

Seasonal changes of physical characteristics of the Makran's marine area

Behzadi, M.¹  | Ghaderi, D.²  | Soyuf Jahromi, M.³  

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

2. PhD student of physical oceanography, Department of Nonliving Resources of Atmosphere and Ocean, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

3. Associate Professor of physical oceanography, Department of Nonliving Resources of Atmosphere and Ocean, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Corresponding Author E-mail: soyufjahromi@hormozgan.ac.ir

(Received: 27 Feb 2024, Accepted: 30 April 2024, Published online: 30 April 2024)

Abstract

The Makran water basin includes the Gulf of Oman and part of the Arabian Sea, which is adjacent to the Indian Ocean. In this study, the surface temperature, salinity and density and vertical cross section of them related to a part of the Makran water basin (56.425-66.126°E; 23.375-25.80°N) have been investigated. For this purpose, the World Ocean Atlas data set (2018) related to the National Oceanic and Atmospheric Organization of NOAA (abbreviated as WOA18) with the resolution of a quarter of a degree of latitude have been used as seasonal and annual averages. Using ArcGIS software, surface maps were plotted, and using Surfer software, cross-section maps were also illustrated, and vertical average profiles were plotted with the Grapher software as seasonally and annually averages. Sea Surface maps were contoured by spline interpolation. Cross-sectional maps were created from the surface to the depth of 2000 meters by the intervals of two degrees of latitude (four transects in total) and the distance between the grid station points was completed using IDW interpolation. The results show that density changes are largely dependent on salinity changes directly and temperature changes inversely. Seasonal and spatial changes of quantities are evident in Makran water basin. Also, the cross-sections show that the thermocline and halocline changes are dependent on each other and have a direct effect on the pycnocline changes. An increase in temperature causes a decrease in density, and an increase in salinity causes an increase in density, and as a result, the heavy layer falls down from the surface to a deeper part. Also, a significant difference in salinity can be seen in the west due to the presence of the Persian Gulf water mass (PGW) and in the east due to the river entrances and the occurrence of summer-time monsoon on this basin. Although the average annual sea surface density of Makran water basin is 24.5 kg m⁻³, but its value decreases in the warm and rainy summer season. Moreover, the west of the Gulf of Oman is warmer and saltier than the east and shallow areas experience more temperature stress than the middle of the basin, which is deeper. In addition, the mixed layer (especially from the surface to a depth of 30 meters) is strongly affected by seasonal changes, and the difference between the warm summer season and the cool winter season can be seen well in the vertical profiles of the Makran water basin. The presence of the Persian Gulf water mass can be seen at a depth of 250 to 400 meters. In the deep layers with the depth of more than 1000 meters, the temperature has insignificant seasonal changes; but it decreases sharply and reaches a temperature of 4°C. The density also increases strongly and reaches more than 33 kg m⁻³.

Keywords: Gulf of Oman, Makran, Temperature, Salinity, Density, Surface and deep layers

Cite this article: Behzadi, M., Ghaderi, D., & Soyuf Jahromi, M. (2024). Seasonal changes of physical characteristics of the Makran's marine area. *Journal of the Nivar*, 48(126-127), 18 -34. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.444362.1283>

E-mail: (1) mojtababehzadifard@gmail.com (2) danielghaderi1@gmail.com



تغییرات فصلی ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبی مکران

مجتبی بهزادی^۱ | دانیال قادری^۲ | مریم سیوف جهرمی^۳ ✉

۱. دانشجوی کارشناسی اقیانوس‌شناسی، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. دانشجوی دکتری فیزیک دریا، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳. دانشیار فیزیک دریا، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: soyufjahromi@hormozgan.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۲/۱۱)

چکیده

حوضه آبی مکران، شامل خلیج عمان و بخشی از دریای عرب است که در مجاورت اقیانوس هند است. در این مطالعه، دما، شوری و چگالی سطح و راستای قائم مربوط به بخشی از حوضه آبی مکران (۲۵/۸۰ °N - ۶۶/۱۲۶ °E؛ ۲۳/۳۷۵ - ۲۵/۸۰ °N) مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور، از داده‌های اطلس اقیانوس جهانی (۲۰۱۸) مربوط به سازمان ملی اقیانوسی و جوی نوا (با علامت اختصار WOA18) با قدرت تفکیک یک چهارم درجه عرض جغرافیایی به صورت میانگین فصلی و سالیانه استفاده شده است. نقشه‌های سطحی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌های مقطع عرضی با استفاده از نرم‌افزار Surfer و پروفایل قائم میانگین گیری شده با استفاده از نرم‌افزار Grapher برای هر فصل و به صورت سالیانه ترسیم شد. نقشه‌های سطحی با درون‌یابی اسپلاین ترسیم شدند. مقطع عرضی از سطح تا عمق ۲۰۰۰ متر به فاصله دو درجه عرض جغرافیایی (جمعا چهار ترانسکت) ایجاد شد و فاصله بین شبکه نقاط داده‌ای با استفاده از درون‌یابی IDW تکمیل شد. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات چگالی تا حد زیادی وابسته به تغییرات شوری به طور مستقیم و تغییرات دما به طور معکوس است. تغییرات فصلی کمیت‌ها و تغییرات مکانی در حوضه آبی مکران مشهود می‌باشد. همچنین مقاطع عرضی نشان می‌دهد که تغییرات ترموکلاین و هالوکلاین آب به یکدیگر وابسته بوده و بر تغییرات پیکنوکلاین تاثیر مستقیم دارند. افزایش دما موجب کاهش چگالی و افزایش شوری موجب افزایش چگالی و در نتیجه سقوط لایه سنگین از سطح به عمق بیشتر می‌شود. همچنین به خوبی تفاوت چشمگیر شوری در سمت غرب به دلیل وجود توده آب خلیج فارس (PGW) و در شرق به دلیل ورودی رودخانه و رخداد مونسون تابستانه در این حوضه دیده می‌شود. اگرچه میانگین چگالی سطحی سالیانه حوضه آبی مکران $kg\ m^{-3}$ ۲۴/۵ می‌باشد اما در فصل گرم و پرباران تابستان مقدار آن کاهش می‌یابد. همچنین، غرب خلیج عمان، گرم و شورتر از شرق آن است. و مناطق کم‌عمق استرس دمایی بیشتری را نسبت به میانه حوضه که عمیق‌تر است، تجربه می‌کنند. به علاوه، لایه آمیخته (به ویژه از سطح تا عمق ۳۰ متری) تحت تاثیر شدید تغییرات فصلی است و تفاوت فصل گرم تابستان و فصل سرد زمستان به خوبی در پروفایل‌های قائم حوضه آبی مکران دیده می‌شود. وجود توده آب خلیج فارس در عمق ۲۵۰ الی ۴۰۰ متری دیده می‌شود. در لایه‌های عمقی با عمق بیش از ۱۰۰۰ متر نیز، دما تغییرات فصلی ناچیز دارد؛ اما شدیداً کاهش می‌یابد و به دمای $4^{\circ}C$ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. چگالی نیز شدیداً افزایش می‌یابد و به بیش از $33\ kg\ m^{-3}$ می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: خلیج عمان، مکران، دما، شوری، چگالی، لایه‌های سطحی و عمقی

۱. مقدمه

استناد: بهزادی، مجتبی؛ قادری، دانیال و سیوف جهرمی، مریم. (۱۴۰۳). تغییرات فصلی ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبی مکران، مجله نیوار، ۴۸(۱۲۶-۱۲۷)، ۱۸-۳۴. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.444362.1283>

رایانامه: (۱) mojtababehzadifard@gmail.com (۲) daniialghaderi@gmail.com



ناشر: سازمان هواشناسی کشور.

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.444362.1283>

و بخش شمالی خلیج فارس (در فصل‌های زمستان و بهار) بود. در مطالعه‌ای دیگر، با استفاده از پایگاه داده‌ای تاریخی اطلس اقیانوس جهانی ۲۰۱۸ (WOA18) به بررسی تغییرات فصلی توده آب خلیج فارس (Persian Gulf Water) با علامت اختصار PGW در خلیج عمان پرداخته شد (لشکری و همکاران، ۱۴۰۲). در آن مطالعه که هدف شناسایی توده آب خلیج فارس صورت گرفت، تنها ۵۰۰ متر بالایی حوضه آبی مکران در خلیج عمان مورد مطالعه قرار گرفت و نتیجه گرفته شد که توده آب خلیج فارس تغییرات فصلی دارد و از نظر گسترش در منطقه مکران تغییرات ابعاد در راستای افق و قائم دارد.

در پژوهش حاضر نیز، از پایگاه داده‌ای برای تغییرات فصلی سه کمیت دما، شوری و چگالی در منطقه مکران استفاده شده است که اعماق بیش از ۵۰۰ متر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه می‌تواند ضمن فراهم نمودن اطلاعات مفیدی از اعماق، تغییرات همزمان قائم و افقی را جهت بررسی تغییرات فصلی ساختار لایه‌ها فراهم سازد.

۲. روش تحقیق

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبی مکران با مساحت بالغ بر ۲۰۷۵۰۰ کیلومتر مربع، خلیج فارس و تنگه هرمز را به حوضه آبی اقیانوسی (هند) متصل می‌کند. موقعیت این منطقه در شمال از حدفاصل ساحل کوه مبارک ($25^{\circ}N$ ، $57^{\circ}E$) در تنگه هرمز تا نقطه‌ای در ناحیه لاسبلا (Lasbela District) در ساحل دریای عربی ($25^{\circ}N$ ، $66^{\circ}E$)، واقع در ایالت بلوچستان پاکستان است. در جنوب از ساحل شهر لیما (Limah) در استان موسندام (Musandam) عمان ($25^{\circ}N$ ، $95^{\circ}E$) تا نقطه‌ای واقع در دریای عربی ($25^{\circ}N$ ، $95^{\circ}E$) قرار دارد.

