

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1400.7.2.8.1

درصد همانندی: ۱۰٪

استفاده از داده‌های دمای سطحی آب دریای عمان برای شناسایی آب زیرسطحی خلیج فارس

حسین رامک^۱، مریم سیوف جهرمی^{۲*}، پرستو اکبری^۳

hoseynramak@gmail.com

^۱ دکتری فیزیک دریا، گروه فیزیک، آموزش و پرورش استان هرمزگان، پارسیان^{۲*} نویسنده مسئول، استادیار فیزیک دریا، گروه علوم غیر زیستی جوی و اقیانوسی، دانشگاه هرمزگان،

soyufjahromi@hormozgan.ac.ir

بندرعباس

pakbari91@yahoo.com

^۳ دکتری فیزیک دریا، گروه فیزیک، آموزش و پرورش استان خوزستان، اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

چکیده

در این پژوهش با هدف شناسایی و ردیابی آب خلیج فارس در دریای عمان از ماهواره استفاده شده است. ردیابی آب زیرسطحی خروجی خلیج فارس از گذرگاه تنگه هرمز به کمک شناسایی ویژگی‌های دمایی آب سطحی عمان در ناحیه‌ای که وجود آب زیرسطحی خلیج فارس در مطالعات گذشته تأیید شده است، می‌تواند به ردیابی آب زیرسطحی منجر شود. در این مطالعه از داده‌های دمای سطح دریا از مجموعه داده اوستیا برای حوضه مورد مطالعه که خلیج فارس و قسمتی از دریای عمان (۴۷ تا ۵۹/۴۵ درجه شرقی و ۲۲/۶ تا ۳۲ درجه شمالی) است، تهیه شد. سپس با توجه به مطالعات ناشی از داده‌های اندازه‌گیری ۷۳ ساله موجود در منطقه و شناسایی گستره دمایی آب سطحی دریای عمان (۲۳/۰۰ - ۲۲/۲۰ درجه سانتی‌گراد) و آب زیرسطحی خلیج فارس (۲۲/۲۰ - ۱۶/۰۰ درجه سانتی‌گراد) روی همدیگر قرار گرفته‌اند، داده‌های ماهواره‌ای فیلتر شدند. برای فیلتر کردن داده‌ها و ترسیم شکل‌ها از کد نویسی در محیط متلب استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که آب خلیج فارس می‌تواند تا قسمت‌های میانی دریای عمان منتقل شود آب سطحی (دمای ۲۸/۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) در فصل سرد در محدوده ۵۸/۵ تا ۵۹/۵ درجه شرقی و در فصل گرم به سمت طول‌های جغرافیایی تا بیش از ۵۹/۵ درجه شرقی پیشروی می‌کند. در نتیجه میزان نفوذ آب خلیج فارس در دریای عمان در فصل گرم نیم درجه طول جغرافیایی بیش از فصل سرد است.

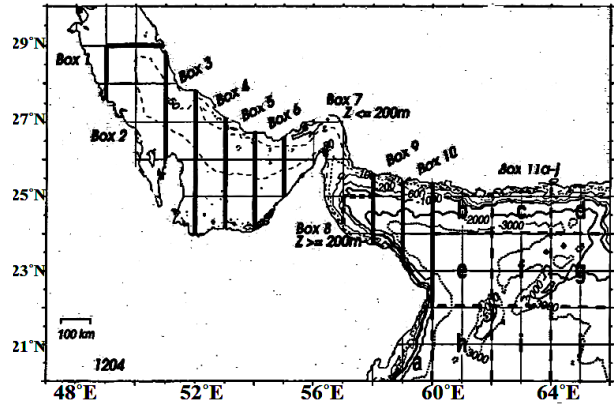
کلمات کلیدی: ماهواره؛ ردیابی؛ توده آب؛ خلیج فارس؛ دریای عمان؛ دمای سطح دریا

۱. مقدمه

شارش آب نقش مهمی در ایجاد الگوی کلی جریان ساحلی، انتقال رسوب و تغییر حالت ساحل با گذر زمان دارد [۱]. بنابراین شناخت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی یک جریان، می‌تواند محقق را در ردیابی جریان یاری رساند. امروزه مطالعه جریان برای پژوهشگران اهمیت زیادی دارد. ماهواره یکی از راه‌های شناخت جریان است. همچنین، تعیین عمق آب در مطالعات مختلف دریایی و اقیانوسی به کمک ماهواره بسیار کم‌هزینه است [۲-۵]. گردش سطحی آب طی مارس و آوریل ۱۹۸۹ در شمال غربی خلیج مکزیک به کمک ماهواره، نمونه‌ای از آن است [۶]. کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در بررسی الگوی جریان، علم جدیدی است و می‌توان در این خصوص به مطالعات پیراچا و همکاران در سال ۲۰۱۸ و بارتون و همکاران در سال ۲۰۲۰ اشاره نمود که خود نشان‌دهنده تازه بودن این علم است [۷-۸]. از دیگر تحلیل‌های مفید که به کمک داده‌های ماهواره‌ای می‌توان انجام داد، استفاده از این داده‌ها برای بیان ویژگی‌های آب دریای بارتنس و شناخت تغییرات چشمه‌های آن است [۸]. نتایج مطالعه [۸] نشان داد که دمای سطح دریا^۲ می‌تواند تقریب بسیار خوبی برای محاسبه مقدار گرما در ستون بالایی آب در جنوب شرقی دریای بارتنس باشد و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مقدار آب کم‌شورتر را می‌توان محاسبه کرد. پیراچا و همکاران در سال ۲۰۱۸، به منظور توصیف و چگونگی توزیع، پویایی توده آب، مناطق تشکیل توده و تخمین ماهواره‌ای این مناطق از داده‌های ماهواره‌ای اوستیا^۵ استفاده کردند [۷]. در مطالعه آن‌ها که برای حوضه‌های اقیانوس آرام شمالی-جنوبی و اطلس شمالی در بیشتر از ۳ سال انجام شد، چگونگی تشکیل توده آب این حوضه‌ها و آهنگ تغییرات آن‌ها محاسبه شده است [۷]. همچنین از اول ژانویه ۱۹۸۵ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۷ از داده‌های اوستیا برای آنالیز دمای روزانه جهانی سطح دریا با قدرت تفکیک زیاد استفاده شده است [۹] که از کیفیت خوب داده‌ها حکایت دارد. در مطالعه استارک و همکاران در سال ۲۰۰۷ برای مطالعه و تحلیل دمای آب سطحی اقیانوس اطلس شمالی از داده‌های اوستیا استفاده شد و نتایج آن با پیش‌بینی عددی آب‌وهوای جهانی^۶ در بیست و چهارم مارس ۲۰۰۷ مقایسه شد.

از آنجاکه داده‌های اوستیا قدرت تفکیک بسیار خوبی داشتند، این ویژگی توانست شناخت جریان‌های قوی اقیانوسی، مانند جریان گلف استریم و عوارض میان‌اقیانوسی^۷ را در مقایسه با پیش‌بینی عددی آب‌وهوای جهانی به‌خوبی بهبود بخشد. مطالعه گردابه‌های میان‌مقیاس در اقیانوس جنوبی به کمک داده‌های ماهواره‌ای با مشاهدات ۱۰ ساله انجام شده است. در مطالعه [۱۰] نشان داده شد که آب‌های زیرسطحی متأثر از اختلاط گرداب‌های عمیق اقیانوس جنوبی است [۱۰]. ویژگی‌های توده‌های آب سطحی در دریاهای لاپتف و شرق سیرری در تابستان ۲۰۱۸ از داده‌های ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت که دمای سطحی و شوری سطحی دریا بر اساس تخمین‌های ماهواره‌ای امکان بررسی دگرگونی توده آب‌های سطحی را نشان می‌دهد [۱۱]. در مطالعه بارتون و همکاران در سال ۲۰۲۰ هم از اعتبار داده‌های ماهواره‌ای اوستیا برای ردیابی توده آب دریای بارتنس به مدت ۱۰ سال (سال ۲۰۰۳-۲۰۱۳) استفاده شد. لورنز و همکاران در سال ۲۰۲۰، آب خلیج فارس با مدل عددی حمل‌ونقل عمومی^۸ مدل‌سازی کردند و نتایج مدل با داده‌های اوستیا [۱۲] برای ۲۴ مارس ۲۰۰۷ مقایسه شد که تطابق خوبی بین مدل و داده‌های اوستیا در ردیابی آب خلیج فارس در تاریخ ۲۴ مارس ۲۰۰۷ مشاهده شد [۱۳]. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، نشان‌دهنده نفوذ آب خلیج فارس به دریای عرب است [۱۴-۱۶]. اندازه‌گیری‌های میدانی در قسمت شمالی تنگه هرمز محدود است. البته برخی از اندازه‌گیری‌ها به قسمت جنوبی تنگه هرمز [۱۷] و ورودی تنگه [۱۸-۱۹] برمی‌گردد. پروفایل دما و شوری خلیج فارس و دریای عمان و دریای عرب، توسط آلسی و همکاران در سال ۱۹۹۹ با استفاده از داده‌های تاریخی در بازه ۱۹۲۳-۱۹۹۶ (۷۳ سال) ترسیم شده است. آن‌ها، حوضه را به جعبه‌های مختلف (شکل ۱) تقسیم کردند و در هر جعبه، نمودارهای دما-شوری که به آن نمودار TS می‌گویند، رسم نمودند. شکل ۲، نمونه‌ای از نمودار TS از جعبه شماره ۹ (جعبه خاکستری‌رنگ شکل ۱) را نشان می‌دهد که جزئیات آن در جدول ۱ آورده شده است [۲۰].

