (ستون سوم) در داده‌های WOA18، خلیج عمان. ردیف اول (بهار، ردیف دوم (تابستان، ردیف سوم) پاییز، و ردیف چهارم) زمستان. موقعیت ایستگاه‌های نشان داده شده با علامت‌های خاص روی این شکل را در جدول ۱ ببینید.

نتیجه‌گیری

پیش از این تصور می‌شد توده آب خلیج فارس در تمام سال به صورت یک جریان خروجی به موازات ساحل جریان داشته باشد و آن را به عنوان جریان به دام افتاده ساحلی توصیف می‌کردند اما در بررسی خطوط پربندی از نقشه‌های هم سطح، به ویژه شوری، در پژوهش حاضر مشخص شد که بخش‌هایی از این توده آب در شمال خلیج عمان، میانه خلیج عمان و در جنوب خلیج عمان وجود داشته و تغییرات فصلی دارد.

نتایج حاکی از آن است که PGW در خلیج عمان از عمق m

۱۵۰ تا ۳۷۵ m مشاهده شده است که با پژوهش‌های صورت گرفته در گذشته از جمله Pous و همکاران (۲۰۰۴b) (داده‌های گشت GOGP99) ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر و Ghazi و همکاران (۲۰۲۱) (داده‌های راپمی ۱۹۹۲) ۱۰۰-۴۵۰ متر برآورد شده و نتایج مدل‌سازی مطالعاتی همچون Shafiee Sarvestani (۲۰۱۷) (مدل MITgcm) ۱۰۰ تا ۳۵۰، L'Hégaret و همکاران (۲۰۱۵) (مدل HYCOM) ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر، برآورد کرده که محدوده عمق مورد تأیید قرار گرفته است.

عمق قرارگیری PGW در فصل بهار و تابستان سطحی‌تر است و در پاییز و زمستان بیشتر به عمق فرو می‌رود که بیشینه آن مربوط

دانشگاه هرمزگان به ثبت رسیده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از دانشگاه هرمزگان جهت فراهم آوردن پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع

- [1] Pous S, Carton X, Lazure P., (2004a). Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 1. Strait of Hormuz. *J. Geophys. Res., [Oceans.]*, 109(C12). (15 pages).
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2003JC002145>
- [2] Pous, S., Carton, X., Lazure, P., (2004b). Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 2. Gulf of Oman. *J. Geophys. Res., [Oceans.]*, 109(C12). (22 pages).
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2003JC002146>
- [3] Al-Hajri, S. M., Petropoulos, G. P., Markogianni, V., (2021). Seasonal variation of key environmental parameters in the Sea of Oman using EO data and GIS. *ENVIRON. DEV. SUSTAIN*, 23(4), 6021-6046. (26 pages).
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-020-00860-5>
- [4] Rochford D., (1964). Salinity maxima in the upper 1000 metres of the North Indian Ocean. *Mar. Freshw. Res.*, 15(1), 1-24. (25 pages).
<https://www.publish.csiro.au/MF/MF9640001>
- [5] Ahn Y, Shanmugam P, Moon J, Ryu J-H (2008). Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea. *Ann. Geophys.* (17 pages).
<https://angeo.copernicus.org/articles/26/2019/2008>
- [6] Piontkovski S, Chiffings T., (2014). Long-term changes of temperature in the Sea of Oman and the western Arabian Sea. *IJO*, 8(1), 53-72. (21 pages).

به فصل زمستان (۳۷۵ m) است که دلیل آن بیشتر بودن چگالی PGW در این فصل نسبت به دیگر فصول می‌باشد.

همچنین نتایج نشان داد که عمق قرارگیری و پارامترهای فیزیکی (دما و شوری) PGW دارای تغییرات زمانی (فصلی) و مکانی بوده و با پیشروی به سمت شرق در تمامی فصول ضخامت PGW کاهش می‌یابد. همچنین میزان گسترش و پیشروی PGW تغییرات زمانی و مکانی (در شمال خلیج، میانه و جنوب خلیج) دارد.

بررسی نتایج مقطع قائم AB نیز نشان داد ضخامت PGW تغییرات زمانی و مکانی دارد و در همه فصول با حرکت از غرب به سمت شرق ضخامت کاهش پیدا می‌کند. این ضخامت، در آب‌های میانی خلیج در بهار و تابستان، ۱۹۰ m و در پاییز و زمستان، ۱۶۰ m می‌باشد. الگوی تغییرات فصلی دمای سطحی بیانگر آن است که در فصول بهار، تابستان و پاییز دما از غرب به شرق کاهش دما اتفاق می‌افتد اما در فصل زمستان خلاف آن مشاهده شده و از غرب به شرق افزایش دما وجود دارد.