خلیج عمان در لبه بالایی سامانه آب‌وهوایی استوایی و بین دریای عربی، اقیانوس هند و خلیج فارس قرار گرفته هست (پوینتکوسکی و همکاران، ۲۰۱۹). این محدوده تحت تاثیر جریان‌ات آب‌وهوایی و دریایی منطقه است که باعث تغییرات

حوضه آبی مکران یکی از مهم‌ترین مناطق دریایی خاورمیانه از نظر اقتصادی، سیاسی، اجتماعی است. این حوضه آبی توسط تنگه هرمز به خلیج فارس متصل است، در نتیجه با در نظر گرفتن نقش خلیج فارس که منبع انرژی جهان هست، حوضه‌های آبی اطراف نیز از اهمیت بالایی برخوردار می‌شود. حوضه آبی مکران، شامل خلیج عمان و بخشی از دریای عرب است که در مجاورت اقیانوس هند است. این حوضه آبی نقش مهمی در ایجاد و کنترل پارامترهای فیزیکی و اقیانوسی منطقه، تنگه هرمز و خلیج فارس دارد.

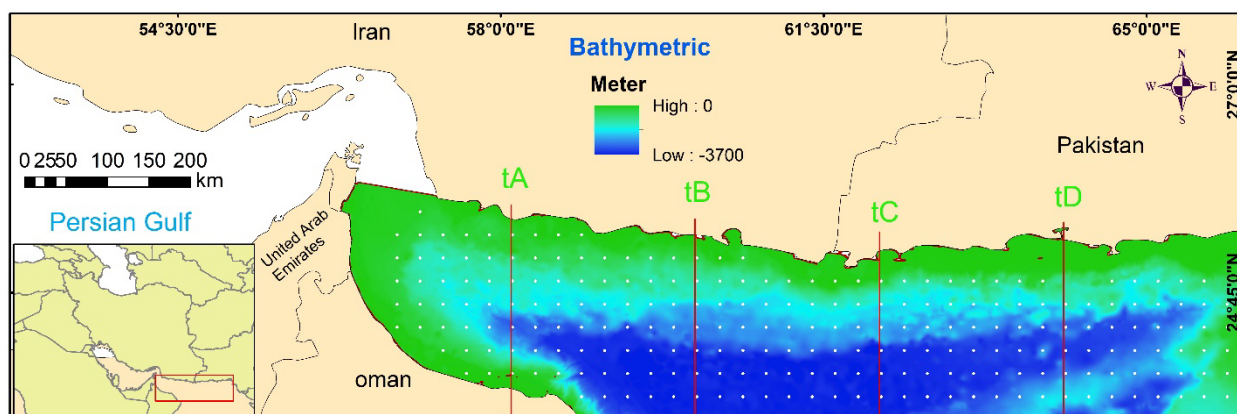
کمیت‌های دما، شوری و چگالی، از مهم‌ترین ویژگی‌های هر حوضه‌ی آبی است که متأثر از شرایط مختلف است. دما، شوری و چگالی تأثیرگذار بر عوامل و پدیده‌های گوناگون دریایی است. ویژگی و تغییرات این کمیت‌های وضعیت مکانی و زمانی ترموکلاین، هالوکلاین و پیکنوکلاین هر حوضه آبی را رقم می‌زند. از این رو شناخت این کمیت‌ها از اولین گام‌های مطالعات دریایی است. از طرفی دیگر مشاهده کمیت‌های فیزیکی در حوضه‌های اقیانوسی، همواره در زمان و مکان متغیر است و لذا محدودیت‌های نمونه‌برداری و هزینه‌ی گزاف به همراه دارد (یاو و جونز، ۲۰۱۰). لذا وجود پایگاه داده تاریخی می‌تواند به عنوان منبع قابل اعتماد باشد. اگرچه مطالعات جامع و گسترده‌ای در منطقه مکران با هدف تعیین کمیت‌های دما و شوری صورت گرفته است، اما نواقص زمانی یا مکان در این گونه مطالعات دیده می‌شود.

مطالعات بر اساس پایگاه داده‌ای در حوضه آبی مکران اندک است. قادری و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از مجموعه داده‌های تاریخچه‌ای پایگاه داده اطلس اقیانوس جهانی ۲۰۱۳ (WOA13)، میانگین فصلی دما و شوری را در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که در خلال تغییر فصل از زمستان به تابستان، شوری و دما از دریای عمان به بخش شمالی خلیج فارس افزایش پیدا می‌کند و در فصل پاییز همراه با کاهش است که به نوعی بیانگر چرخه ترموهالاین منطقه بود. همچنین بیشینه و کمینه شوری در بخش شمالی خلیج فارس و دریای عمان، بود و بیشینه و کمینه دما مربوط به بخش مرکزی خلیج فارس (فصل تابستان)

تسهیلات نقشه‌برداری دریایی و تعیین حد و مرزهای دریایی به عهده دارد. داده‌های مورد استفاده از نوع چندضلعی با فرمت Shapefile بود که حدود مرزی خلیج عمان و دریای عرب را مشخص می‌کنند. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این شکل، با استخراج و درون‌یابی داده‌های عمق ETOPO1 نقشه عمق‌سنجی حوضه آبی مکران ترسیم شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، در این حوضه آبی از شمال به جنوب شیب بستر و عمق آب بیشتر می‌شود. حداکثر عمق این منطقه ۳۷۰۰ متر بوده که در بخش مرکزی و جنوبی این حوضه آبی واقع شده است.

فصلی در لایه آمیخته، ترموکلاین، هالوکلاین و پیکنوکلاین می‌شود. از این رو، در این مطالعه دو حوضه آبی خلیج عمان و بخشی از دریای عربی را در یک نام واحد به نام مکران مورد بررسی قرار گرفته است. مکران نامی تاریخی است که به منطقه‌ای در امتداد ساحل بلوچستان به طول حدوداً ۱۰۰۰ کیلومتر از راس الکوهر در غرب جاسک (ایران) تا شرق لاسبه در نزدیکی بندر کراچی (پاکستان) گفته می‌شود (مصاحب، ۱۳۸۳).

در این مطالعه، جهت دریافت داده‌های موقعیت مکانی حوضه آبی مکران از داده‌های سازمان آبنگاری بین‌المللی (IHO) استفاده شد. این سازمان نقش مهمی در تعیین حدود دریاها و



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و عمق حوضه آبی مکران (نقاط سفید حاوی اطلاعات پایگاه داده WOA18 و خطوط قرمز ترانسکت‌های انتخابی جهت بررسی مقطع عرضی عمودی از سطح تا بستر است)

اکسیژن محلول، درصد اشباع اکسیژن، مصرف ظاهری اکسیژن، رسانایی و عمق لایه آمیخته بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ است که در این پژوهش از داده‌های دما، شوری و چگالی در لایه‌های عمقی استاندارد آن مجموعه داده استفاده شده است. قدرت تفکیک مکانی داده‌های WOA18، یک چهارم درجه عرض جغرافیایی است که به صورت ماهیانه، فصلی و سالیانه ارائه می‌شود که در این جا فقط از داده‌های فصلی و سالیانه استفاده گردید. جهت پردازش و ترسیم نقشه‌های دما، شوری و چگالی در سطح و مقطع عرضی‌های عمقی، اقدام به مرتب‌سازی داده‌ها شد. جهت بررسی کمیت‌های فیزیکی دما، شوری و چگالی در حوضه آبی مکران، پس از رسم نقشه‌ی عمق‌سنجی، خطوط عمود بر

۲-۲. داده‌ها

در این مطالعه‌ی حوضه آبی مکران، از داده‌های WOA18 (<https://www.ncei.noaa.gov/access/world-ocean-atlas-2018/>) مربوط به سازمان ملی اقیانوسی و جوی (National Oceanic and Atmospheric Administration) با علامت اختصار NOAA استفاده شده است. این پایگاه با استفاده از مجموعه داده‌هایی که از وسایلی مانند: SUR, XBT, MBT, GLD, OSD, CTD, UOR, DRB, PFL, MRB, در طول گشت‌های دریایی محققین مختلف که در این سالیان انجام شده، تهیه شده است (لوکارینی و همکاران، ۲۰۱۸؛ زوینگ و همکاران، ۲۰۱۹). این اطلس حاوی داده‌های میانگین‌گیری شده‌ی گوناگونی مانند دما، شوری، چگالی، نترات، سیلیکات، فسفات،

فاصله بین مقاطع عرضی دو درجه در طول جغرافیایی بود. لازم به ذکر است که این مقاطع عرضی عمدتاً تا عمق ۱۹۵۰ متری داده در اختیار داشتند اما یکسان برای فصول نبود و هر کمیت، تغییراتی در خصوص بیشینه اطلاعات داده آن کمیت تا عمق خاصی در اختیار داشت که جدول ۲، جزئیات آن را نشان می‌دهد.

ساحل به صورت مقاطع عرضی جهت بررسی مقطع عرضی سطح تا بستر ترسیم شد. محل قرارگیری این مقاطع عرضی در شکل ۱ نشان داده شده است و موقعیت ابتدا و انتهای آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. این مقاطع عرضی با توجه به عمق نواحی مختلف و در فاصله یکسان از یکدیگر انتخاب شده‌اند. در هر مقطع عرضی، چند ایستگاه مشخص شده که همان داده‌های استخراج شده از عمق صفر تا ۲۰۰۰ متر است.

جدول ۱. موقعیت قرارگیری مقاطع عرضی انتخابی پایگاه داده‌ای WOA18.