مطالعاتی که در این زمینه انجام شده حکایت از کیفیت خوب این داده‌ها دارد. در این تحقیق با هدف شناسایی میزان نفوذ توده آب خلیج فارس در دریای عمان به کمک داده‌های ماهواره‌ای دمای سطحی آب دریا در دو فصل گرم و سرد انجام شده است. سپس داده‌های ماهواره‌ای، فیلتر می‌شوند تا بر اساس محدوده دما، تحلیل دمایی برای فصل گرم و سرد میسر شود. سپس نتایج با دیگر مطالعات منطقه، مقایسه می‌شود تا میزان تصدیق داده‌های ماهواره‌ای در ردیابی جریان آب، ارزیابی شود.

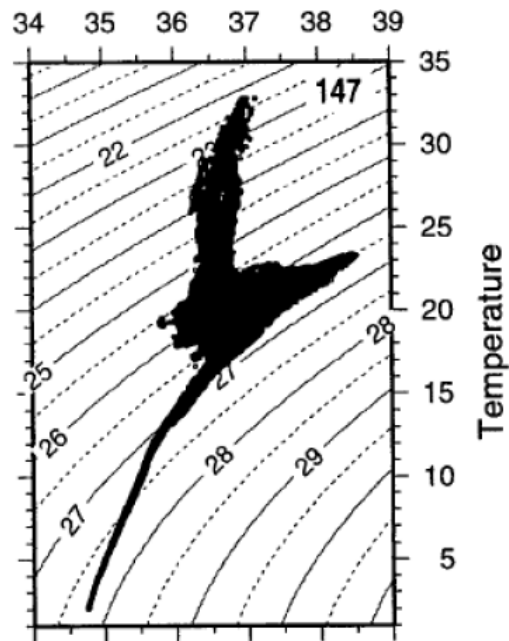


شکل ۱. نحوه تقسیم‌بندی حوضه خلیج فارس و دریای عمان [۲۰]، جعبه ۹ در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

۲. مواد و روش کار

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس (شکل ۳)، محیطی کم‌عمق، نیمه بسته و با عمق متوسط ۳۵ متر و بیشینه عمق ۹۰ متر است که به وسیله تنگه هرمز به دریای عمان متصل می‌شود [۱۷]. از سمت شمال تنگه هرمز به طرف جنوب آن، عمق تنگه بیشتر می‌شود و در نتیجه عمیق‌ترین نقاط در سمت ساحل جنوبی آن قرار دارد [۲۰]. در تنگه هرمز عمق ۱۰۰ متری نیز وجود دارد [۲۱]. دمای آب خلیج فارس بین ۳۲ تا ۳۴ درجه در تابستان و ۱۸ تا ۲۰ درجه در زمستان متغیر است [۱۹]. در زمستان آب خلیج فارس شوری ۳۹/۵ psu و در تابستان ۳۹ psu دارد [۱۷]. خلیج فارس مانند یک خور معکوس است [۱۷، ۱۹]. آبی که شوری کمتری دارد از مناطق شمالی تنگه هرمز به خلیج وارد می‌شود [۱۷، ۱۹]. آب با شوری بیشتر به صورت جریان خروجی از خلیج فارس از نواحی جنوبی تنگه هرمز به دریای عمان نفوذ می‌کند. در بیشتر مناطق، بیشینه شوری توده آب خلیج فارس بین ۴۰/۵-۴۰ psu است. جریان خروجی از خلیج فارس در مطالعات گذشته [۲۳-۲۶] گزارش شده است. آب خروجی خلیج فارس بعد از ورود به دریای عمان، در نزدیکی سواحل کشور عمان، با توده‌های آب با شوری کمتر مانند آب‌های سطحی اقیانوس هند^۹ مخلوط می‌شود و ضمن این که شوری آن کاهش می‌یابد در نهایت به عمقی که شناوری خنثی دارد، می‌رسد. آنچه که



شکل ۲. نمودار TS سالیانه مربوط به جعبه شماره ۹ از شکل ۱ که مربوط به ۷۳ سال داده (۱۹۹۶-۱۹۲۳) است [۲۰].

جدول ۱. گستره دمایی (برحسب درجه سانتی‌گراد) مربوط به شکل ۲ [۲۰].

نام توده آب	حداقل	حداکثر	دامنه تغییرات
آب سطحی دریای عمان	۲۲/۲۰	۳۲/۰۰	۹/۸۰
آب خلیج فارس	۱۶/۲۰	۲۲/۲۰	۶/۰۰
آب عمقی دریای عمان	۱/۵۰	۱۶/۲۰	۱۴/۷

از آنجا که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای هزینه کمتری دارند و مطالعه آن‌ها آسان‌تر و در دسترس‌تر است، از داده‌های ماهواره‌ای دمای سطحی دریا به منظور شناسایی جریان آب خلیج فارس در دریای عمان استفاده شده است. همچنین

است [۱۳]. در این مطالعه با اعتماد به همه این ویژگی‌های داده‌های اوستیا، از آن برای شناسایی و ردیابی جریان آب زیر سطحی خلیج فارس واقع در دریای عمان در دو فصل گرم و سرد استفاده شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های دمای سطح دریا در داده اوستیا در مطالعه حاضر

ویژگی	کمیت
NOAA متوسط جهانی ۲۰۱۴-۲۰۲۰	مؤسسه تولید کننده داده‌ها مقادیر داده
۰۰:۰۰:۰۰، ۱۹۷۰-۰۱-۰۱ ۲۰۱۴-۲۰۱۹ روز	مبدأ زمانی داده‌ها گستره زمانی داده‌ها قدرت تفکیک زمانی
۵۹/۴۵ تا ۴۷ ۳۲ تا ۲۲/۶ درجه	طول جغرافیایی (°E) عرض جغرافیایی (°N) قدرت تفکیک مکانی

۲-۳. تحلیل اولیه داده‌ها

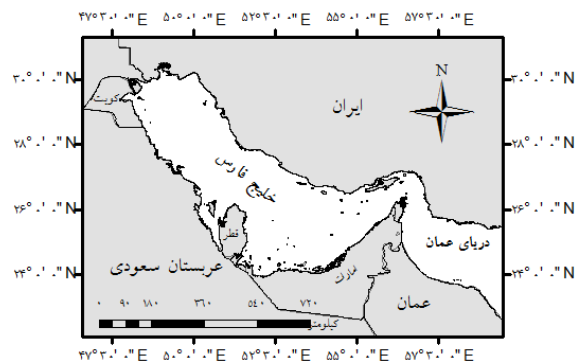
داده‌های دمای اوستیا، از منطقه مورد مطالعه (شکل ۳)، به صورت روزانه، با قدرت تفکیک مکانی 0.1° ، به مدت ۶ سال از تاریخ نهم مهرماه ۱۳۹۲ (۱ اکتبر ۲۰۱۳) تا هشتم مهرماه ۱۳۹۸ (۳۰ سپتامبر ۲۰۱۹)، در دو فصل گرم و سرد مطابق با جدول ۳ و با فرمت نرم‌افزار متلب به صورت فایل mat تهیه شد. البته در داده‌های مورد استفاده یک سال کیسه (سال ۲۰۱۶) وجود داشت که روز آخر به عنوان فصل سرد استفاده شد.

جدول ۳. ماه‌های مورد استفاده در فصل گرم و سرد

ماه‌های فصل سرد	ماه‌های فصل گرم
October	April
November	May
December	June
January	July
February	August
March	September

سپس از داده‌ها برای کل حوضه، متوسط زمانی، بیشینه، کمینه، دامنه تغییرات و میانگین و انحراف معیار (به اختصار 1σ) به دست آمد و اطلاعات هر دوره به تفکیک رسم شد. میانگین جغرافیایی دمای سالیانه حوضه در سال‌های مذکور (۲۰۱۴-۲۰۱۹) برای همه سلول‌ها، محاسبه شد.

در ویژگی دمایی آب خلیج فارس دیده می‌شود، وجود لایه دمایی گرم آن است. در این پژوهش، از داده‌های ماهواره‌ای دمای سطحی به منظور شناسایی جریان آب زیر سطحی خلیج فارس استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه در محدوده طول جغرافیایی ۴۷ تا ۵۹/۴۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۲/۶ تا ۳۲ درجه شمالی واقع شده است. اطلاعات مربوط به خط ساحلی این شکل، از داده‌های جیکو^۱، تهیه و در محیط ArcGIS [۲۷] ترسیم شده است (شکل ۳).



