

## Seasonal sea water temperature changes of the Persian Gulf

Lashkari, S.<sup>1</sup> | Soyuf Jahromi, M.<sup>2</sup>  | Hamzei, S.<sup>3</sup> 

1. Master Science of physical oceanography, Department of Atmospheric and Oceanographic Sciences, Faculty of Marine Science and Twchnology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2. Associate Professor of physical oceanography, Department of Atmospheric and Oceanographic Sciences, Faculty of Marine Science and Twchnology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
3. Assistant Professor of physical oceanography, National Research Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences, Tehran, Iran.

**Corresponding Author E-mail:** [soyufjahromi@hormozgan.ac.ir](mailto:soyufjahromi@hormozgan.ac.ir)

(Received: 17 Nov 2025, Accepted: 31 Jan 2026, Published online: 01 Feb 2026)

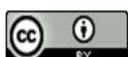
### Abstract

Temporal-spatial temperature patterns are one of the most important quantities in describing the physical structure of the sea. In this study, using data from the World Ocean Atlas (abbreviated as WOA2018) at every 10 m, the seasonal and depth patterns of temperature in the Persian Gulf have been investigated in three layers with a depth of zero (surface layer: SST\_PG), 30 m (middle layer: SMT\_PG), and 60 m (deep layer: SDT\_PG) using ODV software. The results indicate that, in general, from the surface to a depth of 50 m, the minimum temperature occurs in winter, and from a depth of 60 m and below, the minimum temperature occurs in spring. From the surface to a depth of 30 m, the maximum temperature occurs in summer, and from a depth of 40 to 80 m, the maximum temperature occurs in autumn. At a depth of 90 m, the maximum temperature occurs in winter. On the other hand, the surface temperature (SST) decreases in all seasons from east to west in the Persian Gulf. SST reaches a maximum of 34.32°C in summer and its minimum is related to winter (16.46°C). The maximum SST occurs in the southeast near Qatar and the United Arab Emirates and in the northwest (near Bandar Emam), due to the shallow depth and little exchange with the water of the Strait of Hormuz, in the form of warm and stagnant water. With increasing depth, while the temperature decreases, the range of temperature changes also decreases; but there is an exception; the minimum temperature in the winter season experiences an increase in temperature with increasing depth; the reason for this is that the surface waters are colder during the cold winter season. In other words, in autumn and winter, the temperature inversion is visible, meaning that the temperature at the surface is colder than the middle layer and the deep layer. At a depth of 60 m, in all seasons, the maximum temperature is observed at the beginning of the Persian Gulf, on the side of the Strait of Hormuz, which is related to the mass of warm water exiting the Persian Gulf called PGW. The maximum PGW temperature was observed in the autumn season with a temperature of 25.041 °C; also, in the vicinity of the Strait of Hormuz, a strong temperature gradient is also observed at a depth of 60 m, especially in the summer and autumn seasons when the PGW temperature is higher. Given that the formation of PGW depends on the degree of cooling and the temperature of the surface layer, the winter season can accelerate the formation of PGW.

**Keywords:** Persian Gulf, Temperature, Persian Gulf Water, Sea Surface Temperature, WOA2018

**Cite this article:** Shakila,L. , Soyuf Jahromi,M. and Samad,H. (2026). Seasonal sea water temperature changes of the Persian Gulf. (e239399). *Nivar*, (), e239399 doi: 10.30467/nivar.2026.541408.1360

**E-mail:** (1) [sh.lashkari.stu@hormozgan.ac.ir](mailto:sh.lashkari.stu@hormozgan.ac.ir) (3) [s\\_hamzei@inio.ac.ir](mailto:s_hamzei@inio.ac.ir)



## تغییرات فصلی دمای آب دریا در خلیج فارس

شکیلا لشکری<sup>۱</sup> | مریم سیوف جهرمی<sup>۲</sup> | صمد حمزئی<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد اقیانوس شناسی فیزیکی، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۲. دانشیار فیزیک دریا، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
۳. استادیار فیزیک دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: [soyufjahromi@hormozgan.ac.ir](mailto:soyufjahromi@hormozgan.ac.ir)

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲)

### چکیده

الگوهای زمانی - مکانی دما، یکی از کمیت‌های بسیار مهم در توصیف ساختار فیزیکی دریا است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های اطلس اقیانوسی جهانی (با علامت اختصار WOA2018) در هر ۱۰ m، به بررسی الگوهای فصلی و عمقی دما در خلیج فارس، در سه لایه با عمق صفر (لایه سطحی: SST\_PG)، ۳۰ m (لایه میانی: SMT\_PG) و ۶۰ m (لایه عمیق: SDT\_PG) با استفاده از نرم‌افزار ODV، پرداخته شده است. نتایج بیانگر آن است که به طور کلی، از سطح تا عمق ۵۰ m، کمینه دما در زمستان و از عمق ۶۰ m به بعد، کمینه دما در بهار رخ می‌دهد. از سطح تا عمق ۳۰ m، بیشینه دما در تابستان و از عمق ۴۰ m تا ۸۰ m، بیشینه دما در پاییز رخ می‌دهد. در عمق ۹۰ m نیز، بیشینه دما در زمستان رخ می‌دهد. از طرفی، دمای سطحی (SST) در تمامی فصول از شرق به غرب خلیج فارس روند کاهشی دارد. SST، در تابستان به بیشینه دمای ۳۴/۳۲°C می‌رسد و کمینه دمای آن، مربوط به زمستان (۱۶/۴۶°C) است. بیشینه دمای SST، در جنوب شرقی در مجاورت قطر و امارات متحده عربی و شمال غربی (مجاورت بندر امام)، به دلیل عمق کم و تبادل اندک با آب تنگه هرمز، به صورت آب گرم و راکد رخ می‌دهد. با افزایش عمق، ضمن کاهش دما، بازه تغییرات دما نیز کاهش می‌یابد؛ اما یک استثنا نیز وجود دارد؛ کمینه دما در فصل زمستان با افزایش عمق، افزایش دما را تجربه می‌کند؛ علت آن نیز سردتر بودن آب‌های سطحی در طی فصل سرد زمستان است. به عبارتی، در پاییز و زمستان، وارونگی دما قابل مشاهده است یعنی دما در سطح نسبت به لایه میانی و لایه عمیق سردتر است. در عمق ۶۰ m متر، در تمامی فصول بیشینه دما در ابتدای خلیج فارس، در سمت تنگه هرمز مشاهده می‌شود که این دما مربوط به توده آب گرم خروجی خلیج فارس با نام PGW است. بیشینه دمای PGW در فصل پاییز با دمای ۲۵/۰۴۱°C مشاهده شد؛ همچنین در مجاورت تنگه هرمز، گرادیان شدید دمایی در عمق ۶۰ m متر، به خصوص در فصول تابستان و پاییز که دمای PGW بیشتر است نیز مشاهده می‌شود. با توجه به این که تشکیل PGW به میزان خنک‌شدگی و دمای لایه سطحی بستگی دارد، لذا فصل زمستان می‌تواند تشکیل PGW سرعت را بکشد.

**کلیدواژه‌ها:** خلیج فارس، دما، توده آب خلیج فارس، دمای سطحی دریا، WOA2018

## ۱. مقدمه

دما اصلی‌ترین مؤلفه از داده‌های تاریخی است که ساختار فیزیکی دریا را توصیف می‌کند و شاخص مناسبی از تغییرات آب‌وهوایی است. به همین دلیل الگوهای زمانی - مکانی دمای آب دریا، همیشه مورد مطالعه قرار می‌گیرند (Piontkovski & Chiffings, 2014). این موضوع در دریاها و خلیج‌های حاشیه‌ای پیچیده‌تر است. خلیج فارس از این قاعده مستثنی نبوده و تغییرات زمانی و مکانی دما در کل خلیج فارس کم مورد مطالعه قرار گرفته است. با وجود اهمیت فوق‌العاده‌ی این راه تجاری، اطلاعات و مشاهدات اقیانوسی این منطقه بسیار اندک است که یکی از مهم‌ترین دلایل آن شلوغی خلیج به‌ویژه در قسمت تنگه هرمز است که لنگر انداختن طولانی مدت کشتی‌ها را جهت اندازه‌گیری مشکل می‌سازد. عامل دیگر، اختلافات سیاسی و اقتصادی کشورهای حاشیه آن است که دسترسی به مشاهدات و اندازه‌گیری‌های محدود انجام شده و تبادل آن‌ها را، به‌سهولت میسر نمی‌سازد. مطالعات متعددی در آب‌های ایران جهت بررسی‌های مختلف فیزیکی (سیوف‌جهرمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ سیوف‌جهرمی و رضایی‌پورمشیزی، ۱۳۹۸؛ امامی و همکاران، ۱۳۹۸؛ قاضی و همکاران، ۱۳۹۹؛ پورکریمیان و همکاران، ۱۴۰۰ الف و ب؛ سیوف‌جهرمی و دلیری، ۱۴۰۰؛ درس‌خوان و سیوف‌جهرمی، ۱۴۰۱؛ پاینده‌ی و همکاران، ۱۴۰۲) (Sadrinasab & Kämpf, 2004; Soyufjahromi & Emami, 2021; Paparella et al., 2022; Soyuf Jahromi, 2023) و زیستی (سیوف‌جهرمی و کشاورز، ۱۳۹۶؛ محمدی و کشاورز، ۱۴۰۳؛ کشاورز و پازوکی، ۱۴۰۴) (Dabbagh et al., 2019a,b; Keshavarz & Soyuf Jahromi, 2017) وجود دارد. دمای سطح دریا (SST) یک عامل مهم در اقیانوس‌شناسی فیزیکی است؛ زیرا در حرکت توده‌های آب (جریان‌ها، ادی‌های میان‌مقیاس و فراجوشی) از طریق چرخش‌های عمیق ترموهالین کمک می‌کند و بر توزیع گونه‌های دریایی تأثیر می‌گذارد (Chin et al., 2017). همچنین تغییرات لایه‌بندی دما، به شناسایی توده آب کمک شایانی می‌کند (لشکری و همکاران، ۱۴۰۲).

در مطالعات زیستی نیز، دما از اهمیت زیادی برخوردار است به‌گونه‌ای که افزایش دما به‌خصوص افزایش SST بر روی مرجان‌های دریایی تأثیرگذار است و حتی می‌تواند موجب سفیدشدگی مرجان‌ها شود (Levin et al., 2016; Wyatt et al., 2019; Javid et al., 2025) (کرمی و صیادی، ۱۴۰۲؛ جاوید و همکاران، ۱۴۰۳). تغییرات SST در خلیج فارس از حدود  $16^{\circ}\text{C}$  تا  $35^{\circ}\text{C}$  در نوسان گزارش شده است و آب‌سنگ‌های مرجانی خلیج فارس، مجبور به تحمل دمای زیادی هستند (جاوید و همکاران، ۱۴۰۳). در مطالعه‌ای بیان شده است که SST خلیج فارس، در مناطق شمال غربی و بخشی از جنوب، به دلیل این که آب بیشتر در معرض گرمای خورشید و محیط اطراف قرار دارد، مرجان‌های این مناطق، بیشتر در معرض خطر سفیدشدگی قرار دارند (کرمی و صیادی، ۱۴۰۲). تغییرات دمایی در شکل‌گیری جلبک (Glibert et al., 2018)، رشد و گسترش آن (فضلی و همکاران، ۱۴۰۱) هم نقش مؤثری بازی می‌کند. SST یک متغیر اساسی برای درک، نظارت و پیش‌بینی شار گرما، حرکت و گازها در مقیاس‌های مختلف است که تعامل پیچیده بین اقیانوس و جو را تعیین می‌کند (O'Carroll et al., 2019). مطالعات موجود از تغییرات دمای خلیج فارس با عمق آب نشان می‌دهد که هرچه عمق آب کمتر باشد، دمای آب بیشتر است. دمای آب از عرض جغرافیایی و جریان‌های دریایی هم تأثیر می‌گیرد که موجب می‌شود خلیج فارس دمای آب زیادی را تجربه کند (فاضل‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی تغییرات دما و ترموکلاین در خلیج فارس با استفاده از نتایج مدلسازی نشان می‌دهد که تغییرات ترموکلاین و دمای ستون آب در بهار نسبت به تابستان مشهودتر است. ترموکلاین تابستانه در کل خلیج فارس تشکیل می‌شود. ترموکلاین فصلی با تغییرات زمانی از زمستان تا اوایل تابستان به تدریج از تنگه هرمز تا شمال خلیج فارس گسترش می‌یابد (مسدد، ۱۴۰۱). به علاوه، داده‌های کاوشگر خلیج فارس در دو مقطع طی اردیبهشت ۱۳۹۸ در آب‌های ایرانی خلیج فارس نشان داد که بیشینه دما در مقطع شرقی

پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر این بود که شمال غربی خلیج فارس یک نقطه داغ گرمایی (Hot Spot) است. یکی از چالش‌های این‌گونه مطالعات دمایی خلیج فارس، بررسی هم‌زمان دمای آب در همه قسمت‌های خلیج و پوشش اعماق علاوه بر گستره سطحی می‌باشد. مطالعات دمای آب خلیج فارس به صورت پراکنده است و نیازمند استفاده از داده‌های معتبر، به‌روز و با قدرت تفکیک مناسب است. لذا پژوهش حاضر با استناد به یک مجموعه داده معتبر بین‌المللی که مطالعات به‌روز ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ در دنیا به آن‌ها استناد کرده‌اند و این داده‌های بین‌المللی، خلیج فارس را هم تحت پوشش قرار می‌دهد، به بررسی تغییرات فصلی دمای آب در خلیج فارس هم از نظر گستره افقی و هم از نظر قائم پرداخته است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس که در جنوب غربی آسیا واقع شده و از مصب اروندرود (به عنوان رود اصلی خلیج) تا شبه‌جزیره مسندم در عمان امتداد یافته است، دریای حاشیه‌ای نیمه بسته‌ای را بعد از پیوستن کارون، دجله و فرات به وجود آورده است (Emery, Reynolds, 1993; Reynolds, 1956). این حوضه آبی که از طریق تنگه هرمز به خلیج عمان، دریای عرب و اقیانوس هند متصل می‌شود به طور تقریبی در  $24^{\circ}\text{N}$  تا  $30^{\circ}\text{N}$  و  $48^{\circ}\text{E}$  تا  $56^{\circ}\text{E}$  از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد (Reynolds, 1993). این خلیج، سومین خلیج بزرگ جهان بعد از خلیج مکزیک و خلیج هودسن محسوب می‌شود (Emery, 1956) که رودخانه‌های فصلی دارد. مساحت خلیج فارس حدود  $2\text{ km}^2$ ،  $239000$ ، طول آن حدود  $990\text{ km}$ ، بیشینه عرض آن حدود  $330\text{ km}$ ، و عمق متوسط آن  $36\text{ m}$  و حجم آن حدود  $3\text{ km}^3$  است (Reynolds, 1993). مناطق عمیق خلیج فارس، بیشتر در قسمت شمال شرقی و در سواحل ایران واقع شده (بین  $90\text{ m}$  تا  $100\text{ m}$ ) و حداکثر عمق آن در نزدیکی تنگه هرمز است (Al-Majed et al., 2000) به‌طوری‌که عمیق‌ترین نقطه آن  $93\text{ m}$  بوده که در  $15\text{ km}$  جزیره تنب بزرگ و کم‌عمق‌ترین نقطه آن  $10\text{ m}$  -  $30\text{ m}$  بوده که در قسمت غربی

خلیج فارس و در لایه‌های سطحی تا عمق یک‌متری مشاهده شده که برابر با  $26/26^{\circ}\text{C}$  بوده و کمینه دما در مقطع غربی در عمق  $44$  متری مشاهده شده که دمای  $19/90^{\circ}\text{C}$  را دارا بوده است (پاینده‌ی و همکاران، ۱۴۰۲).