مقطع عرضی	موقعیت ابتدا		موقعیت انتها	
	طول جغرافیایی (°E)	عرض جغرافیایی (°N)	طول جغرافیایی (°E)	عرض جغرافیایی (°N)
t _a	۵۸/۱۲۵	۲۵/۳۷۵	۵۸/۱۲۵	۲۳/۳۷۵
t _b	۶۰/۱۲۵	۲۵/۱۲۵	۶۰/۱۲۵	۲۳/۳۷۵
t _c	۶۲/۱۲۵	۲۴/۱۷۵	۶۲/۱۲۵	۲۳/۳۷۵
t _d	۶۴/۱۲۵	۲۴/۱۷۵	۶۴/۱۲۵	۲۳/۳۷۵

جدول ۲. حداکثر عمق داده‌های کمیت‌های مورد مطالعه در پایگاه WOA18 با توجه به فصل‌های مختلف و سالیانه.

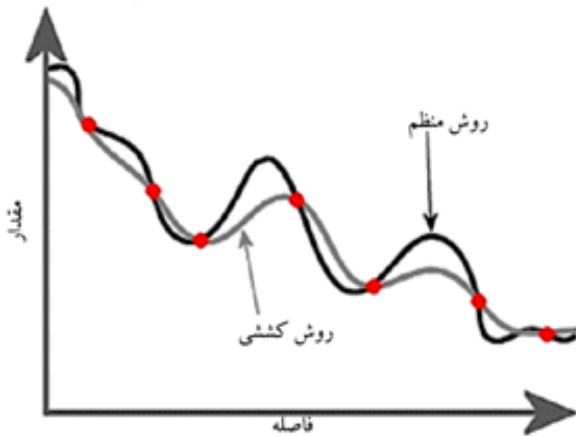
مقطع عرضی	بهار (m)			تابستان (m)			پاییز (m)			زمستان (m)			حداکثر عمق داده در فصل		
	دما	شوری	چگالی	دما	شوری	چگالی	دما	شوری	چگالی	دما	شوری	چگالی	دما	شوری	چگالی
t _a	۱۷۵۰	۱۷۵۰	۱۷۵۰	۱۱۵۰	۱۱۵۰	۱۱۵۰	۱۱۵۰	۱۱۵۰	۱۱۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰
t _b	۱۹۰۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰
t _c	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰
t _d	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰	۱۹۵۰

۲-۳. تجزیه و تحلیل داده‌ها

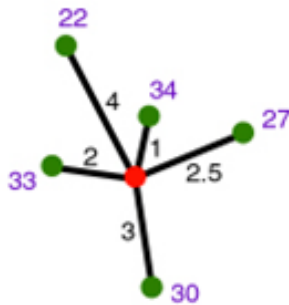
به منظور شناسایی و تحلیل نحوه تغییرات پارامترهای دمای سطحی یا SST (Sea surface Temperature) بر حسب درجه سانتی‌گراد (°C)، شوری سطحی یا SSS (Sea surface salinity) بر حسب PSU که واحد عملی شوری (Practical Salinity Units) است و چگالی سطحی یا SSD (Sea surface Density) بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب (kg m⁻³)، نقشه‌های سطح به تفکیک سه کمیت در فصول سال و سالیانه رسم شد. برای نقشه‌های سطحی از درون‌یابی داده‌های مرتب شده در ArcGIS 10.8.2 (نسخه ۱۰) استفاده شد. درون‌یابی و رسم چنین نقشه‌هایی با روش‌های متعددی مانند کریجینگ (Kriging)، اسپلاین

(Spline)، نزدیک‌ترین همسایه طبیعی (Natural Neighbor) و IDW انجام می‌شود که در این پژوهش از روش اسپلاین استفاده شده است. در محاسبات عددی، روش درون‌یابی اسپلاین، یک روش درون‌یابی است که در آن، درون‌یاب، نوع خاصی از یک چندجمله‌ای تکه‌ای است که اسپلاین نامیده می‌شود. درون‌یابی اسپلاین اغلب نسبت به درون‌یابی چندجمله‌ای ترجیح داده می‌شود، زیرا حتی وقتی از چندجمله‌ای‌هایی با درجه پایین‌تر برای اسپلاین استفاده می‌شود، خطای درون‌یابی کم است. معادله کلی درون‌یابی اسپلاین طبق رابطه (۱) است.

$$S_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^n \lambda_j R(r_j) \quad (1)$$



شکل ۲. اتصال خط اسپلاین به نقاط معلوم و نحوه درونیابی داده‌ها در دو روش اسپلاین منظم و کشتی (جوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶)



شکل ۳. نمونه‌ای عملی از محاسبه مقادیر برای یک نقطه مجهول با استفاده از درونیابی IDW با توان دو

بعد از ترسیم مقاطع عرضی، نمودار میانگین داده‌ها، در نرم‌افزار Grapher 2020 ترسیم شد. به منظور شناخت لایه بالایی، علاوه بر ترسیم کلی ستون آب تا عمق ۱۹۵۰ متر، ۲۰۰ متر بالایی حوضه آبی مکران نیز جداگانه ترسیم شد تا بررسی لایه آمیخته و تغییرات فصلی آن محقق شود.

۳. اندازه‌گیری، مشاهده و محاسبه

۳-۱. نتایج سطحی

شکل ۴، نقشه سطحی دما را به صورت فصلی و سالیانه و جدول ۳، بیشینه و کمینه آن را در آب‌های سطحی نشان می‌دهد. به خوبی دیده می‌شود که تغییرات دما در حوضه آبی مکران در فصل زمستان بین $21/5^{\circ}\text{C}$ تا 26°C و که میانگین کمینه دما مربوط به سواحل شمالی این منطقه می‌باشد. در فصل بهار بین $25/5^{\circ}\text{C}$ تا $32/5^{\circ}\text{C}$ که تقریباً به صورت یکنواخت در منطقه پراکنده شده است، در تابستان دما بین 26°C تا 33°C و در فصل پاییز بین 24°C تا $31/5^{\circ}\text{C}$

درونیابی اسپلاین از پدیده رونگه (Runge's Phenomenon) جلوگیری می‌کند. در پدیده رونگه، هنگام استفاده از چند جمله‌ای‌های مرتبه بالاتر در درونیابی، ممکن است نوسان بین نقاط رخ دهد. درونیابی اسپلاین به دو روش منظم و کشتی انجام می‌شود که در این مطالعه از روش اسپلاین منظم برای نقشه‌های سطح آب استفاده شده است. در روش منظم، صفحه اسپلاین، به صورت هموار کش و قوس پیدا می‌کند و به نقاط معلوم متصل می‌شود. بنابراین نتیجه این روش یک سطح هموار می‌باشد که البته دقت درونیابی کمتری دارد. در روش کشتی نیز صفحه اسپلاین به صورت ناهموار و تند و تیز کشیده شده و به نقاط معلوم متصل می‌شود. بنابراین نتیجه این روش سطحی ناهموار و البته دقت درونیابی بیشتر است (جوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). شکل ۲، تفاوت دو روش را نشان می‌دهد.

سپس با استفاده از نرم‌افزار Surfer 2020 با استفاده از روش درونیابی IDW نقشه‌های مقاطع عرضی (جدول ۱ و ۲) از سطح تا عمقی که داده در هر ایستگاه در اختیار بود ترسیم گردید. روش درونیابی IDW در پژوهش‌های مختلفی (مورالس و همکاران (۲۰۱۹)، علی و همکاران، (۲۰۱۳)؛ هوجو و باندلا، (۲۰۱۶)؛ جیانگ و همکاران، (۲۰۱۹)، سلانو و همکاران (۲۰۱۹)) استفاده می‌شود. در روش IDW، فرض بر آن است که میزان همبستگی و همانندی بین نقاط داده مجاور با فاصله بین آن‌ها متناسب است و می‌توان آن را به شکل تابعی با معکوس فاصله از هر نقطه همسایه بیان کرد. این روش در حالتی که نقاط نمونه به مقدار کافی با پراکنش مناسب در سطوح مقیاس محلی موجود باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه (۲) اساس کار این روش را برای شکل ۳، به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

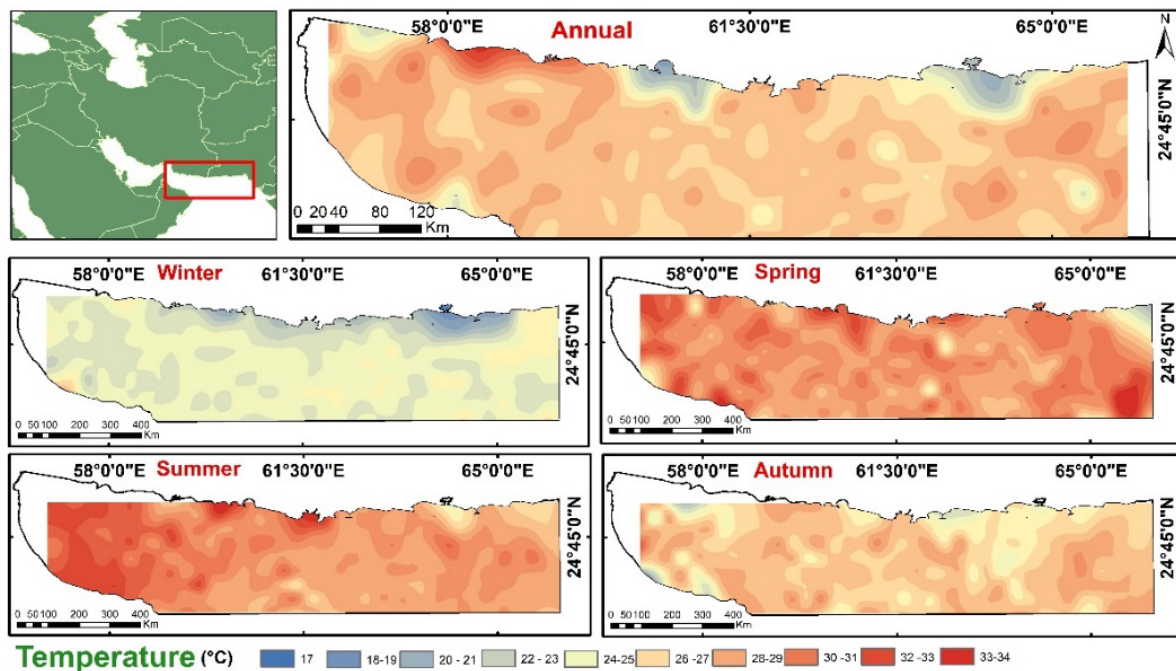
$$Z(x) = \frac{\sum w_i z_i}{\sum w_i} = \frac{34}{1^2} + \frac{33}{2^2} + \frac{27}{2.5^2} + \frac{30}{3^2} + \frac{22}{4^2} = \frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2.5^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} = 32.38 \quad (2)$$

است و از این رو نقش کلیدی توپوگرافی بر میزان تغییرات دما به علت اثرات اقلیمی و جوی در مناطق عمیق کمتر مشخص می‌شود. به عنوان مثال، تغییرات دما در بخش‌های مرکزی و جنوبی به سمت اقیانوس هند خیلی کمتر از سواحل شمالی و آب‌های نزدیک به تنگه هرمز می‌باشد که عمق کمتری دارند.