شکل ۳. محدوده منطقه مورد مطالعه

۲-۲. داده‌های مورد استفاده

برای دستیابی به اهداف پژوهش از داده‌های دمای سطح دریای اوستیا با قدرت تفکیک 0.1° درجه از سنجنده ماهواره‌ای نوآ^۲ [۲۸] استفاده شد که زیر پوشش اداره هواشناسی انگلیس^۳ است [۲۹]. اساس داده‌های اوستیا، داده‌های ماهواره‌ای GHRSSST است که از داده‌های مادون قرمز و مایکروویو تشکیل شده است. این داده‌ها، زمان، مکان و دمای سطحی آب را در بر می‌گیرد. جدول ۲، ویژگی‌های داده‌های دما را نشان می‌دهد.

داده‌های اوستیا، علاوه بر اینکه اعتبار خوبی در مطالعات گذشته (به عنوان نمونه مطالعات [۷-۹]) از خود نشان دادند، آب جهانی اقیانوس را هم به خوبی پوشش می‌دادند. این داده‌ها در منطقه مورد مطالعه نیز پیش‌از این آزمایش شده‌اند. به عنوان مثال از این داده‌ها برای ردیابی توده آب خلیج فارس در دریای عمان برای یک روز (۲۴ مارس ۲۰۰۷) استفاده شده

۲-۴. نحوه فیلتر کردن داده‌ها

از آنجاکه در این مطالعه شناخت دمای توده آب خلیج فارس، بر اساس دمای سطحی آب دریای عمان است، بنابراین لازم بود که مشخصات آن توده زیرسطحی از آب سطحی دریای عمان که مطالعه [۲۰] (که مرجع قابل اعتماد در بسیاری از پژوهش‌های منطقه مانند [۱۳، ۱۷، ۳۰-۴۲] است) به حضور توده آب خلیج فارس در زیر آن با قاطعیت اذعان داشته است، استخراج شود و داده‌های سطحی دما با مشخصات فیزیکی آب سطحی دریای عمان فیلتر شوند. این فیلتر با شناخت محدوده مکانی توده آب بر اساس اندازه‌گیری طولانی مدت با ۷۳ سال داده اندازه‌گیری که در مطالعه [۲۰] به آن پرداخته شد، انجام پذیرفت. طبق این مطالعه، آب سطحی دریای عمان دارای گستره دمایی ۳۲/۰۰-۲۲/۲۰ درجه سانتی‌گراد و آب خلیج فارس که در زیر آن قرار دارد، دارای گستره دمایی ۲۲/۲۰-۱۶/۲۰ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱). در دریای عمان، چون آب خلیج فارس در زیر آب سطحی دریای عمان در جریان است، پس می‌بایست از داده‌های طولانی مدت که به‌خوبی ویژگی دمایی را نشان می‌داد، استفاده می‌شد. اطلاعات ارائه‌شده در مقاله آلسی و همکاران [۲۰] در این خصوص مفید بود. با توجه به اینکه مدت زمان ماندگاری آب‌های سطحی خلیج فارس ۳ تا ۵ سال و آب‌های عمیق بین ۵ تا ۷ سال است [۳۰]، پس در نتیجه داده‌های اندازه‌گیری ۷۳ ساله آلسی و همکاران [۲۰] با در بر گرفتن بیش از ده دوره از جریان آب خلیج فارس در دریای عمان، در مقایسه با سایر مطالعات [۴۳-۴۶] و [۱۹] جامع‌تر بود و بهتر می‌توانست الگوی مناسبی از دمای آن را ارائه کند. در نتیجه با تخمین موقعیت دمایی لایه آب سطحی دریای عمان، می‌توان برآورد نسبی از لایه زیرین آن یعنی جریان آب خلیج فارس، داشت. از این ویژگی برای تحلیل جریان آب خلیج فارس استفاده شد و تغییرات آن در دو فصل گرم و سرد مقایسه شد؛ بنابراین داده‌های اوستیا، طبق اطلاعات

دمایی آب سطحی عمان، فیلتر شدند تا موقعیت آب زیرسطحی زیر آن شناسایی شود. تحلیل‌ها جهت میزان تفاوت توده آب خلیج فارس در دو فصل گرم و سرد نیز بر اساس گستره دمایی ۳۲/۰۰-۲۲/۲۰ درجه سانتی‌گراد صورت پذیرفت تا تفاوت این بازه دمایی بین دو فصل گرم و سرد مشخص شود. در این پژوهش از کدهای برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶، استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

جدول ۴، اطلاعات آماری داده‌ها را در بازه سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. این جدول به‌خوبی نشان می‌دهد که میانگین سالیانه دمای سطح دریا در منطقه تقریباً ثابت است (۲۷ درجه سانتی‌گراد). سال ۲۰۱۶، بیشترین میانگین دمای سطحی سالیانه و سال ۲۰۱۴، کمینه میانگین دمای سطحی سالیانه داشت. بیشینه دامنه تغییرات دما در همه حوضه، مربوط به سال ۲۰۱۷ (۲۲/۴۲ درجه سانتی‌گراد) و کمترین آن در سال ۲۰۱۸ (۲۰/۶۸ درجه سانتی‌گراد) است. با توجه به این که داده‌ها، روزانه بودند، بیشترین و کمترین دمای سطحی روزانه ثبت شده در حوضه مربوط به سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۱۷ بود (۳۵/۸۷ و ۱۳/۱۱ درجه سانتی‌گراد).

جدول ۴ تغییرات آماری سالیانه دمای سطح دریا (درجه سانتی‌گراد) در بازه ۲۰۱۴ الی ۲۰۱۹

سال	میانگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	دامنه
۲۰۱۴	۲۷/۰۴	۰/۱۲	۳۴/۸۹	۱۳/۶۲	۲۱/۲۷
۲۰۱۵	۲۷/۳۱	۰/۰۹	۳۵/۵۰	۱۴/۱۷	۲۱/۳۳
۲۰۱۶	۲۷/۴۱	۰/۱۱	۳۵/۶۹	۱۳/۵۶	۲۲/۱۳
۲۰۱۷	۲۷/۲۲	۰/۰۹	۳۵/۵۳	۱۳/۱۱	۲۲/۴۲
۲۰۱۸	۲۷/۳۵	۰/۱۱	۳۵/۲۴	۱۴/۵۶	۲۰/۶۸
۲۰۱۹	۲۷/۱۹	۰/۰۷	۳۵/۸۷	۱۳/۷۷	۲۲/۱۰
کلی	۲۷/۲۵	۰/۱۰	۳۵/۴۵	۱۳/۷۹	۲۱/۷۳

شکل ۴، میانگین شش‌ساله از توزیع سالیانه دمای سطح دریا در حوضه خلیج فارس و دریای عمان را نشان می‌دهد. گستره دمایی ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد در شمال تنگه هرمز و دو لکه

فصل گرم و سرد، در بازه سال‌های مورد مطالعه (۲۰۱۹-۲۰۱۴) مشخص شده است. بیشترین و کمترین دمای میانگین سطح دریا برای فصل گرم به ترتیب در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۴ و در فصل سرد مربوط به سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۴ است که میانگین دمای حوضه نسبت به فصل گرم، در حدود ۶ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. بیشترین و کمترین دامنه تغییرات دمایی در فصل گرم به ترتیب مربوط به سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۸ و در فصل سرد، مربوط به سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ است.

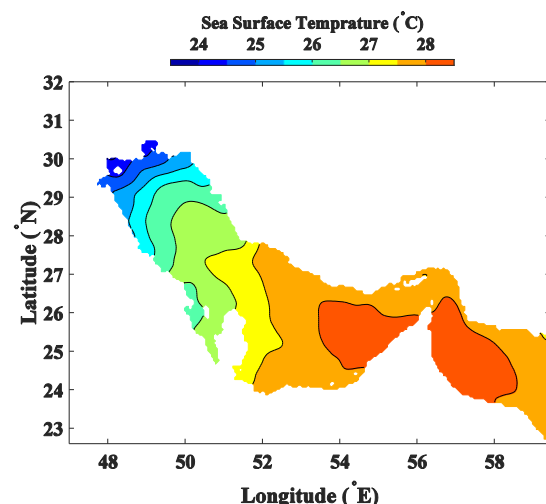
جدول ۵. تغییرات آماری داده‌های دمای سطح دریا برحسب درجه سانتی‌گراد (از داده‌های اوستیا برای فصل گرم محاسبه شده است).

سال	میانگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	دامنه
۲۰۱۴	۳۰/۰۱	۰/۰۴	۳۴/۸۹	۱۸/۲۷	۱۶/۶۲
۲۰۱۵	۳۰/۰۸	۰/۰۷	۳۵/۵۰	۱۹/۵۹	۱۵/۹۱
۲۰۱۶	۳۰/۴۱	۰/۰۴	۳۵/۶۹	۱۹/۱۳	۱۶/۵۶
۲۰۱۷	۳۰/۴۸	۰/۰۷	۳۵/۵۳	۱۹/۱۷	۱۶/۳۶
۲۰۱۸	۳۰/۱۱	۰/۰۵	۳۵/۲۴	۲۰/۱۷	۱۵/۰۵
۲۰۱۹	۳۰/۰۹	۰/۰۷	۳۵/۸۷	۱۸/۹۱	۱۶/۹۶
کلی	۳۰/۲۹	۰/۰۵	۳۵/۴۵	۱۹/۲۰	۱۶/۲۴

جدول ۶. تغییرات آماری داده‌های دمای سطح دریا برحسب درجه سانتی‌گراد (از داده‌های اوستیا برای فصل سرد محاسبه شده است).

