

مطالعه‌ی پارامترهای فیزیکی آب در تنگه‌ی هرمز

جعفر عزیزپور^{۱*}، سید مصطفی سیادت موسوی^۲ و وحید چگینی^۳

^۱ نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری فیزیک دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران azizpour@inio.ac.ir

^۲ استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران siadatmousavi@iust.ac.ir

^۳ استادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران v_chegini@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۷

چکیده

این مقاله به بررسی تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای فیزیکی آب در محدوده‌ی تنگه‌ی هرمز می‌پردازد. داده‌های دما، شوری و σ_t آب برای سه فصل زمستان ۱۳۹۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲ با استفاده از دستگاه CTD اندازه‌گیری و بررسی شد. همچنین توده‌ها و لایه‌های مختلف آب بررسی شد. کل ستون آب در بیش‌تر ایستگاه‌ها در فصل زمستان از نظر دمایی طور کامل مخلوط، ولی در فصل تابستان لایه‌ی سطحی کاملاً همگن، و فصل بهار حالت گذار است. بیشینه مقدار تغییرات σ_t در ستون آب برای فصول زمستان، بهار و تابستان به ترتیب عبارت است از $2/0$ ، $4/25$ و $5/0$. با تغییر فصول میزان آب خروجی از تنگه‌ی هرمز تغییر می‌کند به طوری که در فصل بهار آب خروجی از خلیج فارس در قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز در ایستگاه‌های نزدیک به ساحل ایران قابل ردیابی است، و بر اساس داده‌های این تحقیق به نظر می‌رسد حجم آب بیش‌تری در این فصل از خلیج فارس خارج می‌شود. بررسی توده‌های آب در قسمت‌های مختلف تنگه‌ی هرمز نشان می‌دهد دو توده‌ی آب مجزا در قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز در همه‌ی فصول اندازه‌گیری شده است. این در حالی است که در قسمت میانی و غربی تنگه‌ی هرمز دو توده‌ی آب مجزا فقط در فصل تابستان مشاهده می‌شود. همچنین در فصل تابستان سه لایه‌ی مختلف در کل ستون آب دیده می‌شود. جبهه‌هایی در مرز بین توده‌های آب تشکیل می‌شود که قدرت این جبهه‌ها به گردایان دما و شوری وابستگی دارد. شوری و σ_t آب چگال خروجی از خلیج فارس در فصل تابستان بیش‌تر از فصل زمستان است.

واژه‌های کلیدی: تنگه‌ی هرمز، دما، شوری، σ_t ، اندازه‌گیری میدانی.

۱. مقدمه

است. این تنگه مهم‌ترین آبراهه‌ی انتقال انرژی جهان است که تقریباً ۲۰٪ انرژی مصرفی جهان از این تنگه جابه‌جا می‌شود [1]. تنگه‌ی هرمز در مرز بین آب و هوای جنب حاره‌ای شمال غربی و گرم‌سیری جنوب شرقی دریای عرب و اقیانوس هند قرار دارد که متأثر از مونسون است. باد غالب فصل تابستان، باد جنوبی و در فصل زمستان باد شمال غرب است [2]. سامانه‌ی جوی پرفشار در فصل زمستان و کم‌فشار در فصل تابستان بر منطقه حاکم است. محدوده‌ی تغییرات دمایی هوا در فصول زمستان و تابستان به ترتیب برابر با $18-20$ °C و $32-34$ °C است. قرارگیری خلیج فارس در منطقه‌ی خشک

خلیج فارس دریای نیمه بسته‌ی کم‌عمقی (متوسط عمق ۳۵ متر) است که توسط تنگه‌ی هرمز به قسمت شمال غربی اقیانوس هند و دریای عمان وصل می‌شود (شکل ۱). تنگه‌ی هرمز کمابیش در محدوده‌ی جغرافیایی ۲۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی قرار گرفته است. جمهوری اسلامی ایران در قسمت شمالی تنگه و کشورهای عمان و امارات متحده‌ی عربی در قسمت جنوبی آن واقع شده‌اند. عرض متوسط تنگه‌ی هرمز در حدود ۵۶ کیلومتر و بیش‌ترین عمق گزارش شده برای این تنگه در حدود ۱۲۰ متر است. باریک‌ترین قسمت این تنگه در حدود ۳۹ کیلومتر

بیشینه‌ی مقدار شوری در ماه‌های زمستان اتفاق می‌افتد. ویژگی‌های فیزیکی آب، سرعت و جهت جریان و نوسانات تراز در اکتبر و اوایل سال ۱۹۹۹ در شرق تنگه‌ی هرمز اندازه‌گیری شد [7]. اندازه‌گیری سرعت و جهت جریان در ستون آب با استفاده از ADCP بستر نشین و در سطح آب با استفاده از دریفترها صورت پذیرفت. سپس آب خروجی از خلیج فارس و ورودی به خلیج فارس و همچنین توده‌های مختلف آب بررسی کردند.