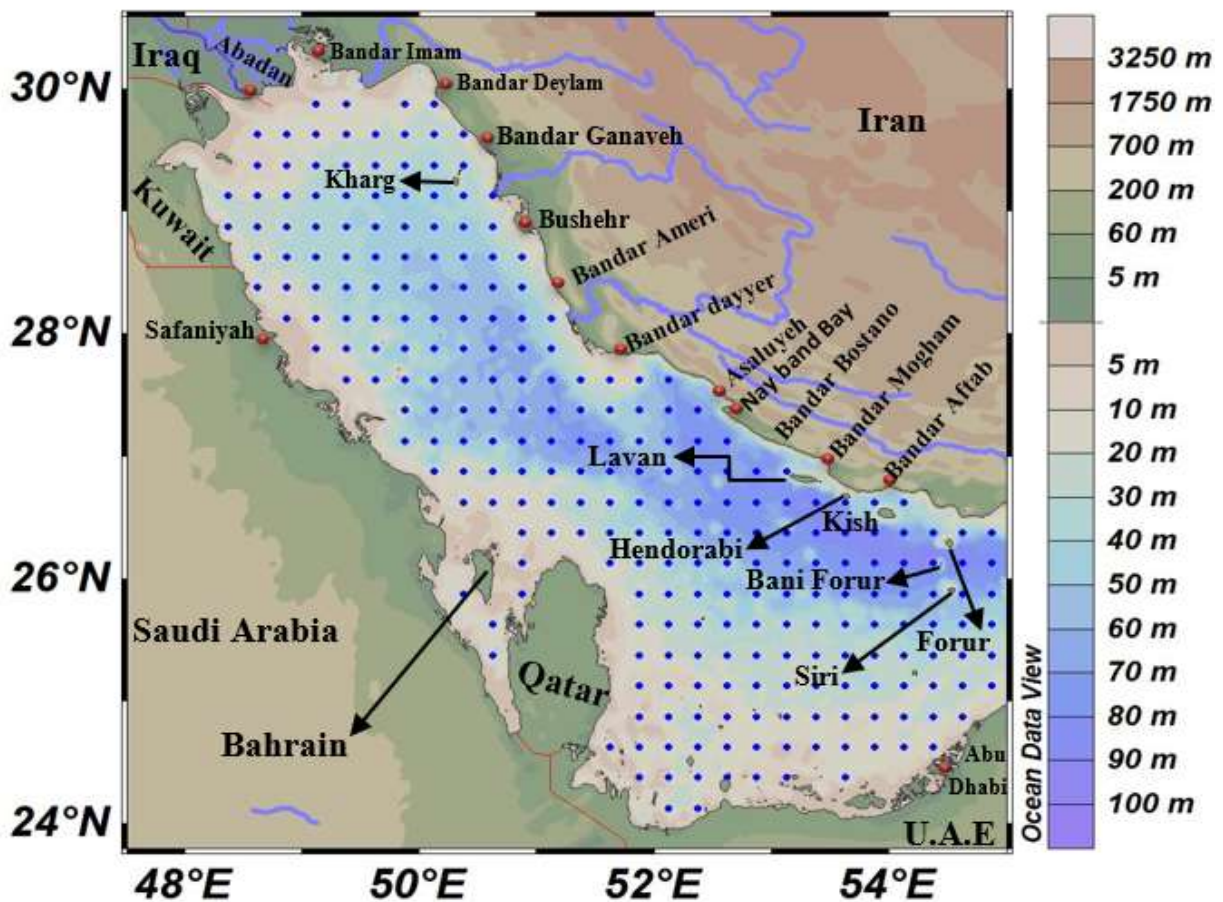
در بررسی بلندمدت تغییرات SST (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۰) در خلیج فارس و تحلیل ارتباط آن با شرایط جوی محلی با استفاده از داده‌های (GHRSSST) (Group for High Resolution Sea Surface Temperature)، داده‌های جوی (شامل بادهای سطحی، به‌ویژه باد شمال (Shamal) و فشار سطح دریا)، ERA5 (The 5th generation ECMWF atmospheric REanalysis of the global climate European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) استفاده شده است (Al Senafi, 2022). نتایج نشان داده است که میانگین دوره‌ای (average SST) خلیج فارس در ۳۹ سال گذشته  $26/7^{\circ}\text{C}$  بوده و شدت گرمایش (نرخ گرمایش) خلیج فارس  $0/41^{\circ}\text{C}$  در هر دهه بود. همچنین روند گرمایش مکانی SST خلیج فارس، شیب عرضی  $0/22^{\circ}\text{C}$  تا  $0/59^{\circ}\text{C}$  در دهه گزارش شد که از جنوب به شمال، روند تندتری دارد. تنها استثنا در این روند در نوک شمالی نزدیک محل تخلیه رودخانه اروندرود رخ می‌دهد؛ که نرخ گرمایش  $0/41^{\circ}\text{C}$  در هر دهه (کنندتر از آب‌های شمالی اطراف  $0/5^{\circ}\text{C}$ ) در هر دهه است. نوسانات زیادی در SST خلیج فارس مشاهده شد، به طوری که کمینه و بیشینه میانگین دمای سطح دریا ثبت شده به ترتیب  $11/7^{\circ}\text{C}$  و  $26/7^{\circ}\text{C}$  بود (Al Senafi, 2022).

(Alosairi et al., 2020) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری درجا (ایستگاه‌های سنجش ساحلی و بویه‌های کویت) و داده‌های تاریخی و ماهواره‌ای کمکی، همچون داده‌های دمایی NOAA و آرشیو ماهواره‌ای AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) جهت صحت‌سنجی داده‌ها، به بررسی SST شمال غربی خلیج فارس در پنج سال متوالی (تابستان ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰)

مطالعه به کار برده می‌شود. شناخته‌شده‌ترین پدیده‌های آب و هوایی در PG، باد غالب شمال غربی معروف به باد شمال (Shamal) است (Pous et al., 2013; Yu et al., 2016; ) که (Rao et al., 2001 & 2003; Aboobacker, 2024) تشدید این بادها مرتبط با طوفان‌های گردوغبار (بیرانوند و همکاران، ۱۴۰۳) است که آب دریا را با ریزمغذی‌ها بارور می‌کند (Ghafarian et al., 2022; Al-Najjar et al., ) و در صورت شدت طوفان‌های گرد و غبار، شکوفایی فیتوپلانکتون‌های منطقه‌ای به دنبال آن رخ می‌دهد (Nezlin et al., 2010). سرعت باد شمال در زمستان (۵ m/s) کمی بیشتر از تابستان (۳ m/s) است و سبب افزایش تبادل دما بین جو و دریا می‌شود که منجر به کاهش دمای سطح دریا می‌گردد (Prasad and Hogan, 2000).

قرار دارد (لایقی و همکاران، ۱۳۹۶). اگرچه اخیراً طبق داده‌های اندازه‌گیری اعماق بیشتر در خلیج فارس به صورت گودال‌های عمیق با عمق حدود ۱۸۰ m (محمدپور و همکاران، ۱۴۰۴) (Mohammadpour et al., 2026) گزارش شده‌اند، اما به طور کلی نواحی عمیق خلیج فارس در نزدیکی سواحل ایران واقع شده و مناطق مجاور قطر و بحرین بسیار کم‌عمق‌اند و اغلب عمقی در حدود چند متر دارند. منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، طول جغرافیایی  $5^{\circ}E$  و عرض جغرافیایی  $23/8-30/6^{\circ}N$  را در بر می‌گیرد (شکل ۱).

خلیج فارس منطقه‌ای کم‌عمق با عمق غالب کمتر از ۵۰ m است که رودخانه‌های دائمی و فصلی در شمال آن قرار دارد (شکل ۱). از این به بعد، جهت اختصار از نام مخفف خلیج فارس، یعنی PG (Persian Gulf) برای این منطقه در این



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه. نقاط آبی، مکان ایستگاه‌های WOA2018 را نمایش می‌دهد که از نرم افزار ODV استخراج گردیده است.

داده‌های (Environmental Information Global) GODAR جمع‌آوری شده در پروژه‌های (Oceanographic Data Archaeology and Rescue) WOD و (World Ocean Database) است (Locarnini et al., 2018).

داده‌های فصل بهار متوسط ماه‌های می (فروردین-اردیبهشت) تا ژوئن (خرداد-تیر)، داده‌های فصل تابستان متوسط ماه‌های ژوئیه (تیر-مرداد) تا سپتامبر (شهریور-مهر)، داده‌های فصل پاییز متوسط ماه‌های اکتبر (مهر-آبان) تا دسامبر (آذر-دی) و داده‌های فصل زمستان متوسط ماه‌های ژانویه (دی-بهمن) تا مارس (اسفند-فروردین) بود. دقت مکانی  $0.25^\circ$  طول و عرض جغرافیایی بود که نقاط آبی‌رنگ در شکل ۱، موقعیت شبکه‌ی این داده‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. به علاوه تغییرات مکانی عمق جهت استخراج داده‌های فصلی دمای خلیج فارس (PG)، هر ۱۰ m عمق، از عمق صفر تا ۹۰ m بود که جهت بررسی الگوهای زمانی-مکانی PG مورد استفاده قرار گرفت.

با توجه به این که عمق متوسط PG، ۳۶ m است (Reynolds, 1993)، لذا داده‌های موجود فصلی از سطح تا عمق ۹۰ m، هر ۱۰ m در اختیار قرار داشت. سه لایه اصلی در خلیج فارس انتخاب گردید. این سه لایه، یکی لایه سطحی (۰ m)، دیگری لایه‌ای در عمق ۳۰ m و نهایت لایه‌ای در عمق ۶۰ m به صورت صفحات افقی در نظر گرفته شد و مورد تحلیل قرار گرفت. دمای لایه با عمق صفر به عنوان دمای سطحی دریای خلیج فارس (Sea Surface Temperature of Persian Gulf) با نام اختصار SST\_PG، دمای لایه با عمق ۳۰ m به عنوان دمای میانی دریای خلیج فارس (Middle Temperature of Persian Gulf) با نام اختصار SMT\_PG و دمای لایه با عمق ۶۰ m به عنوان دمای عمیق دریای خلیج فارس (Sea Deep Temperature of Persian Gulf) با نام اختصار SDT\_PG نام‌گذاری شد.

اختلاف بین سطح و لایه‌های میانی و عمیق طبق رابطه (۱) الی (۴) محاسبه شد. دلیل انجام این کار، وجود مطالعات متعدد SST در خلیج فارس بود تا محققان با دانستن SST که اغلب

میانگین دمای سطح دریا (SST) در ۳۹ سال گذشته  $26.7^\circ\text{C}$  در خلیج فارس بوده و گرمایش در این مدت با نرخ  $0.22^\circ\text{C}$  تا  $0.59^\circ\text{C}$  در هر دهه رخ داده است (Al Senafi, 2022). گرمایش کلی، تغییرات فصلی را نشان می‌دهد؛ گرمایش در دوره‌های گذار پاییز (سپتامبر-اکتبر) و بهار (مارس-آوریل) با نرخ دو برابر زمستان (دسامبر-ژانویه) و تابستان (ژوئیه-آگوست) رخ داده است و در صورت ادامه این سرعت گرمایش، احتمال رویداد طوفان‌های شدید وجود دارد. گرمایش SST در اواسط زمستان و اواسط تابستان با سرعت کمتر از  $0.3^\circ\text{C}$  در هر دهه، کمترین سرعت را داشته است (Al Senafi & Anis, 2015; Al Senafi et al., 2019).

## ۲-۲. روش پژوهش

در این پژوهش از داده‌های اطلس اقیانوس جهانی (World Ocean Atlas) که به اختصار WOA نامیده می‌شود، استفاده شد. WOA شامل یک پایگاه داده‌های اقیانوسی معتبر با قدرت تفکیک مکانی  $0.25^\circ$  و  $1^\circ$  جغرافیایی است که از سوی سایت NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) تهیه شده است. در این پژوهش از داده‌های فصلی دمای منتشر شده در سال ۲۰۱۸، با پسوند odv که از آدرس سایت آن ([https://odv.awi.de/data/ocean/world-ocean-](https://odv.awi.de/data/ocean/world-ocean-atlas-2018)

atlas-2018) دانلود شده بود، استفاده شد. این داده‌های منتشر شده در سال ۲۰۱۸، در مطالعات به‌روز دنیا در سال‌های اخیر (Kolodziejczyk et al., 2024; Santos et al., 2024; Liu et al., 2024; Kusdiana et al., 2025; Yuan & Xu, 2025; Yang & Langdon, 2025; Mishonov et al., 2025) (لشکری، ۱۴۰۱؛ بهزادی و همکاران، ۱۴۰۳) مورد استفاده قرار گرفته است. منابع داده‌های دما در WOA، شامل بطری نمونه‌بردار، دماسنج‌های مکانیکی، دستگاه CTD (Conductivity Temperature Depth) (Depth Undulating Ocean) UOR، بویه‌های مهارشده و شناور، گلایدرها، ثبت‌کننده امواج اقیانوس‌شناسی (Recorder Data) و سنسورهای CTD نصب شده بر روی آن می‌باشد. داده‌های سطحی مورد استفاده در این پروژه از آرشیوهای NCEI (Noaa National Centers for

و همکاران، ۱۴۰۲؛ پاینده‌ی و همکاران، ۱۴۰۲)، هواشناسی (yu et al., 2021)، شیمی دریا (Aboobacker et al., 2021)، زیست دریا (Forsch et al., 2016; Gourain et al., 2019) و زمین‌شناسی دریا (Bao et al., 2019) و یا علوم بین رشته‌ای مانند ژئوشیمی (Wang et al., 2024) و زیست شیمی (Rakib et al., 2021) مورد استفاده قرار گرفته است.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. نتایج

جدول ۱، کمینه و بیشینه داده‌های فصلی را در هر ۱۰ m، نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود کمینه دمای آب PG، همواره در فصل زمستان و بیشینه آن همواره در فصل تابستان رخ نمی‌دهد و با تغییر عمق، فصل مربوط به بیشینه دما و یا کمینه آن تغییر می‌کند. در لایه‌های سطحی، در فصل زمستان کمینه دما رخ می‌دهد و در فصل تابستان، بیشینه دما اتفاق می‌افتد (جدول ۱). با رسیدن به میانه PG و عمق بیش از ۱۰ m، ۳۰، بیشینه دما به جای تابستان در فصل پاییز رخ می‌دهد. در عمق ۶۰ m، کمینه دما به جای زمستان، فصل بهار می‌شود. در اعماق ۹۰ m، که مناطق محدودی از PG هستند، فصل زمستان بیشینه دما و فصل بهار کمینه دما را دارد.