می‌باشد. بیشینه دما در منطقه مربوط به ناحیه غربی خلیج عمان نزدیک به تنگه هرمز می‌باشد. نقشه درون‌یابی شده‌ی داده‌های سالیانه‌ی WOA18، به خوبی نشان می‌دهد که میانگین سالیانه‌ی دما بین 27°C تا 30°C می‌باشد. نکته قابل توجه در تغییرات دمای سطحی این حوضه آبی (شکل ۴) و مقایسه با نقشه عمق‌سنجی منطقه (شکل ۱) نشان می‌دهد که در مناطقی که عمق بیشتر است، تغییرات دما نیز کمتر

جدول ۳. بیشینه و کمینه داده‌های اندازه‌گیری شده کمیت‌های مورد مطالعه در لایه سطحی حوضه آبی مکران.

کمیت	بهار		تابستان		پاییز		زمستان		سالیانه	
	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
دمای سطح دریا یا SST ($^{\circ}\text{C}$)	۲۵/۵	۳۲/۵	۲۶/۰	۳۳/۰	۲۴/۰	۳۱/۵	۲۱/۵	۲۶/۰	۲۴/۵	۳۰/۰
شوری سطح دریا یا SSS (PSU)	۳۶/۰۲	۳۷/۱۳	۳۶/۱۰	۳۷/۳۳	۳۶/۱۴	۳۷/۲۱	۳۶/۰۰	۳۶/۹۰	۳۶/۱۰	۳۷/۱۰
چگالی سطح دریا یا SSD (kg m^{-3})	۲۲/۴۶	۲۴/۴۷	۲۲/۱۵	۲۳/۹۶	۲۲/۷۵	۲۴/۷۵	۲۴/۲۴	۲۵/۲۵	۲۲/۸۵	۲۵/۲۰



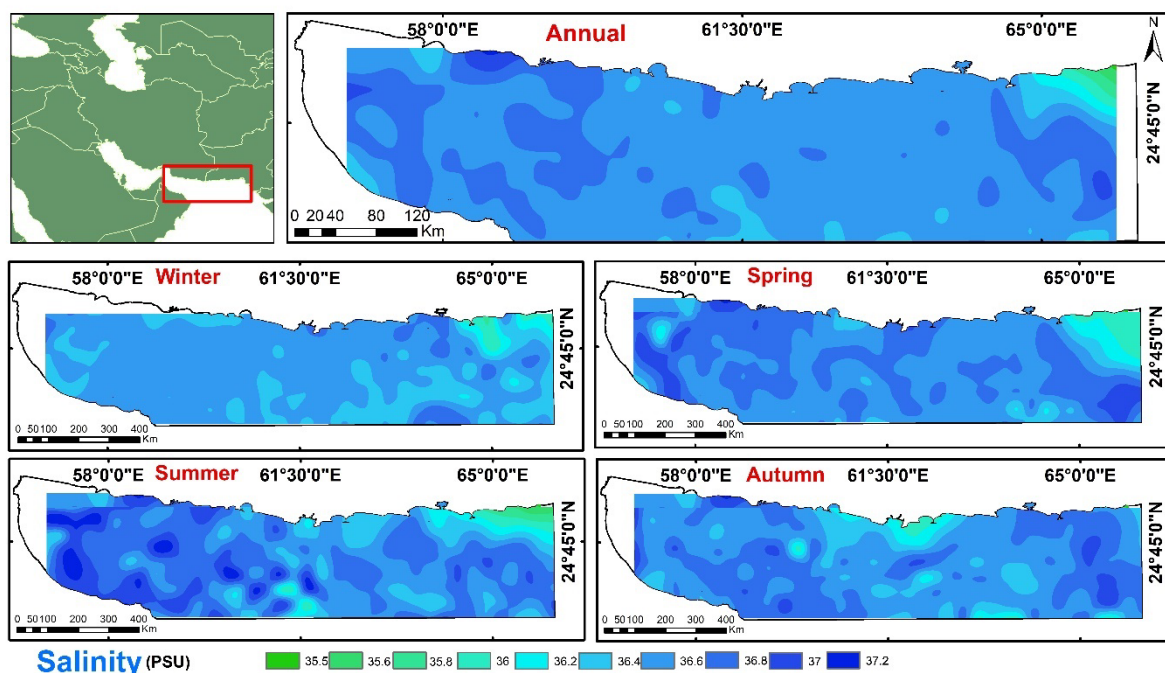
شکل ۴. نقشه میانگین دما سطحی حوضه آبی مکران (خلیج عمان و دریای عرب) در چهار فصل و سالیانه بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ بر اساس داده‌های پایگاه WOA18 (توجه: شدت تغییرات دما سطحی در قسمت شمالی منطقه به دلیل عدم یا کمبود داده‌های پایگاه WOA18 می‌باشد).

شوری $36/5$ PSU است و نسبت به بقیه فصول سال شوری سطحی آب دریا کمتر مشاهده می‌شود. در بهار، میانگین شوری $36/7$ PSU را نشان می‌دهد. در تابستان با شروع فعالیت مونسون و تغییرات شدید در لایه آمیخته، پراکندگی شوری به صورت محلی و نقطه‌ای در منطقه مشاهده می‌شود. همچنین احتمال می‌رود به دلیل بارش‌های مونسون، فصل

شوری سطحی (SSS) در شکل ۵ فراهم شده است. دیده می‌شود که در قسمت غربی حوضه نزدیک به تنگه هرمز شوری زیادی وجود دارد. شوری این منطقه بین $36/6$ PSU تا $37/2$ PSU است که نسبت به سایر ایستگاه‌های این حوضه شورتر است. تغییرات فصلی شوری سطحی آب دریا برای کمیتی مانند شوری، زیاد است. در فصل زمستان میانگین

Zirr Bay) و بندر گواتر کاهش شدید در شوری مشاهده می‌شود که به احتمال زیاد ناشی از افزایش دبی رودخانه‌های و ورود آب شیرین از رودخانه آکاراکاتور (Akara Kaur River) و رودخانه خور فالری کاتور (Faleri Kaur River) به خلیج پدی‌زر و رودخانه دشت‌رود به خلیج گوادر باعث کاهش میانگین شوری محلی در این منطقه شده است (شکل ۵).

تابستان در منطقه بلوچستان ایران و پاکستان و ورود رواناب و سیلاب ناشی از بارش‌های شدید مونسون به این حوضه، بخش‌های ساحلی این حوضه کاهش شدید شوری سطحی را نشان می‌دهد. اما با توجه به افزایش دما (شکل ۴)، شوری سطحی در تابستان در اکثر مناطق افزایش می‌یابد و میانگین شوری در تابستان ۳۷ PSU می‌شود. در پاییز، میانگین شوری حدود ۳۶/۸ PSU را نشان می‌دهد و در قسمت شمالی از خلیج گوادر (Gwadar Bay) تا خلیج پدی‌زر (Paddi



شکل ۵. نقشه میانگین شوری سطحی حوضه آبی مکران (خلیج عمان و دریای عرب) در چهار فصل و سالیانه بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ بر اساس داده‌های پایگاه WOA18 (توجه: شدت تغییرات شوری سطحی در شمال و شمال-شرق منطقه به دلیل عدم یا کمبود داده‌های پایگاه WOA18 می‌باشد).