سال	میانگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	دامنه
۲۰۱۴	۲۳/۷۶	۰/۰۷	۳۲/۴۱	۱۳/۶۲	۱۸/۷۹
۲۰۱۵	۲۴/۲۳	۰/۰۶	۳۳/۵۶	۱۴/۱۷	۱۹/۳۹
۲۰۱۶	۲۴/۴۲	۰/۰۹	۳۳/۶۹	۱۳/۵۶	۲۰/۱۳
۲۰۱۷	۲۳/۹۵	۰/۰۷	۳۲/۶۷	۱۳/۱۱	۱۹/۵۶
۲۰۱۸	۲۴/۵۷	۰/۰۸	۳۴/۰۶	۱۴/۵۶	۱۹/۵۰
۲۰۱۹	۲۴/۲۸	۰/۰۶	۳۴/۰۱	۱۳/۷۷	۲۰/۲۴
کلی	۲۴/۲۱	۰/۰۷	۳۳/۴۰	۱۳/۷۹	۱۹/۶۰

دمایی ۲۸ درجه سانتی‌گراد در جنوب دیده می‌شود که ناحیه وسیعی از محدوده ورودی تنگه هرمز به دریای عمان را پوشش می‌دهد. مطابق شکل ۵ در بیشتر سال‌های مورد مطالعه (۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸)، دمای آب سطحی در ناحیه ۵۶ تا ۵۷ درجه شرقی در حدود ۲۸ تا ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد است که به مقدار میانگین سالیانه ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ (جدول ۴ و شکل ۴) بسیار نزدیک است، اما این دما در محدوده ۵۸ تا ۵۹/۵ درجه شرقی به ۲۷ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ (شکل ۵) دمای آب سطحی این مناطق حدود ۱/۵ درجه افزایش می‌یابد و به ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و این محدوده دمایی ناحیه وسیع‌تری بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ تا ۵۹/۵ درجه شرقی را از تنگه هرمز به طرف شرق تا قسمت جنوبی دریای عمان نیز می‌پوشاند. از سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ (شکل ۵) این گستره دمایی از سواحل ایران دورتر شده و به سمت کشور عمان کشیده می‌شود که نشان می‌دهد آب خروجی از تنگه هرمز با دمای بیشتر به مناطق جنوبی دریای عمان می‌رسد (شکل ۵).



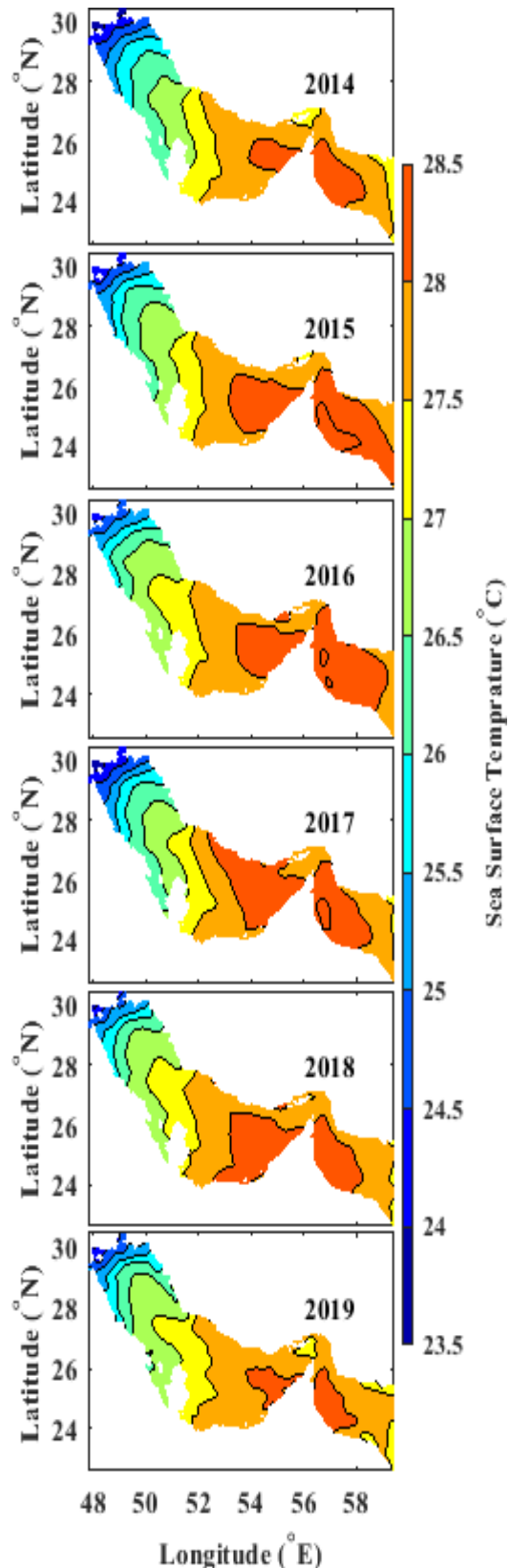
شکل ۴. متوسط سالیانه (سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹) دمای سطح دریا برحسب درجه سانتی‌گراد از داده‌های اوستیا

با توجه به این که هدف این پژوهش، ردیابی آب در دو فصل گرم و سرد است، بنابراین با تفکیک زمانی داده‌ها به دو فصل گرم و سرد بر اساس جدول ۵ و ۶، میانگین دمای حوضه در

بیشینه و کمینه دمای سطحی روزانه ثبت شده در حوضه برای فصل گرم در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴ و برای فصل سرد نیز در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۷ است.

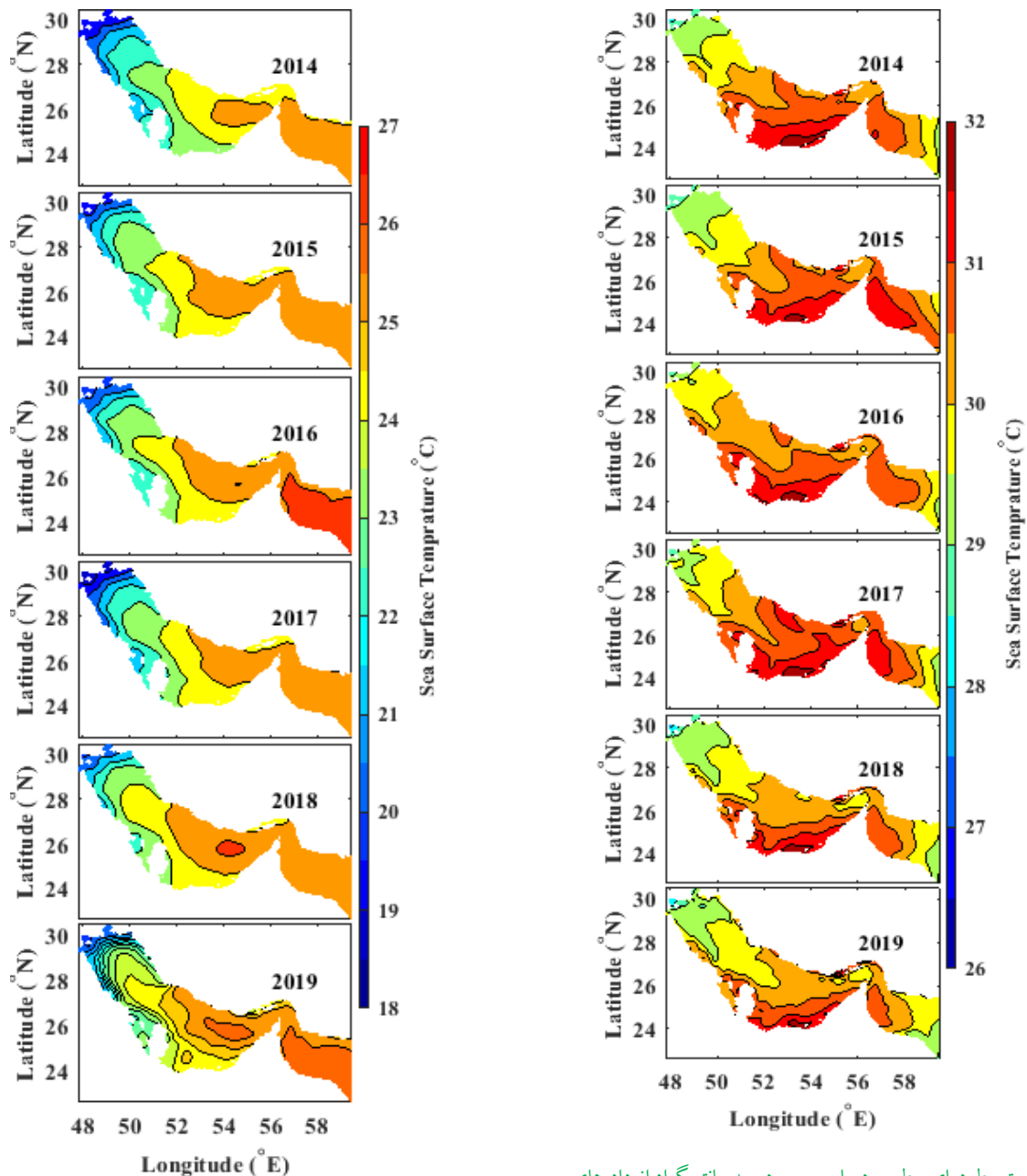
با ترسیم توزیع مکانی فصل گرم (شکل ۶) و سرد (شکل ۷)، دیده می‌شود که دمای سطحی آب در فصل گرم در قسمت غربی دریای عمان در طول‌های جغرافیایی ۵۹ تا ۶۰ درجه شرقی (۲۹ تا ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد) نسبت به بقیه طول‌های جغرافیایی در حدود ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد کمتر است. در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ (شکل ۶) محدوده دمایی آب بین ۳۰/۵ تا ۳۱/۲ درجه سانتی‌گراد بیشتر در محل خروجی تنگه هرمز (در محدوده طول جغرافیایی ۵۶ تا ۵۷ درجه شرقی) قرار دارد.