با پایش‌های ماهواره‌ای در دسترس محققان قرار دارد، بتوانند تخمینی از لایه‌های میانی و عمیق را براساس روابط (۱) الی (۴) و میزان افزایش یا کاهش دمای آن‌ها را با عمق به دست آورند.

$$\Delta T1_{\text{کمینه‌ها}} = \text{SMT\_PG}_{\text{کمینه}} - \text{SST\_PG}_{\text{کمینه}} \quad (۱)$$

$$\Delta T1_{\text{بیشینه‌ها}} = \text{SMT\_PG}_{\text{بیشینه}} - \text{SST\_PG}_{\text{کمینه}} \quad (۲)$$

$$\Delta T2_{\text{کمینه‌ها}} = \text{SDT\_PG}_{\text{کمینه}} - \text{SST\_PG}_{\text{کمینه}} \quad (۳)$$

$$\Delta T2_{\text{بیشینه‌ها}} = \text{SDT\_PG}_{\text{بیشینه}} - \text{SST\_PG}_{\text{کمینه}} \quad (۴)$$

برای تحلیل داده‌های دمای فصلی این سه لایه و ترسیم شکل‌ها، از بسته نرم‌افزاری Ocean Data View (به اختصار ODV) (Schlitzer, 2023) استفاده شد. این نرم‌افزار مربوط به مؤسسه آلفرد و گنر است. ODV یک بسته نرم‌افزاری رایگان برای کاوش و نمایش گرافیکی داده‌های اقیانوسی، داده‌های سری‌زمانی و داده‌های وابسته به مسیر و ترتیبی است. اگر چه این داده‌ها در اصل فقط برای مشاهدات اقیانوس‌شناسی فیزیکی توسعه یافته بود، اما زیربنای آن داده‌های سایر حوزه‌های علوم را در برمی‌گرفت که نمونه‌های متعددی از آن در دنیا وجود دارد. این نرم‌افزار در مطالعات علمی به روز دنیا و علوم مختلفی مانند فیزیک دریا (لشکری

جدول ۲- کمینه و بیشینه دمای (°C) در اعماق مختلف خلیج فارس به صورت فصلی

عمق (m)	بهار (Apr-Jun)		تابستان (Jul-Sep)		پاییز (Oct-Dec)		زمستان (Jan-Mar)		نتیجه سالیانه	اختلاف سالیانه‌ی دما (°C)
	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه		
۰	۲۹/۳۳	۲۳/۹۱	۲۹/۷۷	۳۴/۳۲	۲۴/۰۱	۳۱/۰۴	۱۶/۴۶	۲۴/۵۴	زمستان	تابستان
۱۰	۲۸/۳۷	۲۳/۰۸	۲۹/۲۹	۳۴/۱۴	۲۴/۱۰	۳۰/۳۸	۱۶/۱۲	۲۳/۷۳	زمستان	تابستان
۲۰	۲۶/۰۹	۱۹/۸۸	۲۷/۴۷	۳۲/۳۲	۲۳/۶۶	۲۸/۵۰	۱۵/۷۸	۲۲/۵۳	زمستان	تابستان
۳۰	۲۴/۲۳	۱۸/۶۲	۲۳/۹۵	۲۹/۳۷	۲۴/۰۵	۲۸/۰۵	۱۶/۹۹	۲۲/۶۱	زمستان	تابستان
۴۰	۲۲/۹۶	۱۹/۹۲	۲۲/۸۹	۲۷/۳۹	۲۴/۵۱	۲۷/۶۶	۱۸/۵۲	۲۲/۵۸	زمستان	پاییز
۵۰	۲۱/۸۷	۱۹/۳۹	۲۰/۷۷	۲۵/۶۳	۲۳/۴۲	۲۶/۸۲	۱۸/۸۹	۲۲/۳۹	زمستان	پاییز
۶۰	۲۱/۳۱	۱۸/۵۹	۲۰/۶۶	۲۳/۱۳	۲۲/۷۰	۲۵/۰۴	۱۹/۰۴	۲۲/۳۰	بهار	پاییز
۷۰	۲۰/۶۳	۱۸/۹۲	۲۰/۳۱	۲۲/۱۷	۲۱/۹۳	۲۳/۸۲	۱۹/۱۲	۲۲/۲۰	بهار	پاییز
۸۰	۲۰/۴۸	۱۹/۲۸	۱۹/۵۵	۲۱/۱۰	۲۱/۳۵	۲۲/۳۵	۲۱/۳۰	۲۲/۱۰	بهار	پاییز
۹۰	۲۰/۲۵	۱۹/۶۱	۱۹/۶۷	۲۰/۰۹	۲۱/۱۳	۲۱/۲۳	۲۱/۵۸	۲۱/۹۰	بهار	زمستان

قبول است. این ویژگی در اختلاف بین سطح و عمق ۶۰ m (رابطه ۳ و ۴)، در زمستان نیز دیده می‌شود. یعنی لایه ۶۰ متری در زمستان گرم‌تر از لایه سطحی است. به عبارتی، آب‌های سطحی نسبت به لایه ۳۰ متری در پاییز و زمستان و آب‌های سطحی نسبت به لایه ۶۰ متری در زمستان از آب‌های آن عمق خنک‌تر است؛ این بدان معناست که وارونگی دما در ستون آب رخ داده است یا آب گرم به لایه‌های پایین‌تر سقوط کرده است.

تغییرات دما از سطح تا عمق ۳۰ متری (آب‌های عمق میانی، روابط ۱ و ۲) و از سطح تا عمق ۶۰ متری (آب‌های عمیق، روابط ۳ و ۴) در جدول ۲ فراهم شده است. طبق جدول ۲، اختلاف کمینه‌ها در فصل بهار و تابستان بیش از اختلاف بیشینه‌ها در این دو فصل است. مقدار مثبت اختلاف در کمینه‌های دما مربوط به فصل پاییز و زمستان (از سطح به عمق ۳۰ m؛ رابطه ۱) بیانگر آن است که با افزایش عمق، لایه m گرم‌تر از لایه سطحی است که به دلیل تغییر فصل قابل

جدول ۲- اختلاف دما (بر حسب °C) بین سطح با عمق‌های ۳۰ m و ۶۰ m (رابطه‌های ۱ الی ۴)، در فصول مختلف PG

فصل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
کمینه‌ها $\Delta T1$	-۵/۲۹	-۵/۸۲	+۰/۰۴	+۰/۵۳
بیشینه‌ها $\Delta T1$	-۵/۱۰	-۴/۹۵	-۲/۹۹	-۱/۹۳
کمینه‌ها $\Delta T2$	-۵/۳۲	-۹/۱۱	-۱/۳۱	+۲/۵۸
بیشینه‌ها $\Delta T2$	-۸/۰۲	-۱۱/۱۹	-۶	-۲/۲۴

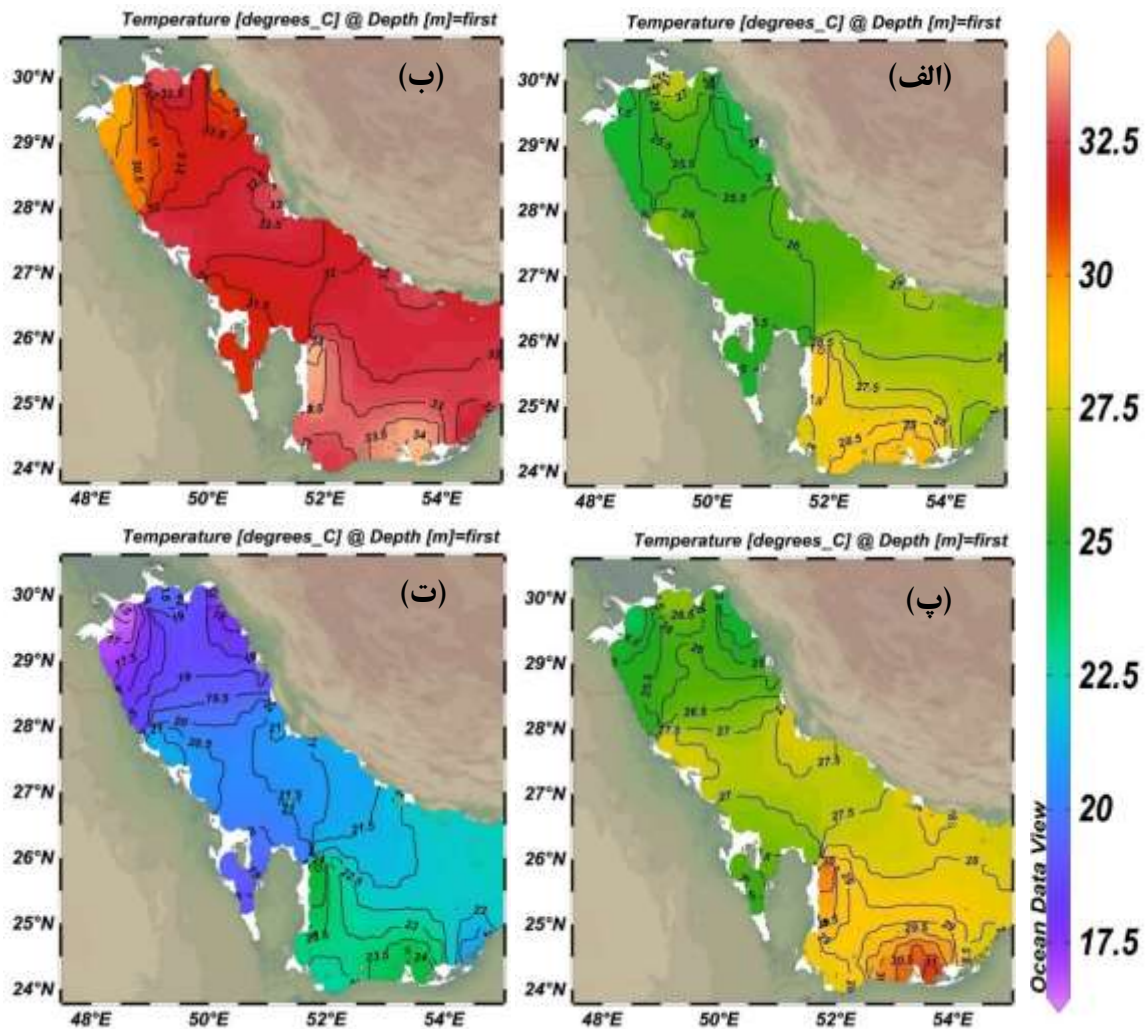
درد و بیشینه دمای آب سطحی در این فصل اتفاق می‌افتد (جدول ۱) اگرچه کمینه آن در زمستان (دمای °C ۱۶/۴۶) در جنوب غربی PG، در مجاورت کویت رخ می‌دهد. در تابستان (شکل ۲-ب)، منطقه‌ی گرم واقع در شرق PG، با خط هم‌دمای °C ۳۳ مشاهده می‌شود که نسبت به فصل بهار (شکل ۲-الف)، ۵°C افزایش دمای آب را نشان می‌دهد. به طور مشابه با فصل بهار، دو منطقه‌ی آب گرم‌تر در شرق قطر و امارات متحده عربی (به ترتیب با دماهای °C ۳۴/۰۹ و °C ۳۴/۳۲) در فصل تابستان نیز مشاهده می‌شود. این منطقه در پاییز (شکل ۲-پ) با خط هم‌دمای °C ۲۸/۵ مشاهده می‌شود که دمای مناطق گرم‌تر در شرق قطر و امارات متحده عربی به ترتیب °C ۳۰/۳۵ و °C ۳۱/۰۴ می‌باشد. در فصل زمستان (شکل ۲-ت) همین منطقه نسبت به فصل پاییز °C ۵/۵ کاهش دمای آب را تجربه می‌کند (خط هم‌دمای °C ۲۳، شکل ۲-ت) که مناطق گرم‌تر آن در شرق قطر (°C ۲۴/۵۵) و امارات متحده عربی (°C ۲۴/۲۱) است. همچنین، در انتهای PG، در مجاورت بندرامام، در شمال غربی PG، افزایش دمای آب (با دمای °C ۲۷/۵۴) در فصل

#### ۱- تغییرات فصلی دما در لایه سطحی خلیج فارس (SST\_PG)

در توزیع فصلی SST\_PG، (با گستره دمایی °C ۱۶/۴۶ تا °C ۳۴/۳۲) (جدول ۱)) دیده می‌شود که SST در هر چهار فصل از شرق به غرب کاهش می‌یابد (شکل ۲). الگوی نحوه کاهش دما در سطح، در این چهار فصل مشابه است. به طور کلی، در زمستان (شکل ۲-ت) و پاییز (شکل ۲-پ)، آب‌های شمال غرب PG، دمای کمتری را نسبت به بهار (شکل ۲-الف) و تابستان (شکل ۲-ب) تجربه می‌کنند. توزیع دمای سطحی در فصل بهار (شکل ۲-الف) در شرق PG (سواحل جنوبی)، منطقه‌ای گرم با خط هم‌دمای °C ۲۸ نشان می‌دهد که از شرق قطر به سمت امارات متحده عربی گسترش یافته و تغییرات فصلی دارد که در سایر فصول نیز این منطقه دیده می‌شود (شکل ۲-ب، پ و ت). در فصل بهار، در این قسمت جنوب شرقی، دو منطقه با آب گرم‌تر در شرق قطر (با بیشینه دمای °C ۲۹/۰۳) و امارات متحده عربی (با بیشینه دمای °C ۲۹/۳۳) دیده می‌شود. در تابستان، SST\_PG، در پاسخ به گرمایش تابستان افزایش

بهار و  $32/97^{\circ}\text{C}$  در فصل تابستان، در فصل پاییز) نیز مشاهده می‌شود. در فصل تابستان (شکل ۲-ب)، در مجاورت بندر عامری ( $28/12^{\circ}\text{N}$  و  $51/12^{\circ}\text{E}$ )، منطقه‌ی گرم کوچکی با دمای  $33/07^{\circ}\text{C}$  دیده می‌شود. به علاوه، در تابستان، کاهش چند درجه‌ای دما نسبت به محیط اطراف در غرب PG، به صورت دو منطقه با دمای آب اندکی خنک‌تر در مجاورت بندر دیلم و کویت (به ترتیب با دماهای

$30/18^{\circ}\text{C}$  و  $29/77^{\circ}\text{C}$ ) مشاهده می‌شود. در پاییز (شکل ۲-ب)، آب‌های شمال غرب PG، دمای کمتری را نسبت به تابستان (شکل ۲-ب) تجربه می‌کنند. مناطق با دمای آب کمی خنک‌تر در شمال غربی PG، یکی در مجاورت بندر دیلم (با دمای  $24/01^{\circ}\text{C}$ ) و دیگری در مجاورت خروجی اروندرود (با دمای  $24/03^{\circ}\text{C}$ ) مشاهده می‌شود.



شکل ۲- توزیع دمای فصلی در لایه‌ی سطحی خلیج فارس (SST\_PG) با استفاده از داده‌های WOA2018 با تفکیک فضایی  $0/25^{\circ}$  طول و عرض جغرافیایی. (الف: بهار؛ ب: تابستان؛ پ: پاییز؛ ت: زمستان).