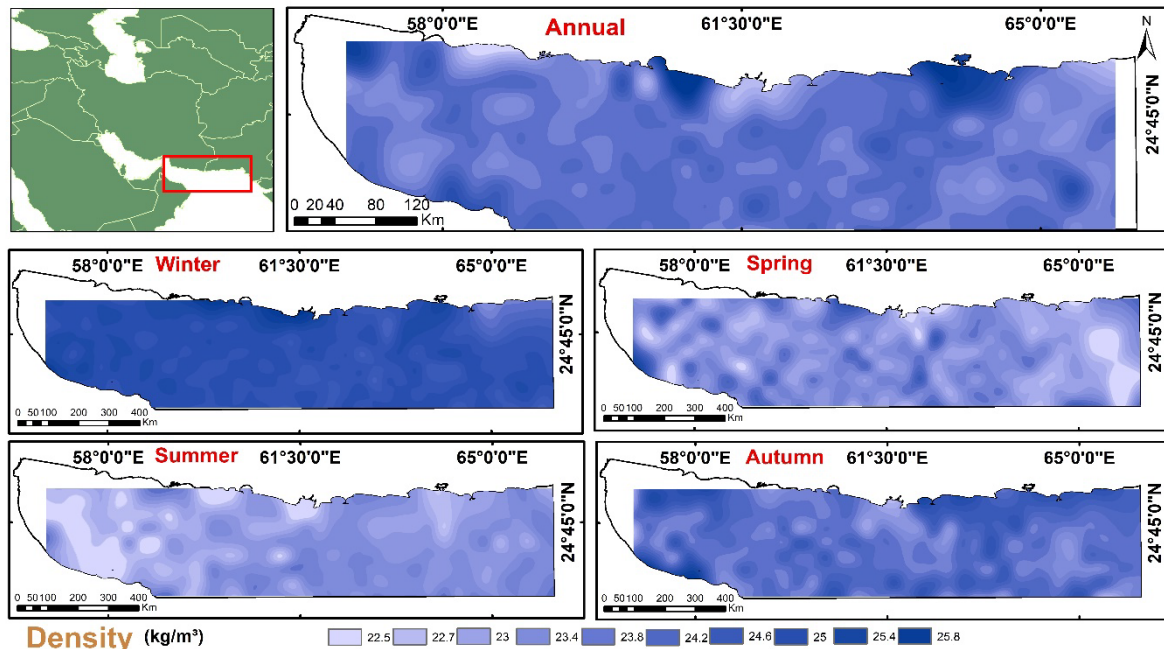
۳-۲۳ m-3 را خواهد داشت. همچنین در تابستان، چگالی kg m-3 ۲۴/۹ در سطح مشاهده می‌شود. با توجه به نقشه‌های درون‌یابی شده‌ی دما، شوری و چگالی سطح آب می‌توان این مفهوم را برداشت کرد که با افزایش دما سطح آب به دلیل تبخیر شورتر می‌شود و با توجه به اینکه آب شور چگالی بیشتری دارد، بنابراین آب‌های شور به لایه‌های پایین‌تر نفوذ می‌کنند، چگالی سطح آب در فصل‌های گرم کمتر می‌شود.

۳-۲. نتایج مقاطع عرضی

شکل ۶، نقشه‌های درون‌یابی شده‌ی داده‌های چگالی سطحی دریا در فصول مختلف و سالیانه منطقه مکران را نشان می‌دهد. به طور کلی، با افزایش دما (شکل ۴)، شیب تغییرات چگالی سطحی آب، منفی می‌شود و چگالی کاهش پیدا می‌کند. بیشترین تغییرات چگالی در بین فصل زمستان و تابستان دیده می‌شود. میانگین چگالی سطحی سالیانه حوضه آبی مکران ۲۴/۵ kg m-3 می‌باشد. در زمستان، چگالی در کل منطقه تا حدودی یکپارچه می‌شود و تغییرات در جابه‌جایی کاهش پیدا می‌کند و مقدار ۲۵/۷ kg m-3 را نشان می‌دهد. در بهار، با افزایش دما، چگالی سطحی آب کمتر می‌شود و مقدار kg

تغییرات سه کمیت دما، شوری و چگالی در نقشه‌های مقاطع عرضی سطح تا بستر حوضه آبی مکران، با استفاده از داده‌های پایگاه داده WOA18، با روش IDW در نرم‌افزارهای Surfer و Grapher به صورت فصلی و سالیانه در شکل‌های ۷ الی ۱۰ به ترتیب برای مقاطع عرضی tA، tB، tC و tD فراهم شده است.

تغییرات سه کمیت دما، شوری و چگالی در نقشه‌های مقاطع عرضی سطح تا بستر حوضه آبی مکران، با استفاده از داده‌های پایگاه داده WOA18، با روش IDW در نرم‌افزارهای



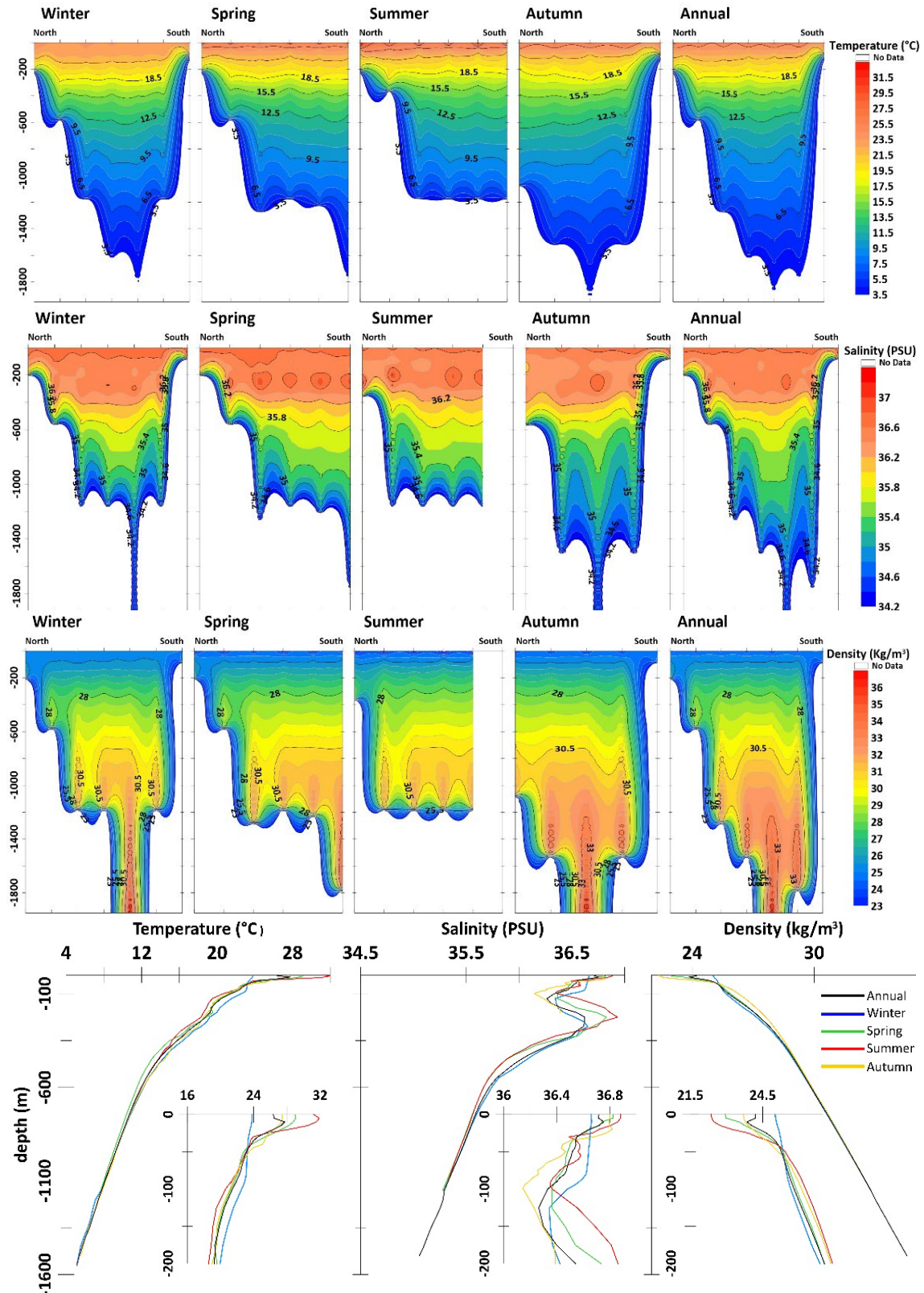
شکل ۶. نقشه میانگین چگالی سطحی حوضه آبی مکران (خلیج عمان و دریای عرب) در چهار فصل و سالیانه بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۷ بر اساس داده‌های پایگاه WOA18

در بررسی این نقشه‌ها مشخص شد که بیشترین تغییرات در مقاطع عرضی tA و tD رخ داده و در مقاطع عرضی tB و tC با توجه به همسان بودن شرایط عمقی وضعیت نسبتاً مشابهی در تغییرات مقطع عرضی سطح تا عمق ۲۰۰۰ متری مشاهده می‌شود. محدوده حائز اهمیت زیستی لایه آمیخته، ترموکلاين، هالو کلاين و پیکنو کلاين است که از عمق صفر تا ۲۰۰ متر بزرگنمایی آن رسم شده است و بیشترین شیب تغییرات پارامترها مشاهده می‌شود.