با توجه به تغییرات دمایی سطح دریا در دو فصل گرم و سرد، به‌خوبی مشاهده می‌شود که توزیع تغییرات دمایی سطح دریا در فصل سرد، نسبت به فصل گرم مقادیر کمتری دارد. بخشی از دریای عمان دمای یکنواخت‌تری (۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد) نسبت به خلیج فارس در فصل سرد (شکل ۷) دارد که این ویژگی در سال ۲۰۱۶ (۲۶ درجه سانتی‌گراد) و در سال ۲۰۱۹ (۲۷ درجه سانتی‌گراد) محسوس‌تر و واضح‌تر است که می‌تواند نشان‌دهنده آبی باشد که در فصل سرد از تنگه هرمز خارج شده و به سواحل عمان و دریای عمان نزدیک می‌شود و به قسمت غربی دریای عمان (محدوده ۵۷ تا ۵۹/۵ درجه شرقی) می‌رسد. طبق این نتیجه، آب خارج شده از تنگه هرمز به سواحل جنوبی دریای عمان وارد می‌شود که با مطالعه رینولدوز در سال ۱۹۹۳ همخوانی دارد آنان به کمک داده‌های اندازه‌گیری نشان دادند که آب شورتر از نواحی جنوبی و نزدیک سواحل عمان از تنگه خارج می‌شود که تحلیل دمایی آب‌های سطحی در هر دو فصل گرم و سرد، خروج آب خلیج فارس را از قسمت جنوبی و نزدیک ساحل عمان تصدیق می‌کند.



شکل ۵. متوسط دمای سالیانه سطح دریا برحسب درجه سانتی‌گراد در

سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ از داده‌های اوستیا



شکل ۶. متوسط دمای سطحی دریا برحسب درجه سانتی گراد از داده‌های

اوستیا برای فصل گرم سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹

شکل ۷. متوسط دمای سطحی دریا برحسب درجه سانتی گراد از داده‌های

اوستیا برای فصل سرد سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹

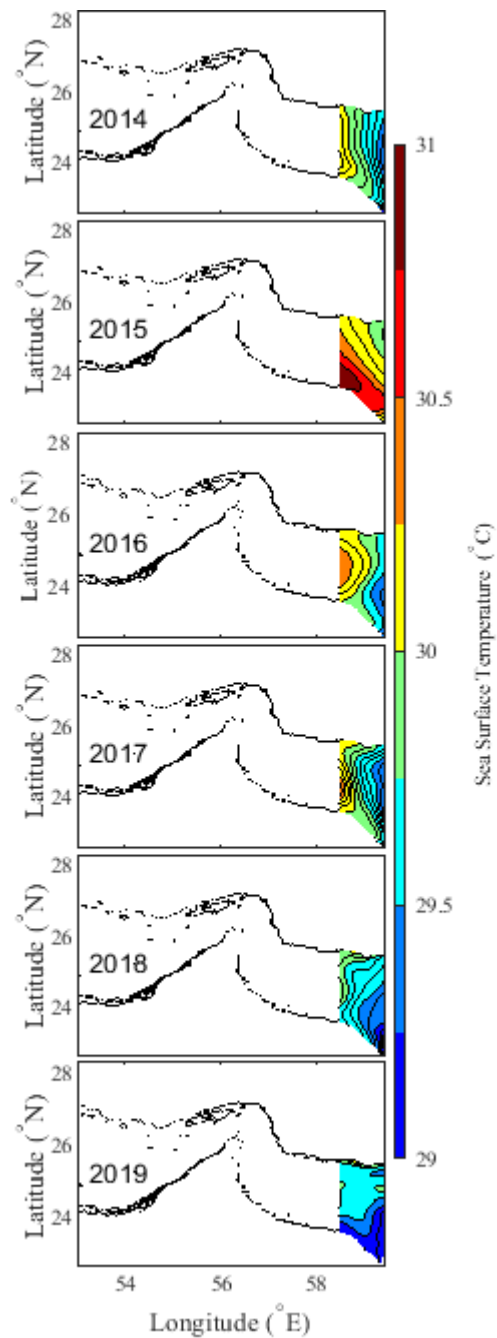
دمایی به سمت مناطق کم عمق جنوبی در سواحل عمان کشیده می‌شود که با مطالعه کامپف و صدری نسب در سال ۲۰۰۶ تطابق خوبی دارد [۴۷]. آنها نشان دادند آب چگال از نواحی کم عمق جنوبی خلیج فارس در زمستان تا اواخر بهار به تنگه هرمز می‌رسد که این بیانگر تأیید اطلاعات فصل سرد در این مطالعه است.

در فصل گرم در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ (شکل ۶)، گستره دمایی ۳۰ تا ۳۰/۵ درجه سانتی گراد در قسمت شمالی تنگه هرمز متمرکز است که با مطالعه پوس و همکاران در سال ۲۰۰۴ مشابهت دارد، آنان با بررسی نتایج تحقیقات گشت GOGP99 نشان دادند که آب سطحی سردتر و کم شورتر اقیانوس هند در فصل گرم از قسمت شمالی تنگه، وارد خلیج فارس می‌شود [۱۹]. در فصل سرد در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۹ (شکل ۷) گستره

می‌دهد که باعث خروج آب عمیق کرتان^{۱۶} از دریای کرتان به حوضه‌های شرق دریای مدیترانه می‌شود. مشخص شده است که حوضه مرکزی دریای اژه محل تشکیل آب میانی اژه است که به سمت جنوب می‌لغزد و بسته به چگالی آن‌ها، آب لایه میانی یا عمیق دریای کرتان را جایگزین می‌کند که در طول زمستان ۱۹۸۸، آب دریای کرتان بیشتر در لایه میانی جایگزین شد، در حالی که در طول زمستان ۱۹۹۰، عمدتاً حجم این آب بود که افزایش یافت. در سال ۱۹۸۸ حجم آن به ۱۴/۱ درصد دریای اژه و در سال ۱۹۹۰ به ۲۲ درصد آن رسیده است که تضعیف و تقویت آب خروجی دریای اژه در این سال‌ها را نشان می‌دهد [۴۸]. به علاوه، در سال ۲۰۱۵ از فصل گرم (شکل ۸) راستای خطوط هم‌دما از شمال غربی به جنوب شرقی است که در این سال رنگ قرمز (۳۰ تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد) بیشتری دیده شد که نشان‌دهنده افزایش دما است؛ اما در بعضی از سال‌ها (مانند سال ۲۰۱۶) دما کمتر است. این موضوع می‌تواند بیانگر آن باشد که آب خلیج فارس تغییر مکان داده است به طوری که در سال ۲۰۱۶ نسبت به سال ۲۰۱۵ آب در حدود ۰/۱۲ درجه معادل ۱۴ کیلومتر و سال ۲۰۱۷ نسبت به سال ۲۰۱۶ نیز حدود ۰/۰۸ درجه معادل ۹/۵ کیلومتر جلوتر رفته و به سمت شرق پیشروی داشته است و آب خروجی از تنگه هرمز به سواحل جنوبی دریای عربی وارد شده است. در مطالعه پوس و همکاران در سال ۲۰۰۴، هم نفوذ آب خلیج فارس دیده می‌شود که با استفاده از داده‌های ADCP و داده‌های بویه که طی گشت GOGP99 در اکتبر و اوایل نوامبر ۱۹۹۹ به دست آمد، برای توصیف هسته آب خلیج فارس^{۱۷} و گردش آن در خلیج عمان مورد استفاده قرار دادند و نشان دادند که هسته آب خروجی از تنگه هرمز تا دریای عربی نفوذ می‌کند و در فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتری ساحل آن قرار دارد.