تغییرات فصلی دما در لایه میانی خلیج فارس (SMT\_PG) توزیع دما در عمق ۳۰ متری (شکل ۳) که به عنوان لایه میانی PG (SMT\_PG)، معرفی شد، بیانگر آن است که در این عمق گستره SMT\_PG از  $16/99^{\circ}\text{C}$  در زمستان تا  $29/37^{\circ}\text{C}$  در تابستان متغیر است (جدول ۱). با حرکت از ابتدای PG (شرق) به انتهای PG (غرب)،  $5/61^{\circ}\text{C}$  کاهش SMT\_PG در بهار (شکل ۳-الف)، حدود  $3/58^{\circ}\text{C}$  کاهش SMT\_PG در تابستان (شکل ۳-ب)،  $4/00^{\circ}\text{C}$  کاهش SMT\_PG در پاییز (شکل ۳-پ)، و حدود  $2^{\circ}\text{C}$  در زمستان

تغییرات فصلی دما در لایه میانی خلیج فارس (SMT\_PG) توزیع دما در عمق ۳۰ متری (شکل ۳) که به عنوان لایه میانی PG (SMT\_PG)، معرفی شد، بیانگر آن است که در این عمق گستره SMT\_PG از  $16/99^{\circ}\text{C}$  در زمستان تا  $29/37^{\circ}\text{C}$  در تابستان متغیر است (جدول ۱). با حرکت از ابتدای PG (شرق) به انتهای PG (غرب)،  $5/61^{\circ}\text{C}$  کاهش SMT\_PG در بهار (شکل ۳-الف)، حدود  $3/58^{\circ}\text{C}$  کاهش SMT\_PG در تابستان (شکل ۳-ب)،  $4/00^{\circ}\text{C}$  کاهش SMT\_PG در پاییز (شکل ۳-پ)، و حدود  $2^{\circ}\text{C}$  در زمستان

(شکل ۳-ت) کاهش SMT\_PG اتفاق می‌افتد. به عبارتی، آب گرم‌تر در نزدیکی تنگه هرمز قرار دارد و در قسمت شمال غرب PG که منطقه‌ی کم‌عمق‌تری است (شکل ۱)، در هر چهار فصل آب خنک‌تری دیده می‌شود. این آب گرم در نزدیکی تنگه می‌تواند همان آب گرم خروجی با نام اختصار PGW (Persian Gulf Water) باشد که در بحث به آن بیشتر پرداخته می‌شود.

از طرفی دیگر، در فصل بهار (شکل ۳-الف) در شمال غرب خلیج یک منطقه از SMT\_PG با آب سرد (خط هم‌دمای  $21^{\circ}\text{C}$ ) مشاهده می‌شود که از سواحل شمالی PG تا سواحل جنوبی آن کشیده شده است. این منطقه، از مجاورت بندر عامری تا بندر گناوه در سواحل شمالی تا آب‌های مجاورت کویت و سفایه گسترش دارد (موقعیت مناطق را در شکل ۱ و شکل ۳-الف را برای توضیحات در کنار هم ببینید). این منطقه، دو مرکز سردتر در SMT\_PG دارد که یکی در مجاورت جزیره خارک (با دمای  $19/70^{\circ}\text{C}$ ) قرار دارد و دیگری در سمت سواحل جنوبی در مجاورت کویت (با دمای  $18/63^{\circ}\text{C}$ ) واقع شده است. منطقه‌ای گرم در شمال غربی SMT\_PG (در مختصات  $29/2^{\circ}\text{N}$  و  $49/5^{\circ}\text{E}$ ) با دمای  $22/73^{\circ}\text{C}$  نیز دیده می‌شود.

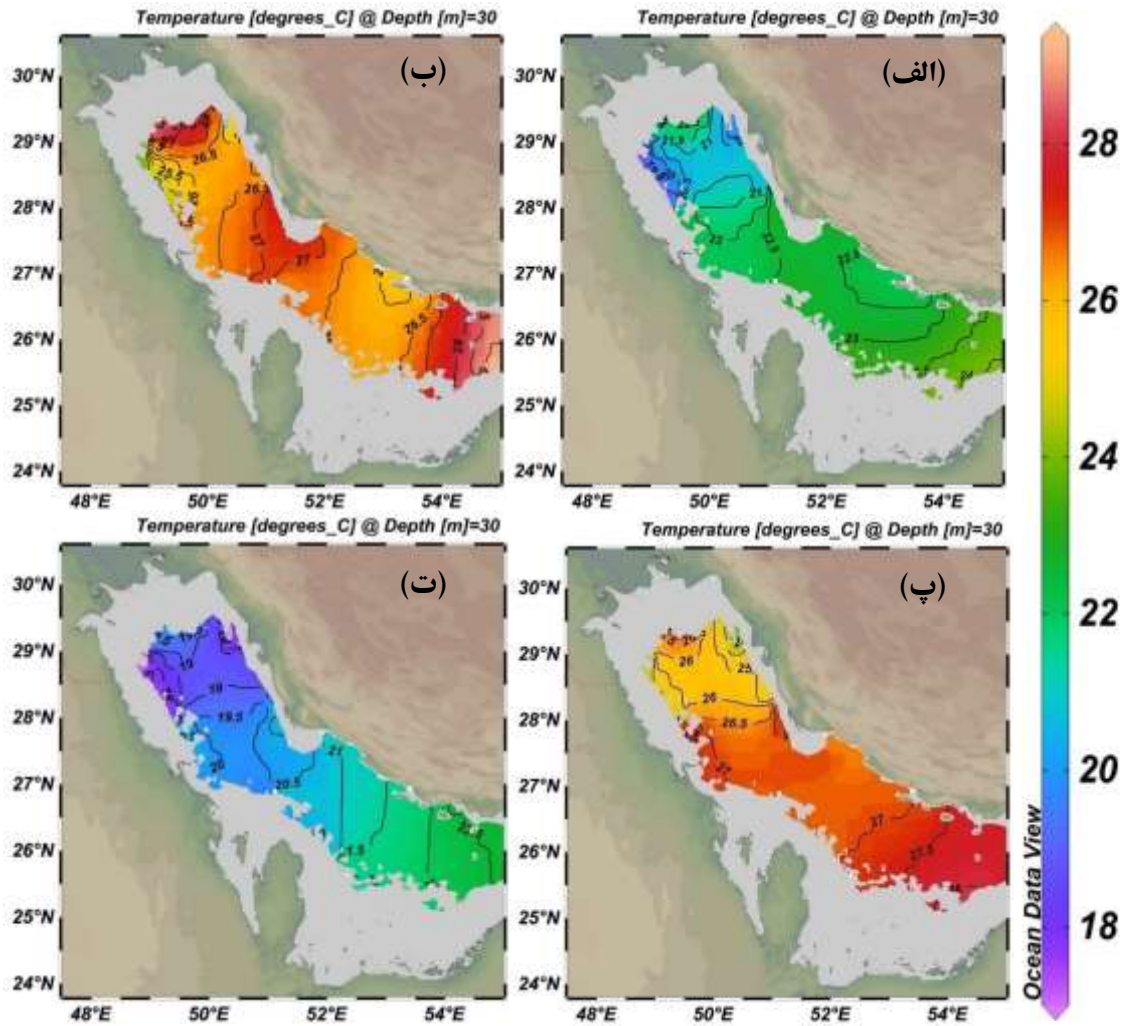
در تابستان (شکل ۳-ب) دمای کل SMT\_PG افزایش یافته و بیشینه SMT\_PG ( $29/38^{\circ}\text{C}$ ) در ابتدای PG (در سمت تنگه هرمز) است. در میانه SMT\_PG، دمای آب خنک‌تر است. منطقه با آب خنک، نسبت به آب‌های اطراف، با خط هم‌دمای  $26/5^{\circ}\text{C}$  دیده می‌شود که از مجاورت بندر آفتاب تا نزدیکی خلیج نایبند و عسلویه امتداد یافته و در مجاورت جزیره لاوان به دمای  $25/79^{\circ}\text{C}$  می‌رسد. (شکل ۱ را برای موقعیت مکان‌ها و شکل ۳-ب را برای توضیحات در کنار هم ببینید). مجدد حدود  $0/5^{\circ}\text{C}$  افزایش SMT\_PG اتفاق افتاده و منطقه‌ای با آب گرم نسبت به محیط اطراف در این لایه (خط هم‌دمای  $27^{\circ}\text{C}$ ) مشاهده می‌شود که از مجاورت بندر دیر ( $27/5^{\circ}\text{N}$  و  $52^{\circ}\text{E}$ ) تا بندر عامری ( $28/3^{\circ}\text{N}$  و  $53^{\circ}\text{E}$ ) در سواحل شمالی گسترش یافته و تا جنوب نیز پیشروی کرده است. گرم‌ترین آب این قسمت دمای  $27/71^{\circ}\text{C}$  دارد. سپس

مجدداً کاهش دما اتفاق می‌افتد و آب خنک در مجاورت بوشهر تا بندر گناوه در شمال و در جنوب از مجاورت کویت تا سفایه گسترش می‌یابد (خط هم‌دمای  $26/5^{\circ}\text{C}$ ). در این منطقه دو قسمت با آب سردتر وجود دارد. یکی (با دمای  $25/58^{\circ}\text{C}$ ) در مجاورت جزیره خارک ( $29/37^{\circ}\text{N}$  و  $50/37^{\circ}\text{E}$ ) و دیگری به‌عنوان کمینه دمای SMT\_PG در فصل تابستان (دمای  $23/96^{\circ}\text{C}$ ) در عمق ۳۰ متری، در سواحل جنوبی (موقعیت جغرافیایی  $28/6^{\circ}\text{N}$  و  $48/8^{\circ}\text{E}$ ) قرار دارد. همچنین در انتهای SMT\_PG، دما افزایش می‌یابد (و بیشینه‌ی دمای آب در این منطقه،  $28/99^{\circ}\text{C}$  است).

در پاییز، بیشینه SMT\_PG ( $28/05^{\circ}\text{C}$ )، در ابتدای سواحل جنوبی تنگه هرمز، در شمال ابوظبی (در مجاورت جزیره صیربونعیر) ( $25/5^{\circ}\text{N}$  و  $54/2^{\circ}\text{E}$ ) مشاهده می‌شود. کمینه دما نیز ( $24/05^{\circ}\text{C}$ ) در مجاورت جزیره خارک، در شمال غربی PG وجود دارد. در انتهای SMT\_PG، منطقه‌ای گرم با دمای  $27/20^{\circ}\text{C}$  وجود دارد که نسبت به آب‌های مجاور خود ( $26^{\circ}\text{C}$ ) حدود  $1/2^{\circ}\text{C}$  افزایش دما را تجربه کرده است. دو منطقه‌ی گرم نیز در مختصات  $27/5^{\circ}\text{N}$  مشاهده می‌شوند یکی در سمت سواحل شمالی (با دمای  $27/10^{\circ}\text{C}$ ) و دیگری در سمت سواحل جنوبی (با دمای  $27/65^{\circ}\text{C}$ ) است. در فصل پاییز (شکل ۳-پ) در شمال غربی SMT\_PG، منطقه‌ای نسبتاً خنک با خط هم‌دمای  $26^{\circ}\text{C}$  مشاهده می‌شود که از بندر عامری تا گناوه، به سمت کویت و سفایه گسترش دارد. خنک‌ترین قسمت این منطقه، یکی در مجاورت جزیره خارک ( $24/05^{\circ}\text{C}$ ) و دیگری در مجاورت کویت ( $24/57^{\circ}\text{C}$ ) واقع است.

در زمستان (شکل ۳-ت) نیز، این قسمت خنک، با خط هم‌دمای  $19^{\circ}\text{C}$  مشاهده می‌شود که نسبت به پاییز  $7^{\circ}\text{C}$  کاهش دما دارد. این منطقه دارای دو مرکز خنک، یکی در مجاورت جزیره خارک (سواحل ایرانی) با دمای  $17/47^{\circ}\text{C}$  و دیگری در سواحل جنوبی با دمای  $17/00^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. به طور کلی، دما در زمستان، نسبت به فصول دیگر کم‌تر است و بیشینه SMT\_PG در این فصل، در همان سمت تنگه هرمز

( $22/61^{\circ}\text{C}$ ) است که پیش از این در توضیحات فصل بهار (شکل ۳-الف) به آن اشاره شد.



شکل ۳- توزیع دمای فصلی در لایه ۳۰ متری خلیج فارس (SMT\_PG) با استفاده از داده‌های WOA2018 با تفکیک فضایی  $0.25^{\circ}$  طول و عرض جغرافیایی. الف) بهار؛ ب) تابستان؛ پ) پاییز؛ ت) زمستان.

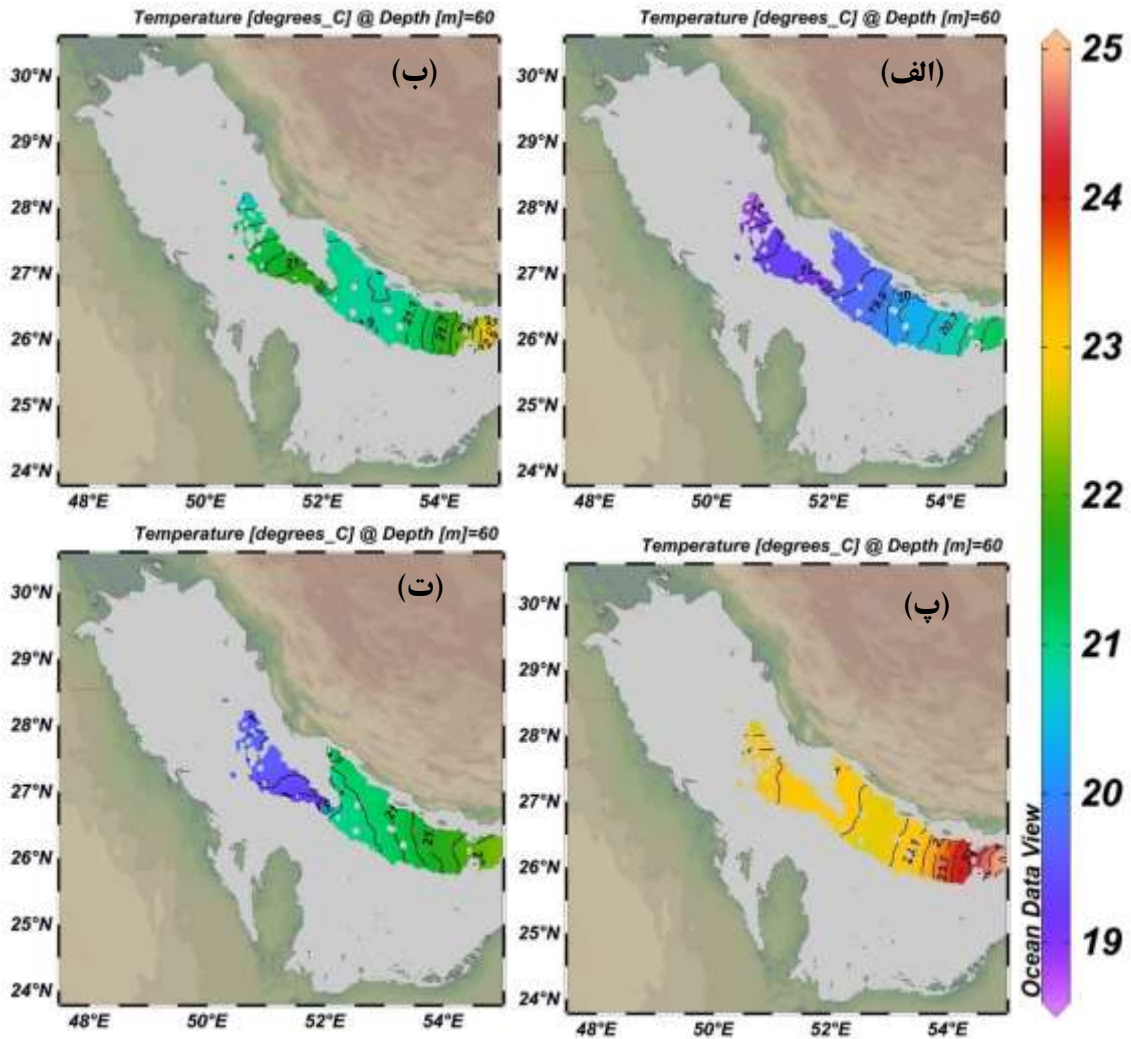
( $19/9^{\circ}\text{C}$ ) و در سمت انتهایی SDT\_PG، کاهش دما بیشتر می‌شود به طوری که کمینه دمای این عمق در طول سال در فصل بهار (دمای  $18/59^{\circ}\text{C}$ ) رخ می‌دهد. در تابستان، پاییز و زمستان نیز مانند بهار، بیشینه دما در ابتدای SDT\_PG، در سمت تنگه هرمز (شکل ۴-ب، پ و ت) به ترتیب با دمای  $23/13^{\circ}\text{C}$ ،  $25/04^{\circ}\text{C}$  و  $22/30^{\circ}\text{C}$  رخ می‌دهد. در تابستان دمای آب گرم PGW، نسبت به بهار  $1/82^{\circ}\text{C}$  افزایش دارد. همان طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، در شرق PG، در مجاورت تنگه هرمز، گرادیان دما در عمق ۶۰ متری، به‌خصوص در فصل تابستان و پاییز که دمای PGW بیشتر است، شدید است.