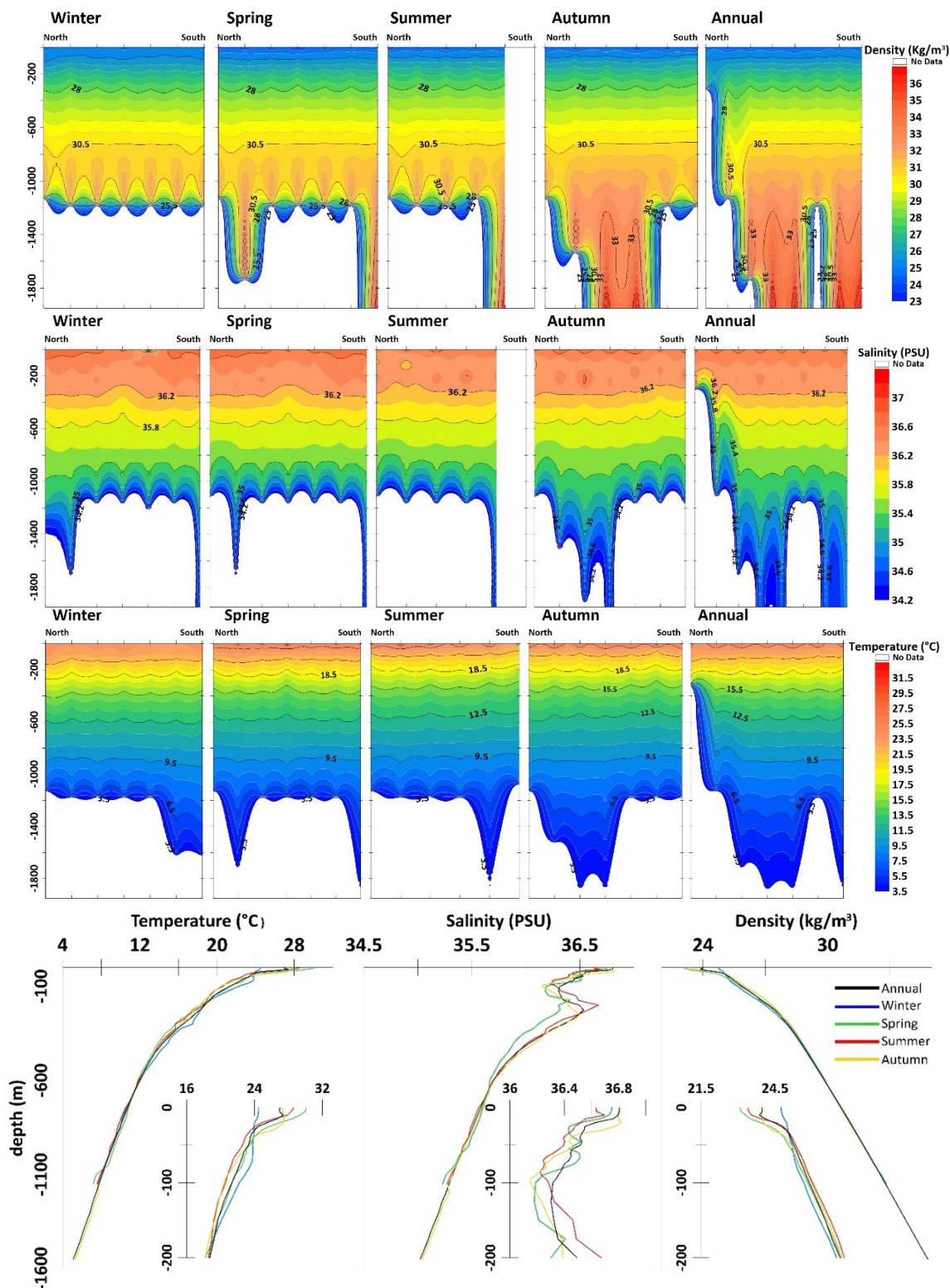
در شکل ۷، روند تغییرات عمودی پارامترهای مورد مطالعه در مقطع عرضی tA که از ساحل ایران تا عمان نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات لایه ترموکلاين بین فصل‌های زمستان و تابستان دیده می‌شود که متاثر از شرایط جوی و اقلیمی است. در مقطع عرضی دمای tA، در تابستان با شیب تغییرات نسبتاً شدید از عمق صفر با دمای ۳۲°C تا عمق ۲۰۰ متر به دمای ۱۸°C می‌رسد. در زمستان، کمترین شیب تغییرات دمایی در مقطع عرضی tA رخ می‌دهد که از سطح با دمای ۲۴°C به

در بررسی این نقشه‌ها مشخص شد که بیشترین تغییرات در مقاطع عرضی tA و tD رخ داده و در مقاطع عرضی tB و tC با توجه به همسان بودن شرایط عمقی وضعیت نسبتاً مشابهی در تغییرات مقطع عرضی سطح تا عمق ۲۰۰۰ متری مشاهده می‌شود. محدوده حائز اهمیت زیستی لایه آمیخته، ترموکلاين، هالو کلاين و پیکنو کلاين است که از عمق صفر تا ۲۰۰ متر بزرگنمایی آن رسم شده است و بیشترین شیب تغییرات پارامترها مشاهده می‌شود.

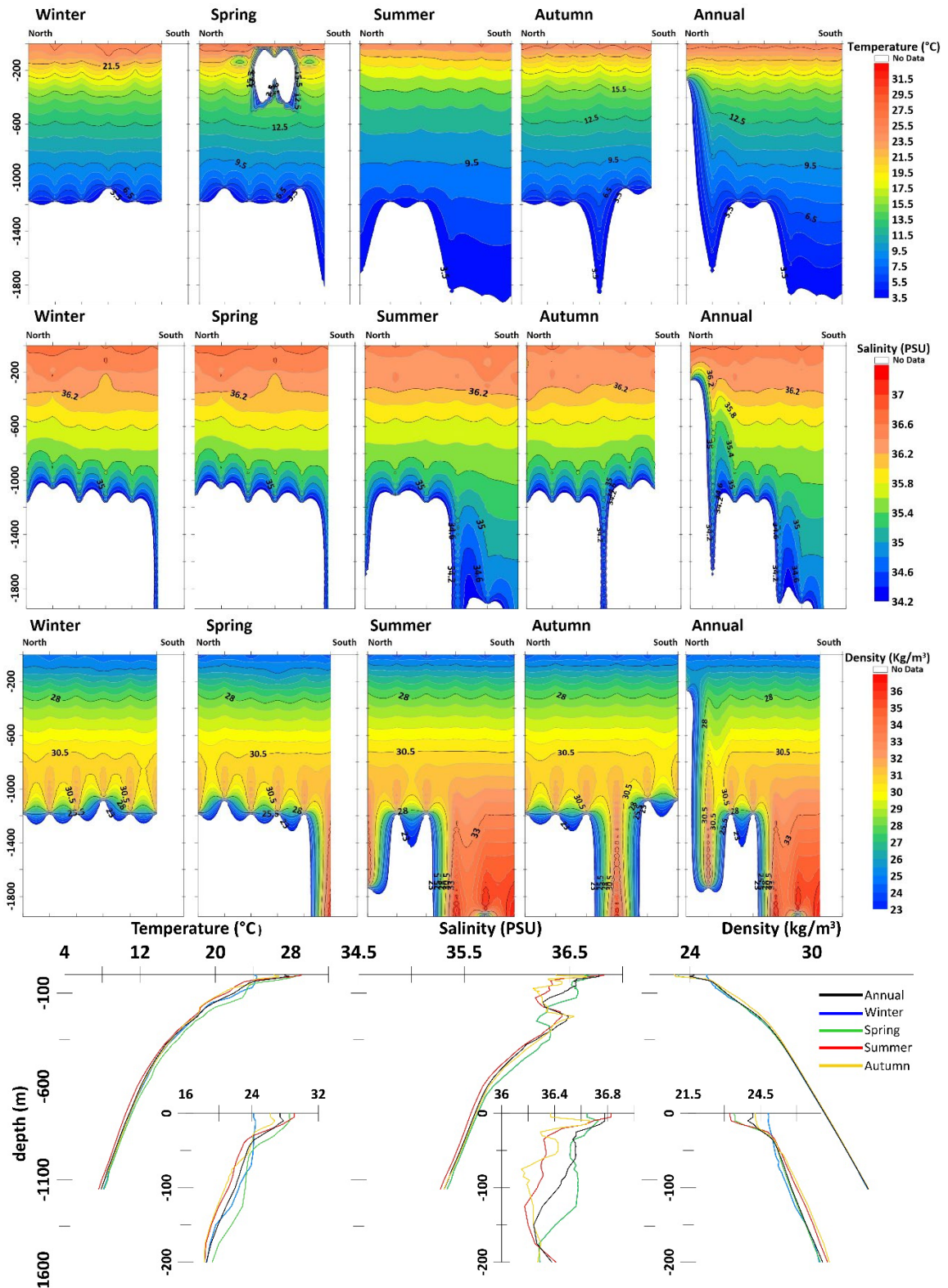
در شکل ۷، روند تغییرات عمودی پارامترهای مورد مطالعه در مقطع عرضی tA که از ساحل ایران تا عمان نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات لایه ترموکلاين بین فصل‌های زمستان و تابستان دیده می‌شود که متاثر از شرایط جوی و اقلیمی است. در مقطع عرضی دمای tA، در تابستان با شیب تغییرات نسبتاً شدید از عمق صفر با دمای ۳۲°C تا عمق ۲۰۰ متر به دمای ۱۸°C می‌رسد. در زمستان، کمترین شیب تغییرات دمایی در مقطع عرضی tA رخ می‌دهد که از سطح با دمای ۲۴°C به