نتایج نشان داد در چابهار رخداد فراچاهی به سبب کاهش دما و به وجود آمدن لکه ای سرد در آن منطقه شده است (که در عمق‌های ۱۵۰ m و ۳۰۰ m در فصل تابستان مشاهده شده است). همچنین داده‌های WOA2018 به خوبی توانسته است جبهه راس‌الحد را به خوبی در موقعیت $22^{\circ}N$ و $59^{\circ}E$ (دماغه راس‌الحد) نمایش داده که سمت شرق و جنوب شرقی پیشروی کرده است و تغییرات فصلی دارد (فصل تابستان قوی‌تر) نشان دهد.

نتایج به خوبی نشان داد که در برخی از فصول مثل پاییز، نوعی به هم ریختگی در لایه‌بندی دیده می‌شود که از این رو بررسی ترموکلاین فصلی و دائمی در منطقه پیشنهاد می‌شود. همچنین چند شاخه شدن PGW می‌تواند موضوعی جذاب برای علاقه‌مندان این توده آب جهت مطالعات آتی باشد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده‌ی اول، به عنوان محقق اصلی، تهیه‌ی داده‌ها، پردازش اولیه، تهیه پیش‌نویس اولیه مقاله را عهده‌دار بود. نویسنده‌ی دوم به عنوان استاد راهنمای اول، مسئولیت هدایت تحقیق در کل محتوای مقاله و چیدمان نتایج و بحث را بر عهده داشته‌اند. نویسنده‌ی سوم به عنوان استاد راهنمای دوم، مسئولیت راهنمایی برای تهیه خروجی از نرم‌افزار را بر عهده داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

مقاله ارسالی حاصل پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه هرمزگان است که در تاریخ ۱۴۰۱/۰۳/۲۵ در شورای تحصیلات تکمیلی

- Hydrophysics (Hydro.), 7(2), 79-93 .(Persian) .**(15 pages)**.
https://www.hydrophysics.ir/&url=http://www.hydrophysics.ir/article_697477.html
- [14] Ramak H, soyufjahromi M, Akbari P.,(2022b). Persian Gulf Water mass tracking by surface temperature and salinity properties. JOC.; 12 (48) :13-28.(Persian) .**(15 pages)**.
<http://joc.inio.ac.ir/article-1-1616-fa.html>
- [15] Ramak H, soyufjahromi M, Akbari P., (2023). Investigation of salinity and temperature of Persian Gulf water by FVCOM Model. JOC; 12 (48) :13-28.(Persian).**(16 pages)**.
<http://joc.inio.ac.ir/article-1-1716-en.html>
- [16] Shafiee Sarvestani, R., (2017). Numerical modeling of tracing the water mass of the Persian Gulf and the Red Sea to the northern Indian Ocean [dissertation]. Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology,. (Persian).**(176 pages)**.
<https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/361e39032512034e282de3c8b59f6bd8>
- [17] Ramak, H., Soyuf Jahromi, M., Akbari, P., (2023). Investigating the downwelling of Persian Gulf Water in the Gulf of Oman. IJCOE, 8(1), 1-9.**(9 pages)**.
https://www.ijcoe.org/article_166317.html
- [18] Reiner Schlitzer, (2021). Ocean Data View software. Available from: <https://odv.awi.de>, [Accessed 6th January 2022]
- [19] National Oceanic and Atmospheric Administration, (2021). World Ocean Atlas 2018, Available from: <https://odv.awi.de/data/ocean/world-ocean-atlas-2018> [Accessed 5th February 2022]
- [20] Hassanzadeh, E. and Najar Khodabakhsh. H., (2003). Sea surface temperature and its impact on coastal climate in the northern Indian Ocean region. The third regional conference and the first national climate change conference, 10 October 2003, Isfahan. (Persian). **(7 pages)**.
<https://civilica.com/doc/12497>
- https://www.researchgate.net/publication/262415695_Longterm_changes_of_temperature_in_the_Sea_of_Oman_and_the_western_Arabian_Sea
- [7] Reynolds RM.,(1993). Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. Mar. Pollut. Bull., 27: 35-59. **(49 pages)**.
<https://www.researchgate.net/publication/223884087>
- [8] Ezam, M., Bidokhti, A., Javid, A., (2010). Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea. OCEAN. SCI, 6(4), 887-900. **(14 pages)**.
<https://os.copernicus.org/articles/6/887/2010>
- [9] Ghazi, E., Bidokhti, A., Ezam, M., Zoljoodi, M., (2021). Study of Temperature and Salinity Inversions in the Oman Sea. J. OCEANOGR, 12(45), 16-27. (Persian) **(12 pages)**.
<http://joc.inio.ac.ir/article-1-1606-en.html>
- [10] Premchand, K., Murty, C.S. and Sastry, J.S., (1986). Water-mass structure in the Western Indian Ocean: Part II - The spreading and transformation of the Persian Gulf water. J.Mausam, 37(2): 179-186.**(8 pages)**.
<https://mausamjournal.imd.gov.in/index.php/MAUSAM/article/view/2260>
- [11] Alessi, C. A., Hunt, H. D., Bower, A. S., (1999). Hydrographic Data from the US Naval Oceanographic Office: Persian Gulf, Southern Red Sea, and Arabian Sea 1923-1996.**(69 pages)**.
<https://darchive.mblwhoilibrary.org/handle/1912/78>
- [12] Soyuf Jahromi, M., Sadri Nasab, M., Ali Akbari Bidakhti, A., (2014). 3D simulation of Oman sea measurement data in future winter 2005. J Mar Sci Technol, 13(3), 21-31.(Persian).**(13 pages)**.
https://jmst.kmsu.ac.ir/article_7821.html
- [13] Ramak, H., soyufjahromi, M., Akbari, P.,(2022a). Using surface temperature data of the Oman Sea to identify subsurface water of the Persian Gulf.