۳- تغییرات فصلی دما در لایه عمیق خلیج فارس (SDT\_PG)

تغییرات دمای عمق ۶۰ متری (شکل ۴) که لایه عمیق خلیج فارس (SDT\_PG) نامیده شد، بسیار متفاوت از لایه سطحی (SST\_PG) است. طبق جدول ۱، گستره دما بین  $18/59^{\circ}\text{C}$  (بهار) تا  $25/04^{\circ}\text{C}$  (پاییز) است. اما طبق شکل ۴-الف، بیشینه SDT\_PG، در ابتدای خلیج (در سمت تنگه هرمز) با دمای  $21/31^{\circ}\text{C}$  است که مربوط به آب گرم خروجی از PG است که در بخش قبل PGW خوانده شد. با حرکت به سمت میانه SDT\_PG، حدود  $1/4^{\circ}\text{C}$  کاهش دما اتفاق می‌افتد

دمای  $22/715^{\circ}\text{C}$  است و در زمستان در مختصات  $26/8^{\circ}\text{N}$  و  $51/8^{\circ}\text{E}$  (با دمای  $19/04^{\circ}\text{C}$ ) است.

کمینه SDT\_PG، در فصل تابستان در مختصات  $28/1^{\circ}\text{N}$  و  $50/6^{\circ}\text{E}$  (با دمای  $20/66^{\circ}\text{C}$ ) واقع می شود. در پاییز، کمینه SDT\_PG، مربوط به مختصات  $28/1^{\circ}\text{N}$  و  $50/6^{\circ}\text{E}$  (و با



شکل ۴- توزیع دمای فصلی در لایه ۶۰ متری خلیج فارس (SDT\_PG) با استفاده از داده‌های WOA2018 با تفکیک فضایی  $0/25^{\circ}$  طول و عرض جغرافیایی. الف) بهار؛ ب) تابستان؛ پ) پاییز؛ ت) زمستان

خنک با خط هم‌دمای  $22/9^{\circ}\text{C}$  مشخص است که خنک‌ترین قسمت آن در مجاورت جزیره لاوان با دمای  $22/70^{\circ}\text{C}$  است. سپس مجدداً افزایش دما (تا حدود  $23/1^{\circ}\text{C}$ ) اتفاق می افتد و همان‌طور که اشاره شد دما در مختصات  $28/1^{\circ}\text{N}$  و  $50/6^{\circ}\text{E}$  به کمینه مقدار خود ( $22/715^{\circ}\text{C}$ ) می رسد. طبق شکل ۴-ت، در زمستان نیز بیشینه دما در ابتدای خلیج (دمای  $22/30^{\circ}\text{C}$ ) مشاهده می شود. در میانه خلیج دما حدود  $1/3^{\circ}\text{C}$  کاهش پیدا می کند (و به  $21^{\circ}\text{C}$  می رسد) و در مختصات  $26/8^{\circ}\text{N}$  و  $51/8^{\circ}\text{E}$  به کمینه خود (دمای  $19/04^{\circ}\text{C}$ ) می رسد و سپس مجدد

این کاهش دما از سر خلیج در این عمق ۶۰ متری، در طول سایر فصول پیوسته و یکنواخت نیست. به عنوان مثال در تابستان، با حرکت به سمت میانه خلیج ابتدا  $2/23^{\circ}\text{C}$  کاهش دما (دمای  $20/9^{\circ}\text{C}$ ) و سپس حدود  $1^{\circ}\text{C}$  افزایش دما (در مختصات  $26/8^{\circ}\text{N}$  و  $51/8^{\circ}\text{E}$ ) دارد و به دمای  $21/9^{\circ}\text{C}$  می رسد و سپس مجدداً  $0/8^{\circ}\text{C}$  کاهش دما اتفاق می افتد. این افزایش و کاهش دما در فصل پاییز نیز دیده می شود. در ابتدای PG، بیشینه دما در طول سال در فصل پاییز (یعنی  $25/04^{\circ}\text{C}$ ) رخ می دهد و با حرکت به میانه خلیج حدود  $2^{\circ}\text{C}$  کاهش دما اتفاق می افتد (شکل ۴- پ). یک منطقه با آب

افزایش دما دیده می‌شود به طوری که در مختصات  $28/1^{\circ}N$  و  $50/6^{\circ}E$  به دمای  $19/38^{\circ}C$  می‌رسد.

۲-۳. بحث

دمای آب در علوم مختلفی مانند بیوشیمی (Archer et al., 2004; McClanahan et al., 2007; Clements et al., 2021; Arroyo et al., 2025)، هواشناسی و شاخص‌های آب و هوا (Garcia-Soto et al., 2021) علاوه بر فیزیک دریا کاربرد دارد. دما بر توزیع پارامترهای زیستی مانند کلروفیل (خدا و همکاران، ۱۴۰۰؛ شکری و همکاران، ۱۴۰۳)، موجودات دریایی مانند ماهی‌ها (Freitas et al., 2021; Venegas et al., 2023; Rubalcaba, 2024; Levin et al., 2016; Arrigo et al., 2025)، مرجان‌ها (Wyatt et al., 2019; Javid et al., 2025) (کرمی و صیادی، ۱۴۰۲؛ جاوید و همکاران، ۱۴۰۳) و جلبک‌ها (Glibert et al., 2018) (فضلی و همکاران، ۱۴۰۱) تأثیر چشم‌گیری دارد. متأسفانه، افزایش دمای آب ناشی از گرمایش جهانی و همچنین آلاینده‌ها (نشت نفت، فاضلاب و زباله‌های صنعتی) (Uddin et al., 2021; Stöfen-O'Brien et al., 2022) اکوسیستم‌های دریایی PG، مانند سبخاها (Sabkhas)، پهنه‌های گلی (Mudflats)، باتلاق‌های حرا (Mangrove swamps)، علف‌های دریایی (Sea grasses) و صخره‌های مرجانی را که از گونه‌های مختلف دریایی در معرض خطر انقراض، (مانند دوگونگ‌ها (Dugongs) - که نوعی پستاندار دریایی است - و لاک‌پشت‌ها)، به شدت تحت تأثیر قرار داده و این اکوسیستم دریایی PG تخریب کرده است (Burt et al., 2011; Sale et al., 2010; Vaughan et al., 2021). لذا پایش مداوم و پیوسته دمای PG، برای حفظ این زیستگاه طبیعی بسیار مهم است.

شکل ۲ نشان می‌دهد که SST در چهارفصل به‌طور کلی از شرق به غرب روند کاهشی دارد و بیشترین دما در جنوب شرقی (به‌صورت یک منطقه گرم با دو مرکز گرم در مجاورت قطر و امارات متحده عربی با بیشینه دمای  $34/32^{\circ}C$ ) و در شمال غربی PG می‌باشد. نتایج کرمی و صیادی (۱۴۰۲) (با استفاده از آرشیو داده‌های NCAR (National Center for Atmospheric Research) و نرم افزار ArcGIS) بیان نمود که دمای سطحی خلیج در مناطق شمال غربی و بخشی از جنوب آن بیشتر است که در توافق با مطالعه حاضر است. همچنین نتایج پایندهی و همکاران (۱۴۰۲) (با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری کاوشگر خلیج فارس) نشان داد که دمای بیشتر در مقطع شرقی خلیج فارس و در لایه‌های سطحی تا عمق یک متری مشاهده می‌شود و دماهای کمتر در مقطع غربی خلیج فارس در بازه مورد مطالعه (اردیبهشت ۱۳۹۸) قابل مشاهده بود که در شکل ۲-الف، به خوبی این نوع توزیع مکانی دیده می‌شود. نتایج Alosairi et al., 2020) نشان داده است که شمال غربی خلیج فارس یک نقطه داغ گرمایی (Hot Spot) است که SST آن در اواخر تابستان (سال ۲۰۱۷) به بیشینه دمای ثبت شده یعنی  $37/6^{\circ}C$ ، در وسط خلیج کویت (با عمق کم، سرعت باد شمال کم و تبخیر زیاد) رسیده بود. این رویداد با موج گرما، کشند خفیف و حوادث مرگ و میر متناوب ماهی‌ها در مقیاس بزرگ همراه بود. آنان بیشینه دما را در شرایط باد ضعیف یا آرام ثبت کرده بودند. علاوه بر این، مطالعات مختلف در خلیج فارس (مثل (Al Senafi & Anis, 2015; Alosairi et al., 2020))، اندازه‌گیری‌های تک نقطه‌ای دمای  $37/6^{\circ}C$  و  $34/6^{\circ}C$  را در آب‌های کویت ثبت کرده‌اند.

بررسی نتایج توزیع دمای SST در لایه سطحی PG، نشان می‌دهد که دمای سطحی در پاسخ به گرمایش تابستانی به بیشینه دمای  $34/32^{\circ}C$  می‌رسد؛ بنابراین بیشینه دما (طبق جدول ۱) مربوط به فصل تابستان و کمینه دما مربوط به فصل زمستان ( $16/46^{\circ}C$ ) است. مطالعات صورت گرفته (Soyuf

و مطالعه‌ی (Al Senafi et al., 2019) و (Al Senafi & Anis, 2022) بیان کردند گرمایش کلی، تغییرات فصلی را

همان‌طور که شکل‌های ۲ الی ۴ نشان می‌دهد، دمای آب خلیج فارس به طور قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به سطح از نظر زمانی و مکانی تغییر می‌کند. نتایج به طور کلی نشان می‌دهد که با افزایش عمق، دما در فصل بهار و تابستان کاهش پیدا می‌کند که پایندهی و همکاران، (۱۴۰۲) در فصل بهار همین نتیجه را به دست آوردند. قاضی و همکاران (۱۳۸۹)، براساس داده‌های کشتی مونت میشل (۱۹۹۲) بیان کردند تغییرات دما در سطح و در عمق از زمستان تا بهار روند رو به افزایشی داشته است. در فصل بهار افزایش دما باعث تشکیل لایه‌بندی لایه‌های دمایی یا گرادیان دما می‌شود. از عمق ۳۰ متر به بعد تاثیر لایه‌های سطحی کم شده و از روند تغییرات دمای سطح، تبعیت نمی‌کند بلکه توده آبی جدیدی تشکیل می‌شود و آبی که از تنگه‌هرمز به سطح خلیج فارس وارد می‌شود، بر میزان دمای آب‌های عمیق اثر نمی‌گذارد. دما تا عمق مشخصی تغییر می‌کند و از آن به بعد با افزایش عمق به دلیل کاهش جذب نور و افزایش کدورت آب، دما کاهش می‌یابد (قاضی و همکاران، ۱۳۸۹). از طرفی، طبق جدول ۱ نیز دیده می‌شود اختلاف دمای سطح و عمق ۳۰ m (آب‌های عمق میانی) و ۶۰ (آب‌های عمیق) تغییرات فصلی دارد. طبق مطالعه حاضر (جدول ۲)، دیده می‌شود که کمینه دما در فصل زمستان و پاییز با افزایش عمق افزایش پیدا می‌کند. در مطالعه پایندهی و همکاران (۱۴۰۴)، که در سه فصل بهار ۱۳۹۸، تابستان و زمستان ۱۴۰۰، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری کاوشگر خلیج فارس و تحلیل نمودارهای TS، انجام شده است، این گرم‌تر بودن آب در لایه پایینی در زمستان را مربوط به PGW دانستند که توده آب گرمتری نسبت به IOSW (Indian Ocean Surface Water) است. از نظر آنان سردتر بودن آب‌های سطحی در فصل زمستان، موجب شده بود که آب‌های سطحی نسبت به آب‌های عمقی سردتر باشند. نتیجه‌گیری پایندهی و همکاران (۱۴۰۴)، نیز می‌تواند صحیح باشد زیرا طبق شکل ۳ و ۴ از مطالعه حاضر، در تمامی فصول، در لایه میانی (عمق ۳۰ m، SMT\_PG، شکل ۳) و لایه عمیق (۶۰ m، SDT\_PG، شکل ۴) دما در ابتدای PG در سمت تنگه‌هرمز، بیشتر است. وجود آب گرم‌تر توده آب

در خلیج فارس نشان می‌دهد؛ گرمایش در دوره‌های گذار طوفان‌های شدید (پاییز و بهار) با نرخ دو برابر زمستان و تابستان رخ داده است. بهار و پاییز بیشترین نرخ تغییر (Rate of change) فصلی را دارند؛ یعنی سرعت گرم یا سرد شدن آب در این دو فصل بیشتر از تابستان و زمستان است. آن‌ها نوسانات زیادی در SST فصلی مشاهده کردند. (Al Senafi, 2022) میانگین کمینه و بیشینه SST موجود در PG را به ترتیب  $11/7^{\circ}\text{C}$  و  $26/7^{\circ}\text{C}$  مشاهده نمود. بیشینه SST خلیج فارس را  $36/7^{\circ}\text{C}$  در تابستان در مجاورت جزیره مکاسب (بین قطر و امارات متحده عربی) (شکل ۳C از آن مطالعه) ثبت نمودند که با مطالعه حاضر (شکل ۲-ب  $34/32^{\circ}\text{C}$  در مجاورت قطر و امارات) همخوانی دارد. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر کمینه SST در زمستان ( $16/46^{\circ}\text{C}$ ) و بیشینه در تابستان ( $34/32^{\circ}\text{C}$ ) بود. مطالعات کرمی و صیادی (۱۴۰۲)، پایندهی و همکاران (۱۴۰۲)، الصافی (۲۰۲۰) (Al Senafi, 2022) و (Alosairi et al., 2020)، به خوبی نتایج مطالعه حاضر در شکل ۲، را مورد تأیید قرار می‌دهند. دلیل دمای زیاد به صورت مناطقی گرم (با دو مرکز گرم) در مجاورت قطر و امارات متحده عربی (جنوب شرقی) که در شکل ۲ دیده می‌شود، را می‌توان به عمق کم این مناطق (کمتر از ۱۰m) و همچنین تبادل آب محدود از طریق تنگه‌هرمز و جریان‌های راکد (Reynolds, 1993; Al Senafi, 2022; Thoppil & Hogan, 2010b) نسبت داد که (Al Senafi, 2022)، (Olson, 1998) و (Swift & Bower, 2003) هم دمای بیشتر این مناطق را تأیید نموده‌اند. همچنین، سیوف جهرمی و شاه‌منصوری (۱۳۹۹ و ۱۴۰۱)، در بررسی ۲۵ ساله از آنومالی تراز سطح دریا در PG (به عنوان مثال شکل ۳ از سیوف جهرمی و شاه‌منصوری (۱۴۰۱))، دیدند که آنومالی تراز سطح دریا در این مناطق (۲۸ cm) نسبت به مناطق همجوار (۳۲ cm) اندک است. این اختلاف کم، می‌تواند بیانگر منطقه‌ای نسبتاً پایدار از نظر عمق و در نتیجه تبخیر پیوسته در طول سال باشد که موجب گرم‌تر شدن این مناطق نسبت به آب‌های اطراف باشد و به وجود دوره‌های گذار اشاره کرده بودند.