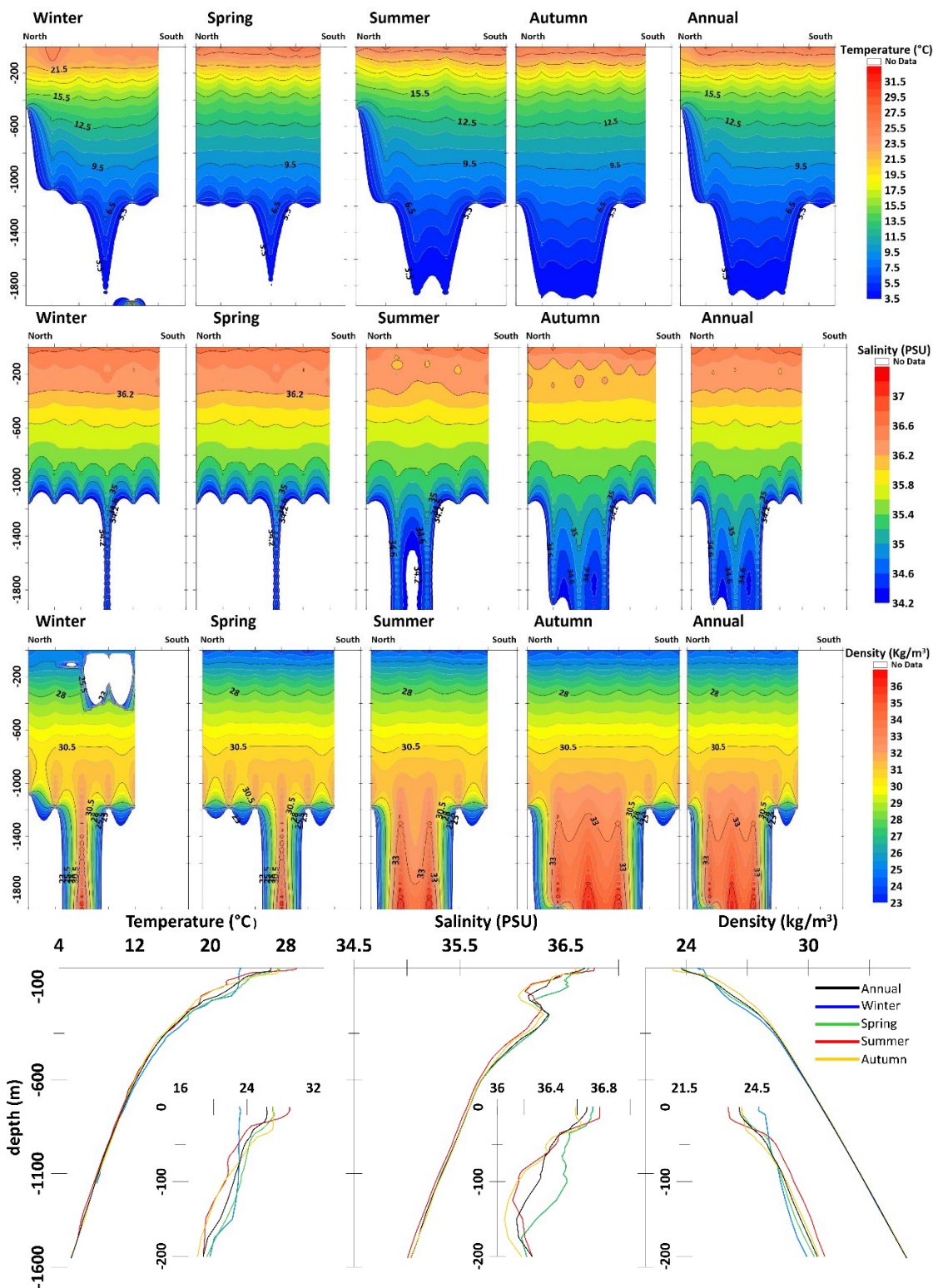
شکل ۷. دورن‌بایی مقطع عرضی عمودی (سطح تا بستر) میانگین دما، شوری و چگالی چهار فصل و سالیانه مقطع عرضی TA براساس داده‌های پایگاه WOA18. ردیف اول، مقطع عرضی دما؛ ردیف دوم، مقطع عرضی شوری؛ و ردیف سوم، مقطع عرضی چگالی است که در نرم‌افزار Surfer رسم شده است. ردیف چهارم هم میانگین هر سه کمیت دما و شوری و چگالی است که در نرم‌افزار Grapher ترسیم شده است.



شکل ۸. دورنمایی مقطعی عرضی عمودی (سطح تا بستر) میانگین دما، شوری و چگالی چهار فصل و سالیانه مقطع عرضی BOA18 براساس داده‌های پایگاه WOA18. توضیحات شکل، مشابه شکل ۷ است.



شکل ۹. دورن‌بایی مقطع عرضی عمودی (سطح تا بستر) میانگین دما، شوری و چگالی چهار فصل و سالیانه مقطع عرضی tC بر اساس داده‌های پایگاه WOA18. توضیحات شکل، مشابه شکل ۷ است.



شکل ۱۰. دورن‌بایی مقطع عرضی عمودی (سطح تا بستر) میانگین دما، شوری و چگالی چهار فصل و سالیانه مقطع عرضی TD بر اساس داده‌های پایگاه WOA18. توضیحات شکل، مشابه شکل ۷ است.

جنوبی به سمت اقیانوس هند خیلی کمتر از سواحل شمالی و آب‌های نزدیک به تنگه هرمز است که عمق کمتری دارد. یکی از مهم‌ترین پدیده‌های دریایی در اقیانوس هند شمالی و به ویژه حوضه مکران پدیده مونسون است. جریانات مونسون عامل مهمی در تغییرات سطح دریا است. این جریان‌ها در خلال مونسون زمستانه، آب با شوری پایین خلیج بنگال را به دریای عربی و در خلال مونسون تابستانه، آب با شوری بالای دریای عربی را به خلیج عمان انتقال می‌دهند (پرساناکومر و همکاران، ۲۰۰۴) و این شارش جریانی باعث تغییراتی در لایه‌ی سطحی اقیانوس و مشخصه‌های هیدروفیزیکی آب‌های دریای عربی و خلیج عمان می‌گردد. زیرا حجم آب انتقال یافته از خلیج بنگال به دریای عربی، نقش مهمی در تغییرات زمانی SSS در دریای عربی بازی می‌کند (گرونسیچ و همکاران، ۲۰۱۱). روند گرمایشی در اقیانوس هند سهم عمده‌ای در روند کلی میانگین SST جهانی دارد. تغییرات کوچک در SST منجر به پاسخ قابل توجهی به جو بالایی شده که باعث تغییرات اقلیمی منطقه‌ی و جهانی از طریق برهمکنش‌های جوی می‌گردد (نیادجرو و همکاران، ۲۰۱۲). پس حوضه آبی مکران تحت تاثیر تغییرات هیدروفیزیکی اقیانوس هند قرار دارد. از آنجایی که توده‌های آبی که بر خلیج عمان و دریای عرب تاثیر می‌گذارند شامل توده آب خلیج فارس (PGW)، توده آب سطحی اقیانوس هند (IOSW)، توده آب مرکزی اقیانوس هند (IOCW)، آب‌های ساحلی کشور عمان (OCC)، توده آب عمقی اقیانوس هند (IODW)، توده آب کف اقیانوس منجمد جنوبی (AABW) هستند (لشکری، ۱۴۰۱)، لذا شوری سطح بیشتر از جریان‌های سطحی متاثر می‌شود تا عمقی. نتایج SSS از این مطالعه نشان می‌دهد که در این منطقه مکران، SSS، به عواملی مانند جریانات ورودی از تنگه هرمز، آبریزهای رودخانه‌ها و مصب‌ها و توده‌های آب‌های اقیانوس هند و غیره بستگی دارد. در نقشه‌ی سالیانه‌ی SSS، براساس داده‌های WOA18، دیده می‌شود که قسمت غربی حوضه که نزدیک به تنگه هرمز می‌باشد، به دلیل وجود جریان خروجی از خلیج فارس که در این منطقه شامل توده آب بسیار شور خلیج

شوری مقاطع عرضی نشان می‌دهد که میزان شوری مقطع عرضی tA از سه مقطع عرضی دیگر (tC، tB، و tD) بیشتر است و این افزایش شوری به دلیل نزدیکی مقطع عرضی tA به تنگه هرمز و تاثیر خروج توده آب PGW از این تنگه است که شوری زیادی دارد. همچنین در این مقطع عرضی بیشترین نفوذ آب‌های با شوری زیاد در لایه‌های کم عمق در زمستان مشاهده می‌شود که با توجه به شکل ۵ که شوری سطحی است، در سطح، شوری آب کاهش می‌یابد و در این شوری به آب‌های زیر سطح نفوذ کرده است (شکل ۷). شیب تغییرات شوری در اغلب فصول و مقاطع عرضی تا عمق حدود ۱۰۰ متری کاهش شدید شوری را تحت تاثیر لایه هالوکلاین نشان می‌دهد. بیشترین شیب تغییرات شوری در لایه هالوکلاین مربوط به فصل پاییز است که در این بازه زمانی میانگین شوری آب از ۳۶/۸ PSU به ۳۶/۲ PSU کاهش پیدا کرده و کمترین شیب تغییرات شوری، همانند کمیت دما مربوط به فصل زمستان است.

با بررسی مقطع عرضی و نمودار سطح تا عمق چگالی آب در منطقه، می‌توان تخمین زد که از سطح تا عمق ۳۰ متری، آب منطقه مکران تحت تاثیر شرایط جوی و اقلیمی است و با افزایش و کاهش دمای فصلی، تغییرات چگالی نیز مشاهده می‌شود. در فصل گرم با افزایش دما با توجه به تبخیر و افزایش غلظت شوری لایه‌های سطحی آب، کاهش چگالی را نشان می‌دهد و در لایه‌های پایین‌تر تحت تاثیر لایه پیکنوکلاین روند تغییرات چگالی مثبت است و افزایش چگالی مشاهده می‌شود.

۴. بحث

حوضه آبی مکران و شمال اقیانوس هند به دلیل وارونگی‌های گردش سطحی با دیگر اقیانوس‌ها تفاوت چشمگیری دارد. نتایج نشان می‌دهد که SST در این حوضه آبی (شکل ۴)، در مناطقی که عمق بیشتر است (شکل ۱)، تغییرات دمای کمتری نیز دارد و از این رو نقش تغییرات عمق بر تغییرات دما مشخص می‌شود. تغییرات دما در بخش‌های مرکزی و

افزایش دما، تبخیر در منطقه افزایش می‌یابد و نمک به جا مانده از تبخیر، باعث افزایش شوری و در پی آن افزایش چگالی و نفوذ آب با چگالی بیشتر به لایه‌های پایین‌تر و کاهش چگالی در لایه‌های سطحی و بالعکس این رابطه در کاهش دما رخ می‌دهد. همچنین در این مطالعه مشخص شد که بیشترین افزایش دما و شوری در قسمت غربی منطقه رخ می‌دهد که تحت تاثیر ورود توده آب خلیج فارس که غلظت شوری زیادی دارد، می‌باشد. همچنین در مناطق ساحلی، ورود آب رودخانه‌ها و تغییرات عمق شرایط محیط را تغییر می‌دهند و نیروهای نزدیک هوا-دریا بر متغیرهای اقیانوسی تأثیر می‌گذارند و مطالعه هم‌زمان شرایط جوی و اقیانوسی می‌تواند فهم جامع‌تری از منطقه مکران را فراهم سازد.