در نتایج حاصل از فیلتر دمایی که مربوط به داده‌های ماهواره‌ای اوستیا در فصل گرم (شکل ۸) سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ است، مشاهده شد که در طول ۵۹ تا ۵۹/۵ درجه شرقی از سواحل کشور ایران تا سواحل کشور عمان دمای بیشتر (حدود ۳ درجه بیشتر) و یکنواخت‌تری نسبت به فصل سرد (۲۹ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) وجود دارد. در سال ۲۰۱۵ (شکل ۸) دمای این ناحیه به خصوص در ناحیه جنوبی آن به ۳۱ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. با توجه به محدوده انتخابی از مطالعه آلسی و همکاران در سال ۱۹۹۹ مشاهده می‌شود که خطوط هم‌دما در فصل گرم سال ۲۰۱۴، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ (شکل ۸) در راستای شمال-جنوب قرار دارد؛ بنابراین می‌توان انتظار داشت که خطوط هم‌دمای آب خلیج فارس زیر آن نیز در همین راستای شمال-جنوب باشد و به عبارتی این جریان آب در راستای محور دریای عمان به طرف شرق در جریان باشد. محدوده دمایی بین ۳۰ تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۵ فصل گرم (شکل ۸) تقریباً همه محدوده مورد مطالعه را به جز ناحیه‌ای در شمال شرقی در سمت سواحل ایران، پوشش می‌دهد؛ اما در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ (شکل ۸)، این محدوده دمایی اصلاً دیده نمی‌شود و در سال‌های ۲۰۱۴، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ این گستره دمایی، اگرچه کل محدوده طول جغرافیایی را پوشش نمی‌دهد، اما مانند زبانه‌ای وارد دریای عمان می‌شود و به سمت ساحل عربی کشیده می‌شود که نسبت به سال ۲۰۱۵، این زبانه گسترش کمتری دارد. در سال ۲۰۱۵، علاوه بر کشیده شدن به سمت ساحل عربی، شدت بیشتری دارد و دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد تقریباً کل حوضه را می‌پوشاند. این مسئله می‌تواند بیانگر تقویت و تضعیف میزان نفوذ آب خلیج فارس به دریای عمان در سال‌های مختلف باشد. در سال ۲۰۰۶ در مطالعه گرتمان و همکاران که مربوط به حوضه دریای اژه و مدیترانه است، تغییرات سالیانه توده مشاهده می‌شود. این مطالعه، مکانیسم تشکیل توده آب در دریای اژه را نشان

درجه عرض جغرافیایی دیده می‌شود. دمای آب در بخش جنوبی آن بین ۲۲ تا ۲۵/۳ درجه عرض جغرافیایی یکنواخت‌تر است. در سال ۲۰۱۶ (شکل ۳۱) دمای آب سطحی به ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در این نواحی، خطوط هم‌دما در راستای شرقی-غربی هستند که نشان‌دهنده آبی است که می‌خواهد از دریای عمان، از طرف شمال تنگه هرمز به خلیج فارس وارد شود. این خطوط هم‌دما در نواحی جنوبی و در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر در سال‌هایی مانند ۲۰۱۵، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ از حالت موازی با عرض جغرافیایی تغییر شکل می‌دهد و به صورت جنوب شرقی-شمال غربی تغییر جهت می‌دهد. فصل سرد در برخی از سال‌ها (سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹) گستره دمایی ۲۵/۵ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد به طرف جنوب دریای عمان کشیده می‌شود که با مطالعه پراساد و همکاران در سال ۲۰۰۱ تطابق خوبی دارد [۱۶]. این پدیده می‌تواند نشان‌دهنده آب شورتر و گرمی باشد که از مناطق جنوبی تنگه هرمز خارج شده، به نواحی جنوبی و مرز غربی سواحل کشور عمان رسیده است. همچنین در مطالعه آنان مشاهده شد که گسترش آب خروجی خلیج فارس به سمت جنوب و در امتداد مرز غربی در طول مونسون زمستانی وجود دارد در حالی که در تابستان دیده نمی‌شود [۱۶]. در مطالعه عظام و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داده شد که در فصل تابستان جریان خروجی آب خلیج فارس به علت چگالی کمتر در عمق حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ متری و در زمستان با چگالی بیشتر تا عمق بیشتر از ۵۰۰ متر نیز پایین می‌رود [۴۹] که اگرچه این نتیجه بر اساس مدل‌سازی بیان شده است، اما حکایت از تفاوت توده آب خلیج فارس در دو فصل تابستان و زمستان دارد.



شکل ۸. داده‌های فیلتر شده دما در فصل گرم مربوط به سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ با توجه به جعبه ۹ (شکل ۱) مطالعه آلسی و همکاران (۱۹۹۹)

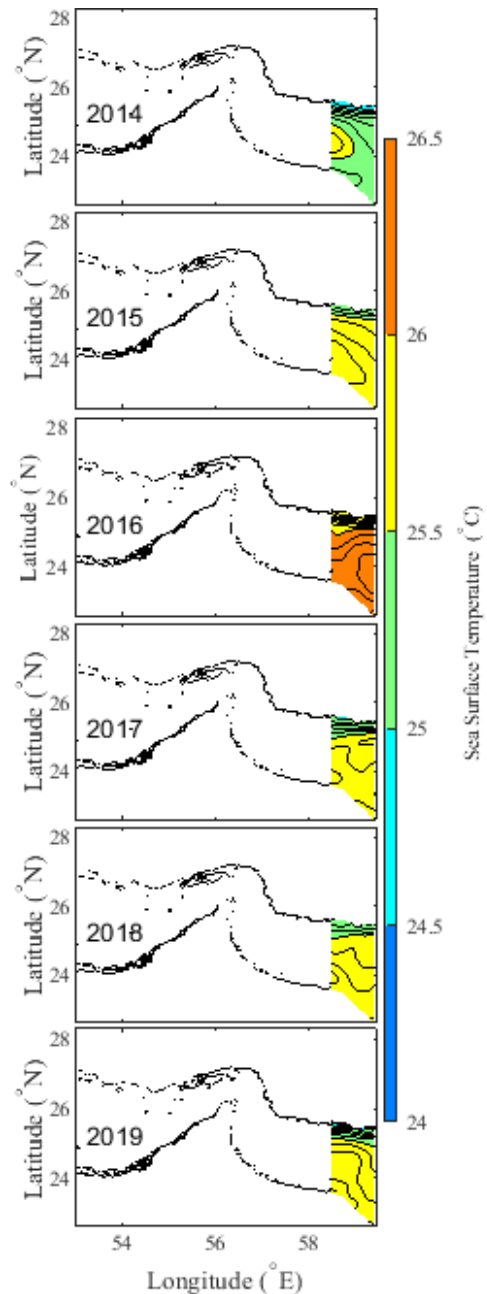
در فصل سرد (شکل ۹) حدود نیم درجه طول جغرافیایی (طول جغرافیایی ۵۹ تا ۵۹/۵ درجه شرقی) گستره دمای آب سطحی است که به صورت دو بخش جنوب و شمالی دیده می‌شود. گستره دمایی نیم درجه سانتی‌گراد (۲۵-۲۵/۵) درجه سانتی‌گراد) در بخش شمالی این محدوده، بین ۲۵/۳ تا ۲۶/۲

پیرامون مشاهده می‌شود. در زمستان جریان خروجی خلیج فارس به علت چگالی بیشتر آب در عمق پایین تری نسبت به بقیه فصل‌ها قرار دارد. در تابستان، جریان سطحی تر است و در عمق شناوری بالاتری نسبت به زمستان قرار دارد [۵۰].

آنچه در دید اولیه نسبت به فصل تابستان و زمستان در نیمکره شمالی به نظر می‌آید، تغییرات دمایی موجود بین دو فصل است؛ اما این ویژگی تنها عامل مؤثر نیست و می‌تواند عوامل دیگری غیر از دمای هوا در توزیع متفاوت دو فصل تابستان و زمستان دخیل باشد. مطالعه زرواکیس و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که آب خروجی دریای اژه بیشتر به تغییرات میدان باد بستگی دارد [۵۱]. این اثر باد، می‌تواند در توده آب خروجی خلیج فارس دخیل باشد؛ اگرچه این خصوصیت در این پژوهش بررسی نشده است. زیرا در مقاله کومار و همکاران (۱۹۹۹) در دریای عربی تأثیر سامانه جوی بر آب بسیار شوری دریای عربی (ASHSW^{۱۸}) دیده می‌شود که جریان ساحلی شدید شمالی که در امتداد ساحل غربی هند می‌وزند، باعث محدود شدن شرق هسته توده شده و در مونسون جنوب غربی، نیز قسمت شمالی هسته، تحت تأثیر جت منطقه باعث عمیق تر شدن قسمت جنوبی شده است [۵۲]. در مطالعه پراساد و همکاران در سال ۲۰۰۱ نیز به احتمال تأثیر مونسون زمستانی در میزان نفوذ آب خلیج فارس در دریای عمان اشاره شده است [۱۶]. بنابراین بررسی سامانه‌های جوی و تأثیر آن‌ها بر نفوذ آب دریای خلیج فارس پیشنهاد می‌شود.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش، بر اساس آب سطحی دریای عمان، نفوذ آب خروجی خلیج فارس را در دریای عمان نشان می‌دهد. نفوذ آب خلیج فارس در دریای عمان در مطالعه پوس و همکاران (۲۰۰۴) [۱۹]، عظام و همکاران (۲۰۱۰) [۴۹]، باور و همکاران (۲۰۰۰) [۴۳]، قاضی و همکاران (۲۰۱۷) [۴۵]، نیز دیده می‌شود.