ماه‌هایی رخ می‌دهد که سرعت گرمایش نیز سریع‌تر باشد. از نظر آنان، این واقعیت نشان می‌داد که در صورت ادامه روند گرمایش SST، احتمالاً تشکیل این توده آب عمیق می‌تواند مختل شود. (Soyuf Jahromi, 2022) نیز نشان داد که یک موج گرمایی (Marine Heat Wave (MHW)) در آنومالی SST از ماه ژوئن آغاز می‌شود و چهار ماه ادامه دارد و آگوست گرمترین ماه سال برای آنومالی SST است. (Swift & Bower, 2003) و (Yao et al., 2014) نیز تشکیل و گردش PGW متراکم با آب‌های سطحی خنک‌تر مرتبط دانسته‌اند. پژوهش حاضر نیز به خوبی به گرم‌تر بودن لایه عمقی به ویژه در سر تنگه که مربوط به دمای PGW است و در جدول ۱ و ۲ و شکل‌های ۳ و ۴ به آن پرداخته شد، اذعان دارد. این ویژگی موجب ناپایداری در ستون آب PG، می‌شود و لذا تغییرات دما، نوع و میزان پایداری یا ناپایداری ستون آب را (چه به صورت رژیم پخشی و چه به صورت رژیم انگشتی) تغییر می‌دهد؛ همان‌طور که مطالعات مختلف (محمدپور و همکاران، ۱۴۰۱، ۱۴۰۳، ۱۴۰۴) (Azizpour et al., 2014, 2017; Mohammadpour et al., 2026) آن را گزارش کرده‌اند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

تغییرات مکانی و زمانی دمای خلیج فارس با توجه به ویژگی‌های منطقه بسیار مهم است زیرا اطلاعات بسیار مهمی درباره ساختار زیست‌محیطی و اقلیم در راستای توسعه پایدار منطقه فراهم می‌کند. در این مطالعه تغییرات مکانی و زمانی دمای خلیج فارس با استفاده از داده‌های WOA مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور کلی، SST در چهارفصل از شرق به غرب روند کاهشی داشته و بیشینه آن مربوط به تابستان و کمینه مربوط به زمستان می‌باشد. نتایج اطلاعات حاصل از هر m ۱۰، از سطح تا عمق m ۵۰، کمینه دما را در فصل زمستان و از آن عمق به بعد در فصل بهار نشان می‌دهد. بیشینه دما از سطح تا عمق m ۳۰، در فصل تابستان و از آن عمق به بعد در فصل پاییز نشان می‌دهد. به عبارتی فصول گذار بهار و پاییز

خلیج فارس (PGW) در تنگه هرمز در لایه‌های زیرین در مطالعات بسیاری در منطقه (Alessi et al., 1999; Prasad et al., 2001; Azizpour et al., 2014; L'Hégaret et al., 2016; Jain et al., 2017; Swift & Bower, 2003; Yao et al., 2014; Pous et al., 2004; Reynolds, 1993; Johns et al., 2003; Yao & Johns, 2010) (رامک و همکاران، ۱۴۰۰ الف و ب؛ ۱۴۰۱؛ ۲۰۲۳؛ پاینده‌ی و همکاران، ۱۴۰۴؛ لشکری، ۱۴۰۱؛ لشکری و همکاران، ۱۴۰۲) اشاره شده است. این آب، در حال خروج از PG به صورت عمقی است. لشکری (۱۴۰۱) شکل‌گیری این آب را از عمق m ۳۰، محمدپور و همکاران (۱۴۰۱) در آب‌های شمالی تنگه هرمز از عمق m ۵۶ مطرح نموده‌اند. همچنین (Pous et al., 2004) در آب‌های جنوبی تنگه هرمز هسته گرم و شور PGW را در عمق m ۵۰ تا m ۲۲۰ مشاهده کردند که دمای آن  $27^{\circ}\text{C}$  (فصل تابستان) بود. عمق PGW، ۷۰ تا m ۲۰۰ بیان شده است (Swift & Bower, 2003). با استفاده از مدل‌سازی FVCOM، افزایش سرعت پایین‌سوی آب خروجی PGW را در زمستان ( $-2\text{ cm/s}$ ) نسبت به سایر فصول (بهار:  $-1\text{ cm/s}$ ، تابستان  $-1/2\text{ cm/s}$ ، و پاییز  $-1/7\text{ cm/s}$ ) در لایه‌های عمقی اذعان شده است (Ramak et al., 2023). آن‌ها بیان کردند PGW در تابستان در عمق m ۵۰ تا m ۸۰ در سواحل عمان مشاهده شد که در زمستان به عمق‌های بیشتر (m ۱۳۰ تا m ۱۵۰) نفوذ پیدا می‌کرد (Ramak et al., 2023). (Al Senafi, 2022)، بیان کرد GDW (مخفف Gulf Deep Water) که در واقع همان PGW است که یکی دیگر از تنظیم‌کننده‌های دمای PG است و مطالعات (Reynolds, 1993; Thoppil & Hogan, 2010a,b; Li et al., 2020) نشان داده‌اند که این پدیده به صورت همرفتی توسط خنک شدن سطح دریا در شمال PG هدایت می‌شود و در اواخر زمستان-بهار، زمانی که لایه‌بندی چگالی عمودی در ضعیف‌ترین حالت خود قرار دارد، بیشتر مشهود است. (Al Senafi, 2022) بیان کرد تشکیل GDW در مجاورت مکانی که سرعت گرمایش SST بیشتر باشد (شکل ۳E آن مطالعه)، رخ می‌دهد؛ علاوه بر این، GDW در

## منابع

1. (FA)Emami, M., Soyuf Jahromi, M. & Behmanzadegan, A. (2019). Coastline Effect on Tidal Flow Pattern. *Journal of Marine Science and Technology*, 18(2), 12-25. doi: 10.22113/jmst.2019.122581.2137
2. (FA)Behzadi, M., Ghaderi, D. & Soyuf Jahromi, M. (2024). Seasonal Changes of Physical Characteristics of the Makran's Marine Area. *Nivar*, 48(126-127), 18-34. doi: 10.30467/nivar.2024.444362.1283
3. (FA)Beyranvand, A., Azizi, G. & Alizadeh, O. (2024). The Role of Summer and Winter Shamal Winds in the Occurrence of Dust Storms in Western Iran. *Physical Geography Research*, 56(4), 1-19. doi: 10.22059/jphgr.2025.372219.1007809
4. (FA)Payandehi, Y., Soyufjahromi, M. & Hamzei, S. (2023). Temperature, Salinity, and Density Changes in the Northern Waters of the Persian Gulf During Spring: Insights from the Persian Gulf Explorer (2019). *Hydrophysics*, 9(1), 51-62. [https://www.hydrophysics.ir/article\\_714965\\_a6beceef9dd844fd90a335b1c49ea3c1.pdf?lang=en](https://www.hydrophysics.ir/article_714965_a6beceef9dd844fd90a335b1c49ea3c1.pdf?lang=en)
5. (FA)Payandehi, Y., Soyuf Jahromi, M. & Hamzei, S. (2025). Seasonal changes of physical properties along the length of Iranian Persian Gulf Waters. *Nivar*, 49(130-131), 1-20. doi: 10.30467/nivar.2025.496197.1316
6. (FA)Pourkarimian, A., Soyuf Jahromi, M. & Malakooti, H. (2021). Tracking of the Oceanic Water Content Resources of the Precipitation In Dayyer Port (March 2017). *Journal of Marine Science and Technology*, 20(3), 31-49. doi: 10.22113/jmst.2019.182862.2282
7. (FA)Pourkarimian, A., Soyuf Jahromi, M., & malakooti, H. (2022). Investigation and study of flood moisture transfer (Case study: March 2017 in south and southwest of Iran). *Amphibious Science and Technology*, 2(4), 40-61. doi: 10.22034/jamst.2022.543537.1050
8. (FA)Javid, P., Soyuf Jahromi, M., Ranjbar, M. S., & Akbarzadeh, A. (2024). Sea Surface Temperature in the Persian Gulf and Its Association with Gene and Protein Interactions in Coral Reefs towards Preserving the Ecosystem. *Ethnobiology and Biodiversity Conservation*, 1(3), 16-31. doi: 10.22091/ethc.2024.10585.1020

اثرات خود را در لایه‌های عمقی نشان می‌دهند. در مناطق اندکی از خلیج فارس (به ویژه در نزدیکی تنگه هرمز) که عمق به ۹۰ m یا بیشتر می‌رسد، با کمال تعجب بیشینه دما در فصل زمستان مشاهده می‌شود که طبق بررسی‌های انجام شده، این آب گرم به توده آب گرم PGW برمی‌گردد که تشکیل آن به میزان خنک‌شدگی آب‌های سطحی و وارونگی دما و ناپایداری در ستون آب برمی‌گردد.

به علاوه، با افزایش عمق کاهش بازه و گستره‌ی تغییرات دمایی مشاهده می‌شود؛ همچنین نتایج به‌خوبی نشان می‌دهد که با افزایش عمق دما کاهش پیدا می‌کند اما استثنائاتی نیز وجود دارد. اختلاف بین دمای سطح و عمق نشان می‌دهد که لایه ۳۰ m در پاییز و زمستان و لایه ۶۰ m در زمستان گرم‌تر از سطح است. علت آن نیز به دلیل سردتر بودن آب‌های سطحی در طی فصول سرد سال بوده که موجب شده آب‌های سطحی از آب‌های عمقی سردتر باشند که در جدول ۲ مقادیر مربوطه قابل مشاهده بودند.

همچنین، نتایج بیانگر آن است که بیشینه دما در جنوب شرقی خلیج فارس، مجاورت قطر و امارات متحده عربی و شمال غربی در مجاورت بندر امام مشاهده شده که علت آن عمق کم این مناطق و همچنین تبادل آب محدود این مناطق از طریق تنگه هرمز می‌باشد که این مناطق را به صورت مناطقی گرم با آب راکد مطرح می‌کند.

از طرفی توده آب شور و گرم خلیج فارس (PGW) در تمامی فصول در عمق ۶۰ متری، ابتدای خلیج سمت تنگه هرمز مشاهده گردید که در حال خروج از خلیج فارس به صورت عمقی بود و موجب گرادیان شدید دمایی به‌خصوص در فصول تابستان و پاییز که PGW گرم‌تر بود، شده بود. بیشینه دمای PGW نیز مربوط به فصل پاییز با دمای ۲۵/۰۴°C است.

## ۵. سپاسگزاری:

این مطالعه حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از زحمات همه افرادی که امکانات این پژوهش را فراهم آورده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

- of Marine technology, 7(4), 97-106. [https://ijmt.iranjournals.ir/article\\_44294\\_dd353f01f196dc77987c4fcfbac4c13.pdf?lang=en](https://ijmt.iranjournals.ir/article_44294_dd353f01f196dc77987c4fcfbac4c13.pdf?lang=en)
18. (FA)Soyuf Jahromi, M., Sadrinasab, M., & Bidokhti, A.A. (2014). 3D simulation of measured Oman data at late winter, 2005. *Journal of Marine Science and Technology*, 13(3), 21-31. doi: 10.22113/jmst.2014.7821
  19. (FA)Shokri, E., Hashemi, S.N., & Soyuf Jahromi, M. (2024). Investigation of chlorophyll-a and sea surface temperature distributions in Oman Sea using MODIS satellite images for the period (2000-2020). *Iranian Journal of Geophysics*, 18(5), 49-66. doi: 10.30499/ijg.2024.424420.1550
  20. (FA)Fazelpoor, K., Dadollahi, S., Elmizadeh, H., Asgari, H.M., & Khazaei, S.H. (2016). The evaluation of sea surface temperature and relationship between SST and depth in Persian Gulf by MODIS sensor. *Journal of Marine Science and Technology*, 15(2), 130-142. doi: 10.22113/jmst.2016.41158
  21. (FA)Fazli, S., Sima, S. and Mousivand, A. J. (2022). Spatiotemporal Analysis of Harmful Algal Bloom (HAB) in the Strait of Hormuz and Identifying Abiotic Driving Forces. *Journal of Environmental Studies*, 48(2), 125-152. doi: 10.22059/jes.2022.327903.1008208
  22. (FA)Ghazi, E., Aliakbari Bidokhti, A., Ezam, M., Zoljoodi, M., & Torabi Azad, M. (2020). Seasonal changes in current, temperature and salinity in the Persian Gulf, *Journal of New Technologies in Accuaculture Development (Fisheries)*, 4(2), 67-76. <https://sanad.iau.ir/Journal/jours/Article/962072>
  23. (FA)Ghazi, E., Aliakbari Bidokhti, A., Ezam, M., Zoljoodi, M., & Torabi Azad, M. (2021). Study of Tidal and Residual Current in the Persian Gulf. *Hydrophysics*, 6(2), 41-51. [https://www.hydrophysics.ir/article\\_243536\\_d434d37bee15a9cb29e9f9a27c8b7294.pdf?lang=en](https://www.hydrophysics.ir/article_243536_d434d37bee15a9cb29e9f9a27c8b7294.pdf?lang=en)
  24. (FA)Karami, H., & Sayadi, Z. (2023). Investigating the effect of sea surface temperature in predicting coral bleaching events in the Persian Gulf. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 32(125), 101-119. doi: 10.22131/sepehr.2023.562304.2908
  9. (FA)Khoddam, N., Attarchi, S., Rahnama, M., Sehat Kashani, S. & Tajbakhsh, S. (2021). Study of the Long-term Average Concentration of Chlorophyll a and Its Relation to Variations in Sea Level Temperature and Aerosol Optical Depth over the Sea of Oman and the Persian Gulf (2003-2020). *Nivar*, 45(114-115), 130-139. doi: 10.30467/nivar.2021.146147
  10. (FA)Darskhan, S., & Soyuf Jahromi, M., (2022) Numerical solution of the geostrophic mesoscale eddy in the shallow water model. *Journal of Oceanography*, 13 (49), 81-91. Doi: 10.52547/joc.13.49.81
  11. (FA)Ramak, H., Soyufjahromi, M., & Akbari, P. (2022). Persian Gulf Water mass tracking by surface temperature and salinity properties. *Journal of Oceanography*, 12 (48),13-28. doi: 10.52547/joc.12.48.2
  12. (FA)Ramak, H., Soyufjahromi, M., & Akbari, P. (2023). Investigation of salinity and temperature of Persian Gulf water by FVCOM Model. *Journal of Oceanography*, 13 (52),106-120. doi: 10.52547/joc.13.52.8
  13. (FA)Ramak, H., soyufjahromi, M. & Akbari, P. (2022). Using surface temperature data of the Oman Sea to identify subsurface water of the Persian Gulf. *Hydrophysics*, 7(2), 79-93. [https://www.hydrophysics.ir/article\\_697477\\_74ae2a87098dab7bc38c2d52e780f5eb.pdf?lang=en](https://www.hydrophysics.ir/article_697477_74ae2a87098dab7bc38c2d52e780f5eb.pdf?lang=en)
  14. (FA)Soyuf Jahromi, M., & Daliri, H. S. (2021). Wind waves in the South Caspian Sea. *Iranian Journal of Marine Science and Technology*, 25(97), 51-62. doi: 10.22034/ijmst.2021.44754
  15. (FA)Soyuf Jahromi, M., & Rezaee Pourmashizi, E. (2019). The footmarks of Arvand River plume in the north of the Persian Gulf during the spring. *Iranian Journal of Marine Science and Technology*, 23(90), 35-41. [https://navy.iranjournals.ir/article\\_36444\\_2d1b3f9e5c68706df516f220f15dc5f8.pdf?lang=en](https://navy.iranjournals.ir/article_36444_2d1b3f9e5c68706df516f220f15dc5f8.pdf?lang=en)
  16. (FA)Soyuf Jahromi, M., & Shahmansoori, Z. (2022). The seasonal changes of sea-level anomalies on the Persian Gulf (1993-2017). *Journal of Marine Science and Technology*, 21(1), 1-15. doi: 10.22113/jmst.2021.197166.2303
  17. (FA)Soyuf Jahromi, M., & Shahmansoori, Z. (2021). The monthly sea-level anomaly patterns on the Persian Gulf. *Iranian journal*