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967064598000599>
- [26] Asefjahi, N., Sadrasab, M., Ashtari Larki, R., Akbarinasab, M., (2018). Study the Coastal Upwelling in the Gulf of Oman Using Remote Sensing. *Hydrophysics (Hydro.) (Persian)*. (13 pages).
https://www.hydrophysics.ir/article_36945.html?lang=en
- [27] Senjyu, T., Ishimaru, T., Matsuyama, M., and Koike, Y., (1998) High salinity lens from the Strait of Hormuz, in Offshore Environment of the ROPME Sea Area after the War-Related Oil Spill, *Terrapub, Tokyo*, 35–49. (14 pages)
<https://kyushu-u.pure.elsevier.com/en/publications/high-salinity-lens-from-the-strait-of-hormuz>
- [28] Stewart, R. H., (2008). *Introduction to physical oceanography*. Texas A&M University Publishing. (351 pages)
<https://www.uv.es/hegui/Kasper/por%20Robert%20H%20Stewart.pdf>
- [29] Soyuf Jahromi M., and Shahmansoori Z., (2021), The monthly sea-level anomaly patterns on the Persian Gulf. *Iranian Journal of Marine Technology*, Vol.7(4), p.97-106 (10 pages).
http://ijmt.iranjournals.ir/article_44294_dd3353f01f196dc77987c4fcfbac4c13.pdf
- [30] Soyuf Jahromi, M. (2022). The spatial and temporal monitoring of the sea surface temperature anomaly of the Strait of Hormuz. *International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering*, 7(4), 1-6 (6 pages).
https://www.ijcoe.org/article_164980_6731fc5c5acc0888385e6eb78296c477.pdf
- [21] Ebrahimi, M., Mohebbinozar, L., Seraji, F., Eslami, F., Ejlali, K., Salimizadeh, M., Aghajeri, N., (2007). Continuing studies of hydrology and hydrobiology of Persian Gulf and Strait of Hormuz (waters of Hormozgan province). *Iranian Fisheries Research Organization (IFRO)*. Press, Tehran, Iran. (Persian). (126 pages).
<http://hdl.handle.net/1834/13068>
- [22] L'Hégaret, P., Lacour, L., Carton, X., Rouillet, G., Baraille, R., Corréard, S., (2013). A seasonal dipolar eddy near Ras Al Hamra (Sea of Oman). *OCEAN. DYNAM*, 63(6), 633-659. (27 pages).
https://www.researchgate.net/publication/239652078_A_seasonal_dipolar_eddy_near_Ras_Al_Hamra_Sea_of_Oman
- [23] L'Hégaret P, Duarte R, Carton X, Vic C, Ciani D, Baraille R, Corréard S., (2015). Mesoscale variability in the Arabian Sea from HYCOM model results and observations: impact on the Persian Gulf Water path. *OCEAN. SCI.*; 11(5): 667-93 (28 pages).
<https://os.copernicus.org/articles/11/667/2015/>
- [24] Johns, W., Jacobs, G., Kindle, J., Murray, S., Carron, M., (1999). *Arabian Marginal Seas and Gulfs: NAVAL RESEARCH LAB STENNIS SPACE CENTER MS OCEANOGRAPHY DIV (NAV. RES)* (59 pages).
https://www.researchgate.net/publication/235072822_Arabian_Marginal_Seas_and_Gulfs
- [25] Flagg, C. N. and Kim, H., (1998). Upper ocean currents in the north ern Arabian Sea from shipboard ADCP measurements collected during the 1994–1996 US JGOFS and ONR programs, *Deep-Sea Res. Pt. II*, 45, 1917–1959, (43 pages).

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Lashkari, Sh., *Department of Nonliving Resources of Atmosphere and Ocean, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran*

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

✉ soyufjahromi@yahoo.com.au

 **0000-0002-7877-6277**

Hamzei, S., *Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran*

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:

Citation



 <http://doi.org/10.52547/joc.14.53.9>

 <https://orcid.org/0000-0002-7877-6277>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1756-fa.html>

COPYRIGHTS

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