۶. تشکر و قدردانی

در این پژوهش نویسندگان از سرکار خانم لشکری جهت اطلاعات مفید در مورد توده آب خلیج فارس کمال تشکر و قدردانی را دارند.

۷. منابع

۱. جوی‌زاده، س.، حدادی، س.، صادق درانی نژاد، م.، ۱۳۹۶. آمار فضایی (تحلیل داده‌های مکانی)، انتشارات آکادمیک، ۴۱۶ صفحه.
۲. رامک، ح.، سیوف جهرمی، م.، اکبری، پ.، ۱۴۰۰. ردیابی توده آب خلیج فارس با استفاده از ویژگی‌های دما و شوری سطحی، اقیانوس‌شناسی، دوره ۱۲، شماره ۴۸، صفحات ۲۸-۱۳.
۳. رامک، ح.، سیوف جهرمی، م.، اکبری، پ.، ۱۴۰۱ الف. استفاده از داده‌های دمای سطحی آب دریای عمان جهت شناسایی آب زیرسطحی خلیج فارس. هیدروفیزیک، دوره ۷، شماره ۲، صفحات ۷۹-۹۳.
۴. رامک، ح.، سیوف جهرمی، م.، اکبری، پ.، ۱۴۰۱ ب. بررسی شوری و دمای توده آب خلیج فارس با استفاده از مدل FVCOM، اقیانوس‌شناسی، دوره ۱۳، شماره ۵۲، صفحات ۱۰۶-۱۲۰. doi: 10.52547/joc.13.52.8

فارس است (رینولدز، ۱۹۹۳؛ پوز و همکاران، ۲۰۰۴؛ رامک و همکاران، ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ (الف و ب) و ۲۰۲۳؛ لشکری و همکاران، ۱۴۰۲)، شوری زیادی دارد. وجود توده آب خلیج فارس در شکل‌های شوری ۷ الی ۱۰ این مطالعه در عمق ۲۵۰ الی ۴۰۰ متری برای مقاطع عرضی دیده می‌شود که در توافق خوبی با مطالعه‌های رامک و همکاران (۱۴۰۰، ۱۴۰۱) (الف و ب) و ۲۰۲۳) و لشکری و همکاران (۱۴۰۲) است.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات فصلی شوری سطحی آب دریا چشم‌گیر است. این تغییرات فصلی شوری سطحی عمدتاً ناشی از تغییرات جوی و اقلیمی است. با افزایش دما، آب‌های سطحی گرم‌تر و شورتر می‌شوند که نشان‌دهنده تغییرات لایه آمیخته آب است. همچنین نتایج (شکل ۷) نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات لایه ترموکلاین در فصل‌های زمستان و تابستان است که تحت تاثیر تغییرات فصل و شرایط جوی و اقلیمی منطقه است. همچنین در مناطق ساحلی، ورود آب رودخانه‌ها شرایط محیط را تغییر می‌دهند. به طور کلی نیروهای نزدیک هوا-دریا به شدت بر متغیرهای اقیانوسی تأثیر می‌گذارند. همانطور که دمای سطح دریا تغییر می‌کند، اثرات همراه با آن همه اشکال زندگی را در نواحی مجاور تحت تأثیر قرار می‌دهد (ملاسماعیل‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). در زمستان، کمترین شیب تغییرات دمایی در مقطع عرضی نزدیک تنگه هرمز (TA) رخ می‌دهد که روند کاهشی آن تا دمای حدودا 4°C ادامه می‌یابد. لازم به ذکر است که در اعماق دریا و اقیانوس‌ها دمای آب در دمای حدود 4°C و کمتر می‌باشد. در نتایج مدل‌سازی رامک و همکاران (۱۴۰۱) (ب) نیز دمای آب‌های عمقی منطقه مکران حدود 4°C دیده می‌شود که در توافق با مطالعه حاضر است.

۵. نتیجه‌گیری

در این مطالعه بر اساس داده‌های سه کمیت دما، شوری و چگالی که از پایگاه داده‌ای WOA18 به صورت فصلی و سالیانه فراهم شده بود، می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات در لایه‌های ترموکلاین و هالوکلاین آب وابسته به یکدیگر هستند و با تغییرات در پیکنوکلاین رابطه مستقیم دارند. با

- eutrophication status and spatial trend in the coastal waters of Zhejiang province (China). *Limnology and Oceanography*, 64(1), pp.3–17.
15. Lashkari, S., Soyuf Jahromi, M., and Hamzei, S. (2023). Seasonal changes of the Outflow of Persian Gulf Water mass in the Gulf of Oman, *J. Oceanography (JOC)*, 14 (53), pp.103-122. doi: 10.52547/joc.14.53.9 (In Persian)
 16. Locarnini, M.M., Mishonov, A.V, Baranova, O.K., Boyer, T.P., Zweng, M. M., Garcia, H.E., Seidov, D., Weathers, K., Paver, C., and Smolyar, I. 2018. World ocean atlas 2018, volume 1: Temperature. Mishonov, A., Technical Editor. NOAA Atlas NESDIS 81, pp. 52. <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/indprod.html>.
 17. Morales, J., Stuart, V., Platt, T., and Sathyendranath, S. 2011. Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for Marine Living Resources Conservation and Management. Morales, J. (Ed.) EU PRESPO Project.
 18. Nyadjro, E.S., Subrahmanyam, B., Murty, V.S.N., and Shriver, J.F. 2012. The role of salinity on the dynamics of the Arabian Sea mini warm pool. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C9).
 19. Piontkovski, S. A., Hamza, W. M., Al-Abri, N. M., Al-Busaidi, S. S. Z., and Al-Hashmi, K. A. 2019. A comparison of seasonal variability of Arabian Gulf and the Sea of Oman pelagic ecosystems. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 22(2), pp.108–130.
 20. Pous, S., Carton, X., Lazure, P. (2004). Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 1. Strait of Hormuz. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C12).
 21. Prasanna Kumar, S., Narvekar, J., Kumar, A., Shaji, C., Anand, P., Sabu, P., Rijomon, G., Josia, J., Jayaraj, K. A., and Radhika, A. 2004. Intrusion of the Bay of Bengal water into the Arabian Sea during winter monsoon and associated chemical and biological response. *Geophysical Research Letters*, 31(15). doi: 10.1029/2004GL020247
 22. Ramak, H., Soyuf Jahromi, M., and Akbari, P. 2023. Investigating the downwelling of
 ۵. قادری، د. ، سلگی، م.، فرزین گهر، م. ۱۴۰۱. مطالعه مروری میزان دما و شوری آب‌های جنوب ایران در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲، با استفاده از داده‌های WOA13. نیوار، دوره ۴۶، شماره ۱۱۶–۱۱۷، صفحات ۱۱۷–۱۰۱. doi: 10.30467/nivar.2022.199862.1138
 ۶. لشکری، ش.، ۱۴۰۱. ردیابی توده آب خلیج فارس در دریای عمان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی WOA با نرم‌افزار ODV، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هرمزگان، ۲۱۶ صفحه.
 ۷. لشکری، ش.، سیوف جهرمی، م.، حمزه‌ئی، ص. ۱۴۰۲. تغییرات فصلی توده آب خلیج فارس در خلیج عمان، اقیانوس‌شناسی، دوره ۱۴، شماره ۵۳، صفحات ۱۰۳–۱۲۲. doi: 10.52547/joc.14.53.9
 ۸. مصاحب، غ.ح.، ۱۳۸۳. دایره‌المعارف فارسی (سرواژه مکران)، انتشارات امیرکبیر.
 ۹. ملاسماعیل‌پور، س.، محمدمهدیزاده، م. ، حسن‌زاده، ا. ، خلیل‌آبادی، م.، ۱۳۹۸. بررسی تغییرات دما و شوری سطح دریای عربی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷. دریا فنون، دوره ۶، شماره ۳، صفحات ۸۸–۹۷.
 10. Ali, A., Mohd Muslim, A., Lokman Husain, M., and Fadzil Akhir, M. 2013. Comparison of different Geostatistical Approaches to map Sea Surface Temperature (SST) of Southern South China Sea. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, pp. EGU2013-1594.
 11. Grunseich, G., Subrahmanyam, B., Murty, V.S.N., and Giese, B.S. 2011. Sea surface salinity variability during the Indian Ocean Dipole and ENSO events in the tropical Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C11).
 12. <https://www.ncei.noaa.gov/access/world-ocean-atlas-2018/>
 13. Huchhe, M.R., and Bandela, N.N. 2016. Study of water quality parameter assessment using GIS and remote sensing in DR. BAM University, Aurangabad, MS. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, 5(6), pp.46–50.
 14. Jiang, Q., He, J., Wu, J., Hu, X., Ye, G., and Christakos, G. 2019. Assessing the severe

- 270 (1), May 2019, pp.012047. IOP Publishing.
25. Yao, F., and Johns, W. E. 2010. A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 1. Model configurations and surface circulation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C11).
26. Zweng, M.M., Seidov, D., Boyer, T.P., Locarnini, M., Garcia, H.E., Mishonov, A.V, Baranova, O.K., Weathers, K., Paver, C.R., and Smolyar, I. 2019. World ocean atlas 2018, volume 2: Salinity. Mishonov, A., Technical Editor. NOAA Atlas NESDIS 82, pp. 50. <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/indprod.html>.
- Persian Gulf Water in the Gulf of Oman, *International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering (ijcoe)*, 8(1), pp. 1-9. doi: 10.22034/ijcoe.2023.166317
23. Reynolds, R. M. 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin*, 27, pp.35–59.
24. Selao, A., Malik, A. A., Yani, F. I., and Mallawa, A. 2019. Remote Chlorophyll-a and SST to Determination of Fish Potential Area in Makassar Strait Waters Using MODIS Satellite Data. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,