- 19-33. doi: 10.30467/nivar.2024.472074.1304
33. (FA) Mohammadpour, F., Soyufjahromi, M., & Hamzei, S. (2025b). The physical properties of the deep trench of the south of Greater Tunb island. *Iranian Journal of Geophysics*, 19(1), 61-73. doi: 10.30499/ijg.2024.451305.1591
34. (FA) Mosaddad, S.M. (2022). Temperature Variations Modeling in the Persian Gulf Using the Numerical Model of POM, *Water Engineering*, 10(3), 1-16. [https://journals.iau.ir/article\\_705944\\_dfe31d425037269fa229f6317b1cd663.pdf](https://journals.iau.ir/article_705944_dfe31d425037269fa229f6317b1cd663.pdf)
35. (EN) Aboobacker, V.M., (2024). Impacts of Shamal and Nashi Winds on the Hydrodynamics along the East Coast of Qatar. *Journal of Coastal Research*, 113(SI), 609-619. doi:10.2112/JCR-SI113-120.1
36. (EN) Aboobacker, V.M., Shanass, P.R., Al-Ansari, E.M.A.S., Sanil Kumar, V. & Vethamony, P., (2021). The maxima in northerly wind speeds and wave heights over the Arabian Sea, the Arabian/Persian Gulf and the Red Sea derived from 40 years of ERA5 data. *Climate Dynamics*, 56, 1037-1052. doi:10.1007/s00382-020-05518-6
37. (EN) Al Senafi, F., (2022). Atmosphere-Ocean Coupled Variability in the Arabian/Persian Gulf. *Frontiers in Marine Science*, 9, 809355. doi: 10.3389/fmars.2022.809355
38. (EN) Al Senafi, F. & Anis, A., (2015). Shamals and climate variability in the Northern Arabian/Persian Gulf from 1973 to 2012. *International Journal of Climatology*, 35, 4509-4528. doi: 10.1002/joc.4302
39. (EN) Al Senafi, F. & Anis, A., (2020). Internal waves on the continental shelf of the Northwestern Arabian Gulf. *Frontiers in Marine Science*, 6, 1-19. doi: 10.3389/fmars.2019.00805
40. (EN) Al Senafi, F., Anis, A. & Menezes, V., (2019). Surface heat fluxes over the northern Arabian Gulf and the northern Red Sea: evaluation of ECMWF-ERA5 and NASA-MERRA2 reanalyses. *Atmosphere*, 10, 1-30. doi: 10.3390/atmos10090504
41. (EN) Alessi, C.A., Hunt, H.D. & Bower, A.S., (1999). *Hydrographic Data from the U.S. Naval Oceanographic Office: Persian Gulf, Southern Red Sea, and Arabian Sea 1923-1996*. Technical Report, Woods Hole Oceanographic Institution, p.68.
25. (FA) Keshavarz, M. and Pazooki, J. (2025). The comparison of physicochemical properties of chitosan in two species, *Penaeus merguensis* and *Sepia pharaonis*. *Experimental animal Biology*, 13(4), 41-54. doi: 10.30473/eab.2025.74307.1991
26. (FA) Keshavarz, M. & Soyuf Jahromi, M. (2017). Sea urchin study in the north of Persian Gulf (Dayyer Port) with an emphasis on Tests and Jaws features. *Experimental animal Biology*, 6(1), 121-132. [https://eab.journals.pnu.ac.ir/article\\_4019\\_de6d30dece38ff779cb12913d811f0d4.pdf?lang=en](https://eab.journals.pnu.ac.ir/article_4019_de6d30dece38ff779cb12913d811f0d4.pdf?lang=en)
27. (FA) Layeghi, B., Ghader, S., Ali Akbari Bidokhti, A.A., & Azadi, M. (2017). Sensitivity of WRF model simulations to physical parameterization over the Persian Gulf and Oman Sea during summer monsoon. *Iranian Journal of Geophysics*, 11(1), 1-19. [https://www.ijgeophysics.ir/article\\_46712\\_d1330743336a7b439384b3637c95e4f3.pdf?lang=en](https://www.ijgeophysics.ir/article_46712_d1330743336a7b439384b3637c95e4f3.pdf?lang=en)
28. (FA) Lashkari, S. (2023). Tracking the Persian Gulf water mass in the Sea of Oman using WOA measured data with ODV software. University of Hormozgan, Master Sciences thesis, p.216.
29. (FA) Lashkari, S., Soyuf Jahromi, M., & Hamzei, S., (2023). Seasonal changes of the Persian Gulf water mass in the Gulf of Oman. *Journal of Oceanography*, 14 (53), 103-122. doi: 10.52547/joc.14.53.9
30. (FA) Mohammadi, M.H., Keshavarz, M. (2024). The Dynamic population of greenback mullet, *Planiliza klunzingeri* (Day, 1888) in the warm season of Moshta fishing, Bandar Abbas. *Journal of Oceanography*, 15(57), 54-70. Doi: 10.52547/joc.15.57.6
31. (FA) Mohammad Pour, F., Hamzei, S. & Soyufjahromi, M. (2023). Winter study of the stability and Double diffusion convection in the east of the Strait of Hormuz. *Hydrophysics*, 8(2), 33-46. [https://www.hydrophysics.ir/article\\_711078\\_113b0ce795369550258d6115ef7d0270.pdf?lang=en](https://www.hydrophysics.ir/article_711078_113b0ce795369550258d6115ef7d0270.pdf?lang=en)
32. (FA) Mohammadpour, F., Soyuf Jahromi, M. & Hamzei, S. (2025b). The Difference in the Stability of the Water Column and the Speed of Sound from the North to the South of the Persian Gulf in Winter. *Nivar*, 49(128-129),

50. (EN)Azizpour, J., Chegini, V. & Siadatmousavi, S.M., (2017). Seasonal variation of the double diffusion processes at the Strait of Hormuz. *Acta Oceanologica Sinica*, 36, 26-34. doi: 10.1007/s13131-017-0990-6
51. (EN)Banks, J.R., Brindley, H.E., Stenchikov, G. & Schepanski, K., (2017). Satellite retrievals of dust aerosol over the Red Sea and the Persian Gulf (2005–2015). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(6), 3987-4003. doi: 10.5194/acp-17-3987-2017
52. (EN)Bao, R., Blattmann, T.M., McIntyre, C., Zhao, M. & Eglinton, T.I., (2019). Relationships between grain size and organic carbon 14C heterogeneity in continental margin sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 505, 76-85. doi: 10.1016/j.epsl.2018.10.013
53. (EN)Burt, J., Al-Harhi, S. & Al-Cibahy, A., (2011). Long-term impacts of coral bleaching events on the world's warmest reefs. *Marine Environmental Research*, 72, 225-229. doi: 10.1016/j.marenvres.2011.08.005
54. (EN)Chen, Z., Wang, X., Wu, X., Cao, Y., He, Z., Wang, D. & Chen, J., (2024). Three-dimensional thermohaline structure estimation derived from HY-2 satellite data over the Maritime Silk Road and its applications. *Physical Oceanography, Marine Meteorology and Marine Physics*, 43, 41-53. doi: 10.1007/s13131-023-2299-6
55. (EN)Chin, T.M., Vazquez-Cuervo, J. & Armstrong, E.M., (2017). A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 200, 154-169. doi: 10.1016/j.rse.2017.07.029
56. (EN)Clements, J.C., Ramesh, K., Nysveen, J., Dupont, S. & Jutfelt, F., (2021). Animal size and sea water temperature, but not pH, influence a repeatable startle response behaviour in a wide-ranging marine mollusc. *Animal Behaviour*, 173, 191-205. doi: 10.1016/j.anbehav.2020.12.008
57. (EN)Dabbagh, A. R., Kamrani, E., Taherizadeh, M. R., Jahromi, M. S., & Naderloo, R. (2019a). Mating system in the shrimp *Arctostolus indicus*, a symbiont of *Echinometra mathaei*. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48(02), 248-252.
58. (EN)Dabbagh, A. R., Kamrani, E., Taherizadeh, M. R., Soyuf Jahromi, M., & Naderloo, R. (2019b). Sexual system and
42. (EN)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. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 6021-6046. doi: 10.1007/s10668-020-00860-5
43. (EN)Al-Majed, N., Mohammadi, H., Al-Ghadban, A. & Al-Awadi, A.R., (2000). Regional report of the state of the marine environment. Regional Organization for the Protection of the Environment. Kuwait, 220.
44. (EN)Al-Najjar, M.A., Munday, C., Fink, A., Abdel-Moati, M.A.R.; Hamza, W.; Korte, L.; Stuetz, J.; Al-Ansari, I.S.; Al-Maslamani, I.; & de Beer, D. (2020). Nutritive effect of dust on microbial biodiversity and productivity of the Arabian Gulf. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 23(2), 122-135. doi: 10.1080/14634988.2019.1676541
45. (EN)Alosairi, Y., Alsulaiman, N., Rashed, A. & Al-Houti, D., (2020). World record extreme sea surface temperatures in the northwestern Arabian/Persian Gulf verified by in situ measurements. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111766. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111766
46. (EN)Archer, D., Martin, P., Buffett, B., Brovkin, V., Rahmstorf, S. & Ganopolski, A., (2004). The importance of ocean temperature to global biogeochemistry. *Earth and Planetary Science Letters*, 222(2), 333-348. doi: 10.1016/j.epsl.2004.03.011
47. (EN)Arrigo, F., Cunha, M., Vieira, H.C., Soares, A.M.V.M., Faggio, C., González-Pisani, X., López Greco, L. & Freitas, R., (2025). Impact of marine heatwaves on *Carcinus maenas* crabs: Physiological and biochemical mechanisms of thermal stress resilience. *Marine Environmental Research*, 208, 107126. doi: 10.1016/j.marenvres.2025.107126
48. (EN)Arroyo, J.I., Marquet, P.A., Kempes, C.P. & West, G.B., (2025). Toward a general theory for the scaling and universality of thermal responses in biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 122(14), e2024763122. doi: 10.1073/pnas.2024763122
49. (EN)Azizpour, J., Chegini, V. & Khosravi, M., (2014). Study of the physical oceanographic properties of the Persian Gulf, strait of Hormuz and Gulf of Oman based on PG-GOOS CTD measurements. *The Journal of Persian Gulf*, 5(18), 37-48.