شکل ۹. داده‌های فیلتر شده دما در فصل سرد مربوط به سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ با توجه به جعبه ۹ (شکل ۱) مطالعه آلسی و همکاران (۱۹۹۹)

قاضی و همکاران (۱۴۰۰) هم تغییرات فصلی آب خروجی خلیج فارس را تأیید کردند. آن‌ها بیان کردند هنگامی که جریان خروجی خلیج فارس وارد دریای عمان می‌شود، از بستر جدا شده و روی شیب قاره به مناطق عمیق‌تر نفوذ می‌کند تا به عمقی با شناوری خنثی برسد. در این مرحله فرارفت افقی جریان به صورت جریان شورتر و گرم‌تر نسبت به آب‌های

درجه سانتی گراد) در حدود ۶/۵ درجه سانتی گراد است که به دمای مطالعه رینولدز در سال ۱۹۹۳ نزدیک است [۲۰].

سپاسگزاری

پژوهش حاضر، حاصل رساله دکتری دانشگاه هرمزگان است که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۱۵ در شورای تحصیلات تکمیلی دانشگاه هرمزگان به ثبت رسیده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از دانشگاه هرمزگان جهت فراهم آوردن شرایط پژوهش، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

مراجع

- [1] Wright LD, Short AD, Green MO. Short term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model. *Marine Geology*. 1985;62(3-4):339-64. doi: 10.1016/0025-3227(85)90123-9.
- [2] Ariyo k, Yoji T, Akira K, Masahiko S. Generalized Lyzenga's Predictor of Shallow Water Depth for Multispectral Satellite Imagery. *Marine Geodesy*. 2013;36(4):365-76. doi:10.1080/01490419.2013.839974.
- [3] Clark RK, Fay TH, Walker CL. Bathymetry calculations with Landsat 4 TM imagery under a generalized ratio assumption. *Applied Optics*. 1987;26(19):10584-9. doi:10.1364/ao.26.4036_1.
- [4] Geyman EC, Maloof AC. A simple method for extracting water depth from multispectral satellite imagery in regions of variable bottom type. *Earth and Space Science*. 2019;6(3):527-37. doi:10.1029/2018EA000539.
- [5] Liang J, Zhang J, Ma Y, Zhang C. Derivation of Bathymetry from High-resolution Optical Satellite Imagery and USV Sounding Data. *Marine Geodesy*. 2017;40(6):466-79. doi:10.1080/01490419.2017.1370044.
- [6] Barron CN, Vastano AC. Satellite observations of surface circulation in the northwestern Gulf of Mexico during March and April 1989. *Journal of Continental Shelf Research*. 1994;14(6):607-28. doi:10.1016/0278-4343(94)90109-0.
- [7] Piracha A, Sabia R, Fernández-Prieto D, Klockmann M, Castaldo L. Satellite based estimation of water-mass formation areas and extents. *Proceedings Volume 10784, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions, SPIE Remote Sensing, Berlin, Germany*. 2018;107840N(2018). doi: 10.1117/12.2325699.
- [8] Barton BI, Lique C, Lenn YD. Water mass properties derived from satellite observations in the Barents Sea. *Journal of Geophysical Research*:

اختلاف دمای فصل گرم (۳۰/۵ درجه سانتی گراد) و سرد (۲۴ درجه سانتی گراد) در حدود ۶/۵ درجه سانتی گراد است که به دمای مطالعه رینولدز در سال ۱۹۹۳ نزدیک است [۲۲]. رینولدز دما را در فصل گرم ۳۱ تا ۳۲ درجه سانتی گراد و در فصل سرد ۲۳ درجه سانتی گراد تخمین زد. این مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین دمای روزانه سطح دریا در فصل گرم (۳۵/۸۷ درجه سانتی گراد) و فصل سرد (۳۴/۰۶ درجه سانتی گراد)، حدود ۱/۸ درجه سانتی گراد اختلاف دارد و کمترین دمای روزانه سطح دریا در فصل گرم (۱۸/۲۷ درجه) و سرد (۱۳/۱۱ درجه) حدود ۵/۱۶ درجه سانتی گراد با هم تفاوت داشتند. در فصل گرم، دمای آب سطحی ۲۸/۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد در طول‌های جغرافیایی بیشتر از ۵۹/۵ درجه شرقی قرار دارد، در حالی که همین آب سطحی با ویژگی دمایی مشابه در فصل سرد، قبل از این طول جغرافیایی و در محدوده ۵۸/۵ تا ۵۹/۵ درجه شرقی مشاهده می‌شود. به عبارتی در فصل گرم، آب زیر سطحی خروجی از تنگه هرمز تا سواحل جنوبی دریای عربی وارد می‌شود که با مدل رامک (۱۴۰۰) [۵۳] که تغییرات فصلی توده آب خلیج فارس را در فصل‌های گرم (عمق ۵۰ تا ۸۰ متری و در ۴۰ کیلومتری از سواحل کشور عمان) و سرد (عمق حدود ۱۳۰ تا ۱۵۰ متری و در طول‌های بیشتر از ۵۷ درجه شرقی) نشان می‌دهد، تطابق خوبی دارد.

نتایج این پژوهش بر اساس الگوی محدوده دما نشان داد که آب خلیج فارس تغییرات سالیانه دارد که بیشترین نفوذ به دریای عمان مربوط به ۲۰۱۵ و کمترین نفوذ مربوط به ۲۰۱۶ است. البته باید توجه داشت که تغییراتی در سال‌های مختلف وجود دارد. بررسی دمای سطحی آب دریا به خوبی نشان داد که آب خروجی خلیج فارس تغییرات فصلی دارد و پهنای بیشتری از این آب در فصل گرم مشاهده می‌شود. همان‌طور که قاضی و همکاران (۱۴۰۰) هم تغییرات فصلی آب خروجی خلیج فارس را تأیید کردند [۵۰]. البته نتایج این پژوهش می‌تواند در برخی مواقع متأثر از عوامل جوی مانند مونسون زمستانی باشد که بررسی بیشتر در این خصوص الزامی است. اختلاف دمای فصل گرم (۳۰/۵ درجه سانتی گراد) و سرد (۲۴

- Abdulraheem MY, Reynolds RM. Terra Sci., Tokyo. 1998; 23-34.
- [19] Pous S, Carton X, Lazure P. Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 1. Strait of Hormuz. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2004;109(C12). doi:10.1029/2003JC002146
- [20] Alessi CA, Hunt HD, Bower AS. Hydrographic data from the U. S. Naval Oceanographic Office: Persian Gulf, southern Red Sea, and Arabian Sea, 1923–1996. WHOI Technical Reports WHOI-99-02. Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole, Mass. doi:10.1575/1912/78.
- [۲۱] ملکوئیان مصطفی. مقدمه‌ای بر جغرافیای سیاسی و اهمیت استراتژیک ایران. مجله دانشکده حقوق و علوم سیاسی. ۱۳۸۳؛ ۶۳(۱):۲۰۳–۲۲۱.
- [22] Reynolds M. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin*. 1993;27: 35-59. doi:10.1016/0025-326X(93)90007-7.
- [23] Emery KO. Sediments and water of Persian Gulf. *AAPG Bulletin*. 1956; 40(10): 2354-83. doi: 10.1306/5CEAE595-16BB-11D7-8645000102C1865D.
- [24] Dueing W, Koske PH. Hydrographic observation in the Arabian Sea during the NE monsoon period 1964–1965. *Meteor Forschungsergeb., Reihe A*. 1967;8:1-43.
- [25] Duing W, Schwill W D. Spreading and mixing of the highly saline water of the Red Sea and the Persian Gulf. “Meteor” *Forschungsergebnisse A*. 1967;8:44-66.
- [26] Sewell RBS. The John Murray expedition to the Arabian Sea. *Nature*. 1934;133(3366):86-9. doi: 10.1038/133669a0.
- [27] ESRI. ArcGIS Desktop (Version 10.3). Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2011.
- [28] ERDDAP. Global SST and Sea Ice Analysis, Retrieved 31 July 2020. 2020. https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/jplUKMO_OSTIAv20.html
- [29] MetOffice. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system. 2018. <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2018/17975-operational-sea-surface-temperature-and-ice-analysis-ostia-system.pdf>
- [30] Sadrinasab M, Kämpf J. Three-dimensional flushing times of the Persian Gulf. *Geophysical research letters*. 2004;31(24):L24301. doi:10.1029/2004GL020425.
- [31] Swift SA, Bower AS. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf. *Journal of Oceans*. 2020;125(8):e2019JC015449. doi:10.1029/2019JC015449
- [9] Roberts-Jones J, Fiedler E, Martin M. Daily, global, high-resolution SST and sea-ice reanalysis for 1985- 2007 using the OSTIA system. *Journal of Climate*. 2012;25(18):6215–32. doi:10.1175/JCLI-D-11-00648.1.
- [10] Hasson A, Pegliasco C, Boutin J, Morrow R. Colder and smaller: 10 years of observations of surface salinity by SMOS, Aquarius and SMAP to study mesoscale eddies in the Southern Ocean. In: 22nd EGU General Assembly Conference Abstracts; 2020 May (p. 21449). doi:10.5194/egusphere-egu2020-21449, 2020
- [11] Tarasenko A, Supply A, Kusse-Tiuz N, Ivanov V, Makhotin M, Tournadre J, Chapron B, Boutin J, Kolodziejczyk N, Reverdin G. Properties of surface water masses in the Laptev and the East Siberian seas in summer 2018 from in situ and satellite data. *Ocean Science*. 2021;17(1):221-247. doi:10.5194/os-17-221-2021.
- [12] Stark JD, Donlon CJ, Martin MJ, McCulloch ME. OSTIA: An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system. *Oceans*. 2007;2007-europe:1–4. doi: 10.1109/OCEANSE.2007.4302251.
- [13] Lorenz M, Klingbell K, Burchard H. Numerical Study of the Exchange Flow of the Persian Gulf Using an Extended Total Exchange Flow Analysis Framework. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2020; 125(2):e2019JC015527. doi:10.1029/2019JC015527
- [14] Rochford DJ. Salinity maxima in the upper 1000 metres of the north Indian Ocean. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 1964;15(1): 1-24. doi:10.1071/MF9640001.
- [15] Premchand K, Sastry JS, Murty CS. Water mass structure in the western Indian Ocean: Part II- The spreading and transportation of Persian Gulf water. *Mausam*, 1986;37(2):179-86. doi:10.54302/mausam.v37i2.2260.
- [16] Prasad TG, Ikeda M, Kumar SP. Seasonal spreading of the Persian Gulf Water mass in the Arabian Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2001;106(C8):17059-17071. doi:10.1029/2000JC000480.
- [17] Johns W, Yao F, Olson D, Josey S, Grist J, Smeed D. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2003; 108(C12). doi:10.1029/2003JC001881.
- [18] Matsuyama M, Kitade Y, Senjyu T, Koike Y, Ishimaru T. Vertical structure of a current and density front in the Strait of Hormuz. In *Offshore Environments of the ROPME after the War related Oil-Spill* edited by Otsuki A,