- and Oceanography of Harmful Algal Blooms, 3-7.
66. (EN)Gourain, A., Planquette, H., Cheize, M., Lemaitre, N., Menzel Barraqueta, J.L., Shelley, R. & Sarthou, G., (2019). Inputs and processes affecting the distribution of particulate iron in the North Atlantic along the GEOVIDE (GEOTRACES GA01) section. *Biogeosciences*, 16(7), 1563-1582. doi: 10.5194/bg-16-1563-2019
  67. (EN)Ibrahim, H.D., Shu, P. & Altahir, A.A.B., (2020). Multiple salinity equilibria and salinity resilience of the Persian/Arabian Gulf basin to hypersaline water discharge. *Frontiers in Marine Science*, 7, 573. doi: 10.3389/fmars.2020.00573
  68. (EN)Jain, V., Shankar, D., Vinayachandran, P.N., Kankonkar, A., Chatterjee, A., Amol, P., Almeida, A.M., Michael, G.S., Mukherjee, A., Chatterjee, M., Fernandes, R., Luis, R., Kamble, A., Hegde, A.K., Chatterjee, S., Das, U. & Neema, C.P., (2017). Evidence for the existence of Persian Gulf water and Red Sea water in the Bay of Bengal. *Climate Dynamics*, 48(9), 3207-3226. doi: 10.1007/s00382-016-3259-4
  69. (EN)Javid, P., Akbarzadeh, A., Alavi, S.M., Farrokhi, N., Jahromi, M.S., Behzadi, S., Bakhtiarizadeh, M., Pabasteh, S. & Ranjbar, M.S., (2025). Transcription of genes involved in bleaching of a coral reef species *Acropora downingi* (Wallace, 1999) in response to high temperature. *Marine Environmental Research*, 208, 107102. doi: 10.1016/j.marenvres.2025.107102
  70. (EN)Johns, W.E., Yao, F., Olson, D.B., Josey, S.A., Grist, J.P. & Smeed, D.A., (2003). Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C12), 3391. doi:10.1029/2003JC001881
  71. (EN) Johns, W., & Olson, D., (1998). Observations of seasonal exchange through the Strait of Hormuz. *Oceanography*, 11(2), 58.
  72. (EN)Keshavarz, M., & Soyuf Jahromi, M. (2017). Effects of primary sex ratio on operational sex ratio in sea urchin, *Echinometra mathaei*. *Pakistan Journal of Zoology*, 49(4), 1373-1381. doi: 10.17582/journal.pjz/2017.49.4.1373.1381
  73. (EN)Kolodziejczyk, N., Portela, E., Thierry, V. & Prigent, A., (2024). Recent trends and regional patterns of ocean dissolved oxygen sexual dimorphism in the shrimp *Arete indicus*, an ectosymbiont of the sea urchin *Echinometra mathaei* in the Persian Gulf, Iran. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 48(2), 259-262.
  59. (EN)Emery, K.O., (1956). Sediments and Water of Persian Gulf. *AAPG Bulletin*, 40(10), 2354-2383. doi: 10.1306/5CEAE595-16BB-11D7-8645000102C1865D
  60. (EN)Ershadifar, H., Saleh, A., Koochaknejad, E., Kor, K., Agah, H., Hamzeh, M.A. & Sharifinia, M., (2024). Suspended particulate matter in the Gulf of Oman: Spatial variations in concentration, bulk composition, and particulate metals controlled by physical and biogeochemical processes. *Science of The Total Environment*, 175396. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175396
  61. (EN)Forsch, K.O., Hahn-Woernle, L., Sherrell, R.M., Rocanova, V.J., Bu, K., Burdige, D., Vernet, M. & Barbeau, K.A., (2021). Seasonal dispersal of fjord meltwaters as an important source of iron and manganese to coastal Antarctic phytoplankton. *Biogeosciences*, 18(23), 6349-6375. doi: 10.5194/bg-18-6349-2021
  62. (EN)Freitas, C., Villegas-Ríos, D., Moland, E. & Olsen, E.M., (2021). Sea temperature effects on depth use and habitat selection in a marine fish community. *Journal of Animal Ecology*, 90(7), 1787-1800. doi: 10.1111/1365-2656.13497
  63. (EN)Garcia-Soto, C., Cheng, L., Caesar, L., Schmidtko, S., Jewett, E.B., Cheripka, A., Chiba, S., Baez, J.C., Zielinski, T. & Abraham, J.P., (2021). An overview of ocean climate change indicators: Sea surface temperature, ocean heat content, ocean pH, dissolved oxygen concentration, arctic sea ice extent, thickness and volume, sea level and strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). *Frontiers in Marine Science*, 8, 642372. doi: 10.3389/fmars.2021.642372
  64. (EN)Ghafarian, P., Kabiri, K., Delju, A.H., & Fallahi, M., (2022). Spatio-temporal variability of dust events in the northern Persian Gulf from 1991 to 2020. *Atmos. Pollut. Res.* 13 (4), 101357 doi: 10.1016/j.apr.2022.101357.
  65. (EN)Glibert, P.M., Berdalet, E., Burford, M.A., Pitcher, G.C. & Zhou, M., (2018). Introduction to the Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms (GEOHAB) Synthesis. In: *Global Ecology*

82. (EN) Mohammadpour, F., Soyufjahromi, M. & Hamzei, S., (2026). Seasonal changes of the stability and double diffusive processes in the trench of the Strait of Hormuz. (e209888). *Iranian Journal of Geophysics*, Articles in Press, Accepted Manuscript, Available Online from 20 November 2024, e209888 doi: 10.30499/ijg.2024.435204.1565
83. (EN) Nezlin, N.P., Polikarpov, I.G., Al-Yamani, F.Y., Rao, D.S. & Ignatov, A.M., (2010). Satellite monitoring of climatic factors regulating phytoplankton variability in the Arabian (Persian) Gulf. *Journal of Marine Systems*, 82(1-2), 47-60. doi: 10.1016/j.jmarsys.2010.03.003
84. (EN) O'Carroll, A.G., Eyre, J.R. & Saunders, R.W., (2019). Observational needs of sea surface temperature. *Frontiers in Marine Science*, 6, 420. doi: 10.3389/fmars.2019.00420
85. (EN) Paparella, F., D'Agostino, D. & Burt, J.A., (2022). Long-term, basin-scale salinity impacts from desalination in the Arabian/Persian Gulf. *Scientific Reports*, 12, 20549. doi: 10.1038/s41598-022-25167-5
86. (EN) Piontkovski, S.A. & Chiffings, T., (2014). Long-term changes of temperature in the Sea of Oman and the western Arabian Sea. *International Journal of Oceans and Oceanography*, 8(1), 53-72.
87. (EN) Pous, S., Carton, X.J. & Lazure, P., (2013). A process study of the wind-induced circulation in the Persian Gulf. *Open Journal of Marine Science*, 3(1), 27160. doi: 10.4236/ojms.2013.31001
88. (EN) Pous, S.P., 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), 42-56. doi: 10.1029/2003JC002145
89. (EN) Prasad, T.G., & Hogan, P.J., (2000). Persian Gulf response to a wintertime shamal wind event. *Deep Sea research part I: Oceanographic research papers*, 57(8), 946-955. doi: 10.1016/j.dsr.2010.03.002
90. (EN) Prasad, T.G., Ikeda, M. & Kumar, S.P., (2001). Seasonal spreading of the Persian Gulf Water mass in the Arabian Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C8), 17059-17071. doi: 10.1029/2000JC000480
91. (EN) Rakib, F., Al-Ansari, E.M.A.S., Husrevoglu, S., Yigiterhan, O., Al-change. *Earth System Science Data*, 16, 5191-5206. doi: 10.5194/essd-16-5191-2024
74. (EN) Kusdiana, D., Manik, H.M., Nainggolan, T.B. & Firdaus, Y., (2025). Comparative analysis of water column temperature using seismic inversion and World Ocean Atlas (WOA) methods in Waipoga Waters, Papua. *Jurnal Perikanan Unram*, 15(2), 668-678. doi: 10.29303/jp.v15i2.1400
75. (EN) Levin, R.A., Beltran, V.H., Hill, R., Kjelleberg, S., McDougald, D., Steinberg, P.D. & van Oppen, M.J.H., (2016). Sex, scavengers, and chaperones: Transcriptome secrets of divergent *Symbiodinium* thermal tolerances. *Molecular Biology and Evolution*, 33(9), 2201-2215. doi: 10.1093/molbev/msw119
76. (EN) L'Hégaret, P., Carton, X., Louazel, S. & Boutin, G., (2016). Mesoscale eddies and submesoscale structures of Persian Gulf Water off the Omani coast in spring 2011. *Ocean Science*, 12(3), 687-701. doi: 10.5194/os-12-687-2016
77. (EN) Li, D., Anis, A. & Al Senafi, F., (2020). Physical response of the Northern Arabian Gulf to winter Shamals. *Journal of Marine Systems*, 203, 103280. doi: 10.1016/j.jmarsys.2019.103280
78. (EN) Liu, Y., Ye, C., Cen, H., Lin, X. & Han, G., (2024). Variations in the Upper Ocean Heat Content of the Southern Canadian Basin. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(4), 667. doi: 10.3390/jmse12040667
79. (EN) Locarnini, M.M., Mishonov, A.V., Baranova, O.K., Boyer, T.P., Zweng, M.M., Garcia, H.E., Reagan Jr., J.R., Seidov, D., Weathers, K.W., Paver, C.R. & Smolyar, I., (2018). *World Ocean Atlas 2018, Volume 1: Temperature*. NOAA Atlas NESDIS 81, 52 pp.
80. (EN) McClanahan, T.R., Atweberhan, M., Muhando, C.A., Maina, J. & Mohammed, M.S., (2007). Effects of climate and seawater temperature variation on coral bleaching and mortality. *Ecological Monographs*, 77(4), 503-525. doi: 10.1890/06-1182.1
81. (EN) Mishonov, A., Boyer, T., Locarnini, R., Garcia, H., Reagan, J., Paver, C., Baranova, O., Seidov, D., Cross, S., Bouchard, C., Ebenezer Nyadjro, E. & Wang, Z., (2025). *Monitoring Ocean Climate with World Ocean Database*. In: OCEANS 2025 Brest, BREST, France, 1-10. IEEE. doi: 10.1109/OCEANS58557.2025.11104766

- (IJCOE), 6(5), 1-9. doi: 10.22034/ijcoe.2021.152602
102. (EN)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(ijcoe)*, 7(4), 1-6. doi: 10.22034/ijcoe.2022.164980
103. (EN)Soyuf Jahromi, M., (2023). Tidal components along the north of Oman Gulf and Persian Gulf. *International Journal of Coastal, Offshore and Environmental Engineering (IJCOE)*, 8(4), 36-48. doi: 10.22034/ijcoe.2024.419460.1043
104. (EN)Stöfen-O'Brien, A., Naji, A., Brooks, A.L., Jambeck, J.R. & Khan, F.R., (2022). Marine plastic debris in the Arabian/Persian Gulf: challenges, opportunities and recommendations from a transdisciplinary perspective. *Marine Policy*, 136, 104909. doi: 10.1016/j.marpol.2021.104909
105. (EN)Swift, S.A. & Bower, A.S., (2003). Formation and circulation of dense water in the Persian/Arabian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C1), 4-1-4-15. doi: 10.1029/2002JC001360
106. (EN)Thoppil, P. & Hogan, P., (2010a). Persian Gulf response to a wintertime shamal wind event. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 57, 946-955. doi: 10.1016/j.dsr.2010.03.002
107. (EN)Thoppil, P.G. & Hogan, P.J., (2010b). A modeling study of circulation and eddies in the Persian Gulf. *Journal of Physical Oceanography*, 40, 2122-2134. doi:10.1175/2010JPO4227.1x
108. (EN)Uddin, S., Fowler, S. W., Saeed, T., Jupp, B., & Faizuddin, M. (2021). Petroleum hydrocarbon pollution in sediments from the Gulf and Omani waters: status and review. *Marine Pollut. Bull.* 173:112913. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112913
109. (EN)Vaughan, G. O., Shiels, H. A., & Burt, J. A. (2021). Seasonal variation in reef fish assemblages in the environmentally extreme southern Persian/Arabian Gulf. *Coral Reefs* 40, 405-416. doi: 10.1007/s00338-020-02041-2
110. (EN)Venegas, R. M., Acevedo, J., & Treml, E. A. (2023). Three decades of ocean warming impacts on marine ecosystems: A review and perspective. *Deep-Sea Research* Maslamani, I., Aboobacker, V.M. & Vethamony, P., (2021). Observed variability in physical and biogeochemical parameters in the central Arabian Gulf. *Oceanologia*, 63(2), 227-237. doi: 10.1016/j.oceano.2020.12.003
92. (EN)Ramak, H., Soyuf Jahromi, M. & Akbari, P., (2023). Investigating the downwelling of Persian Gulf Water in the Gulf of Oman. *International Journal of Coastal, Offshore and Environmental Engineering (IJCOE)*, 8(1), 1-9. doi:10.22034/ijcoe.2023.166317
93. (EN)Rao, G., Al-Sulaiti, M. & Al-Mulla, A., (2001). Winter shamals in Qatar, Arabian Gulf. *Weather*, 56, 444-451. doi: 10.1002/J.1477-8696.2001.TB06528.X
94. (EN)Rao, G., Al-Sulaiti, M. & Al-Mulla, A., (2003). Summer shamals over the Arabian Gulf. *Weather*, 58, 471-478.
95. (EN)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, 35-59. doi: 10.1016/0025-326X(93)90007-7
96. (EN)Rubalcaba, J.G., (2024). Metabolic responses to cold and warm extremes in the ocean. *PLOS Biology*, 22(1), e3002479. doi: 10.1371/journal.pbio.3002479
97. (EN)Sadrinasab, M. & Kämpf, J., (2004). Three-dimensional flushing times of the Persian Gulf. *Geophysical Research Letters*, 31, L24301. doi: 10.1029/2004GL020425
98. (EN)Sale, P.F., Feary, D.A., Burt, J.A., Bauman, A.G., Cavalcante, G.H., Drouillard, K.G., 99. Kjerfve, B., Marquis, E., Trick, C.G., Usseglio P., & Lavieren, H.V. (2010). The growing need for sustainable ecological management of marine communities of the Persian Gulf. *Ambio*, 40, 4-17. doi: 10.1007/s13280-010-0092-6
99. (EN)Santos, D.M.C. & Sato, O.T., (2024). Antarctic Bottom Water in Global Ocean General Circulation Model and Reanalysis outputs. Preprint/presentation at EGU General Assembly 2024, 6632. EGU24-6632. doi: 10.5194/egusphere-egu24-6632
100. (EN)Schlitzer, R., (2023). Ocean Data View software. Available from: <https://odv.awi.de>
101. (EN)Soyuf Jahromi, M. & Emami, M., (2021). The role of different positions of tidal turbines for energy extraction in Qeshm channel. *International Journal of Coastal, Offshore and Environmental Engineering*

- overturning circulation in the Red Sea: 1. model validation and summer circulation. *J. Geophys. Res. Oceans* 119, 2238–2262. doi: 10.1002/2013JC009004
116. (EN)Yao, F., & Johns, W.E., (2010). A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 2. Formation and export of Persian Gulf water. *J. Geophys. Res.* 115, C11018 doi: 10.1029/2009JC005788.
117. (EN)Yu, Y., Notaro, M., Kalashnikova, O.V. & Garay, M.J., (2016). Climatology of summer Shamal wind in the Middle East. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121, 289-305. doi: 10.1002/2015JD024063
118. (EN)Yuan, Q., & Xu, W. (2025). A deep sea sound velocity profile inversion method combining World Ocean Atlas 2023 data and real-time surface sound velocity. In *International Conference on Remote Sensing, Mapping, and Image Processing (RSMIP 2025)*, 13650, 354-362. SPIE. (28 May 2025); doi: 10.1117/12.3067642
119. (EN)Zhong, A., Wang, D., Gong, F., Zhu, W., Fu, D., Zheng, Z., Huang, J., He, X., & Bai, Y., (2024). Remote sensing estimates of global sea surface nitrate: Methodology and validation. *Science of The Total Environment*, 950, 175362. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175362.
- Part II: Topical Studies in Oceanography, 212, Article 105318. doi: 10.1016/j.dsr2.2023.105318
111. (EN)Wang, Z., Liang, Y., Gao, P., Qian, N., & Zhou, L., (2024). Ocean data visualization software (ODV and JOA) and new applications in marine geochemical studies. *Marine Geology Frontiers*, 40(9), 96-108. doi: 10.16028/j.1009-2722.2022.032
112. (EN)Wyatt, A.S.J., Leichter, J.J., Toth, L.T., Miyajima, T., Aronson, R.B. & Nagata, T., (2019). Heat accumulation on coral reefs mitigated by internal waves. *Nature Geoscience*, 13(1), 28–34. doi:10.1038/s41561-019-0486-4
113. (EN)Xue, C., Wang, Z., Yue, L., & Niu, C., (2024). A global four-dimensional gridded dataset of ocean dissolved oxygen concentration retrieval from Argo profiles. *Geoscience Data Journal*, 11(4), 775-789. doi: 10.1002/gdj3.251
114. (EN)Yang, B., & Langdon, C. (2025). The influence of applying skin temperature corrections to gas exchange models on air-sea oxygen flux estimates. *Progress in oceanography*, 230, 103383. doi: 10.1016/j.pocean.2024.103383
115. (EN)Yao, F., Hoteit, I., Pratt, L. J., Bower, A. S., Zhai, P., Köhl, A., Gopalakrishnan G. (2014). Seasonal