- [41] Sarani AS, Mehrfar H, Raeisi A. Sound Speed Spatial Modeling in Persian Gulf in a 2001 ROPME Patrol using Geostatistical Techniques. 4th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development; 27-29 December 2016; Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
- [42] Akbary H, Mousavi Khoshdel SH, Bolouki Azari MR, Saeedi A, Hosseinzadeh M, Ehsaninejad A, Bahmannia GH, Babu DR. Thermal Regime Effect on Gas-Transport Lines in the Persian Gulf. Oil and Gas Facilities. 2016;5(06):SPE-185176-PA. doi:10.2118/185176-PA
- [43] Bower A, Hunt DH, Pricr JF. Character and dynamic of the Red Sea and Peasian Gulf outflows. Journal of geophysical research: Oceans. 2000;105(C3):6387-6414. doi: 10.1029/1999JC900297
- [44] Azizpour J, Chegini V, Khosravi M, Einali A. Study of the Physical Oceanographic Properties of the Persian Gulf, Strait of Hormuz and Gulf of Oman Based on PG-GOOS CTD Measurements. Journal of the Persian Gulf. 2014;5(18):37-48.
- [45] Ghazi E, Bidokhti A, Ezam M, Azad M, Hassanzadeh S. Physical Properties of Persian Gulf Outflow Thermohaline Intrusion in the Oman Sea. Open Journal of Marine Science. 2017;7(1):169-190. doi:10.4236/ojms.2017.71013.
- [۴۶] سیه‌سرانی آسیه. مدل‌سازی عددی پارامترهای فیزیکی دما و شوری در خلیج فارس. سومین کنفرانس بین‌المللی اقیانوس‌شناسی خلیج فارس؛ زمستان ۱۳۹۴؛ تهران.
- [47] Kämpf J, Sadrinasab M. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. Ocean Science Discussions, European Geoscience Union. 2005;2(1):129-64. (hal-00298403)
- [48] Gertman I, Pinardi N, Popov Y, Hecht A. Aegean Sea Water Masses during the Early Stages of the Eastern Mediterranean Climatic Transient (1988–90). Journal of Physical Oceanography. 2006;36(9):1841-59. doi:10.1175/JPO2940.1
- [49] Ezam M, Bidokhti AA, Javid AH. Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea. Ocean Science. 2010; 6:887–900. doi:10.5194/osd-6-3057-2009.
- [۵۰] قاضی ارم، بیدختی عباسعلی، عظام مجتبی، ذوالجودی مجتبی. مطالعه وارونگی‌های دما و شوری در آب‌های دریای عمان. مجله اقیانوس‌شناسی. ۱۴۰۰؛ ۱۲ (۴۵): ۲۷-۱۶.
- [51] Zervakis V, Georgopoulos D, Drakopoulos PG. Hydrology and circulation in the north Aegean (eastern Mediterranean) throughout 1997 and 1998. Mediterranean Marine Science. 2002;3(1): 5–19. doi:10.12681/mms.254.
- Geophysical Research: Oceans. 2003; 108(C1):1-4. doi:10.1029/2002JC001360.
- [32] Babu DR, Hosseinzadeh M, Ehsaninejad A, Babaei R, Kashkooli MR, Akbary H. Carbonates precipitation in MEG loops—A comparative study of South Pars and Bass Strait gas fields. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2015;27(2):955-966. doi: 10.1016/j.jngse.2015.09.035.
- [33] Rezaei-Latifi A. Spatial and temporal variability of the surface permittivity of Persian Gulf water at the C-band. Applied Mathematical Modelling. 2016;40(2):1069-1081. doi:10.1016/j.apm.2015.06.025.
- [34] Shanableh A, Imteaz M, Hamad K, Omar M, Merabtene T, Siddique M. Potential impact of global warming on whiting in a semi-enclosed gulf. International Journal of Global Warming. 2017;13(3-4):411-425. doi:10.1504/IJGW.2017.087210.
- [۳۵] شفیعی سروستانی راحله، صدری نسب مسعود، اکبری نسب محمد. ردیابی توده‌های آب خلیج عدن با استفاده از ردیاب غیرفعال. نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی. ۱۳۹۷؛ ۹ (۳۵): ۴۹-۶۰.
- [36] Shanableh A, Al-Ruzouq R, Al-Khayyat G. Assessing the spatial and temporal capacity of a semi-enclosed gulf to absorb and release CO2 Using GIS and Remote Sensing. In: Pradhan, B. (eds) Global Civil Engineering Conference (GCEC) 2017. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 9. Singapore: Springer; 2019. p.1161-73. doi: 10.1007/978-981-10-8016-6_81.
- [37] Azarmsa SA. Thermal structure in coastal waters of central Bushehr (Iran/Persian Gulf). Indian Journal of Marine Sciences. 2008;37(3):273-278. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/2049>
- [۳۸] عبدالخانیان نسرین، علمی‌زاده هیوا، دادلهی سهراب علی، سواری احمد، فیاض محمدی محمد. مدل‌سازی مقایسه پخش آلودگی در اروندرود در فصل کم‌آبی و پرآبی، مجله علوم و فنون دریایی. ۱۳۹۶؛ ۱۶ (۴): ۱۳-۲۴.
- [39] Sadrinasab M, Poorkiani K. A three-dimensional numerical modeling of contaminant dispersion from Arvand Rood River into the Persian Gulf. Journal of the Persian Gulf (Marine Science). 2011;2(4):19-26.
- [40] Abdolkhanian N, Elmizadeh H, Dadolahi Sohrab A, Savari A, Fayaz Mohammadi M. Modeling Flow Velocity and the Area of Erosion and Sedimentation at the Entrance of Arvand River to the Persian Gulf Using GIS. Physical Geography Research Quarterly. 2018;50(2):207-219. doi: 10.22059/jphgr.2018.225389.1006993

[52] Kumar SP, Prasad TG. Formation and spreading of Arabian Sea high-salinity water mass. Journal of Geophysical Research: Oceans. 1999;104(C1):1455-64. doi:10.1029/1998JC900022.

[۵۳] رامک حسین. مقایسه الگوی تغییرات تبادل آب در تنگه هرمز در دو فصل گرم و سرد [رساله دکتری]. بندر عباس: دانشگاه هرمزگان؛ ۱۴۰۰. ص. ۱۳۵-۵۰.

پی‌نوشت

1. Barents Sea
2. Sea Surface Temperature
3. Thermohaline Coordinate
4. Density Coordinate
5. Operational Sea Surface Temperature and sea Ice Analysis
6. Numerical Weather Prediction
7. Mid-ocean features
8. General Estuarine Transport Model
9. Indian Ocean Surface Water
10. Gebco
11. Group for High Resolution Sea Surface Temperature
12. National Oceanic and Atmospheric Administration
13. UK Meteorological Office
14. Standard Deviation
15. MathWorks
16. Cretan Deep Water
17. Persian Gulf Water
18. Arabian Sea High-Salinity Water Mass
19. Lapte