برخی دیگر از مطالعات اندازه‌گیری در این محدوده، بخشی از مطالعات کلی انجام شده در خلیج فارس و دریای عمان بوده است [10]، [11]، [12] و [2]. در برنامه راپمی هم در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ اندازه‌گیری چند منظوره و از جمله عملیات اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی انجام شده است. در بعضی از مطالعات نیز با استفاده از روش‌های عددی به بررسی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرودینامیک تنگه‌ی هرمز پرداخته‌اند [8, 13-16].

در این مقاله با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده ویژگی‌های فیزیکی آب با CTD، تغییرات زمانی دما، شوری، σ_t و همچنین توده‌های مختلف آب در قسمت‌های غربی، میانی و شرقی تنگه‌ی هرمز و در مقاطع عمود بر خط ساحل برای سه فصل زمستان، بهار و تابستان بررسی و تحلیل می‌شود. بررسی جامع برای فصول مختلف و به صورت متوالی تاکنون برای قسمت‌های ایرانی تنگه‌ی هرمز گزارش نشده است. همچنین در این مقاله به بررسی تبادل آب خلیج فارس و دریای عمان بر اساس تغییرات ویژگی‌های فیزیکی آب پرداخته می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

در این مقاله داده‌های دما، شوری، σ_t و همچنین توده‌های مختلف آب که از اندازه‌گیری میدانی در سه فصل زمستان ۱۳۹۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲ در محدوده‌ی تنگه‌ی هرمز (شکل ۱) به دست آمده، بررسی و تحلیل می‌شود. داده‌های دما، شوری و σ_t در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه CTD Ocean Seven 316 شرکت ایدرونات

باعث شده است که میزان تبخیر آب قابل توجه، میزان بارش‌های جوی بسیار جزئی و ورودی آب رودخانه‌ها محدود باشند. میزان تبخیر توسط پژوهش‌های مختلف، بین ۲/۰-۱/۴۴ متر در سال گزارش شده است [2-5]. ورودی آب از رودخانه‌ها و نرخ بارندگی به ترتیب ۰/۱۵-۰/۴۶ و ۰/۰۷-۰/۱ متر بر سال گزارش شده است [2,6].

کم عمق بودن خلیج فارس و همچنین نرخ بالای تبخیر باعث تشکیل آب‌های شور و چگال خلیج فارس شده، و سبب می‌شوند که خلیج فارس به‌عنوان خور معکوس عمل کند. به این ترتیب، تبخیر زیاد آب‌های خلیج فارس با ورود آب با شوری کمتر از دریای عمان جبران می‌شود [7].

دما و شوری پارامترهایی برای مطالعه‌ی فیزیک آب دریا هستند که خصوصیات شیمیایی و زیستی آب دریا را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند. پربندهای دما و شوری در خلیج فارس در طی فصل‌های تابستان و زمستان حاکی از رژیم‌های متفاوت در این فصول از سال است. خلیج فارس یکی از شورترین توده‌های آبی در میان محیط‌های اقیانوسی جهان است. شوری آب خلیج فارس در بیش‌تر مناطق بین ۴۱-۴۰ psu است و در نواحی محدودی حتی از ۵۰ psu نیز تجاوز می‌کند. شوری بالای خلیج فارس به دلیل اقلیم خشک، نرخ بالای تبخیر، ورودی کم آب شیرین به واسطه‌ی بارش و خروجی رودخانه‌ها و همچنین تبادل محدود آن با آب‌های اقیانوسی است [8].

مطالعات میدانی که مختص محدوده‌ی تنگه‌ی هرمز باشند، محدود است و تنها دو مورد به مطالعه‌ی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرودینامیکی آب در این منطقه پرداخته‌اند [9]. به مطالعه‌ی ویژگی‌های فیزیکی و هیدرودینامیک آب با استفاده از یک سامانه‌ی مهار در قسمت جنوبی تنگه‌ی هرمز پرداختند. در واقع این اندازه‌گیری‌ها نخستین اندازه‌گیری میدانی طولانی‌مدت در تنگه‌ی هرمز بوده است. این اندازه‌گیری‌ها از دسامبر ۱۹۹۶ تا مارس ۱۹۹۸ به طول انجامید. میزان شوری خروجی آب خلیج فارس از قسمت جنوبی تنگه‌ی هرمز در طی سال ۳۹/۳-۴۰/۸ psu بود که

۴. نتایج

شکل های ۲ تا ۹ پربندهای مربوط به دما ($^{\circ}\text{C}$)، شوری (psu) و σ_t (kg/m^3) آب را به ترتیب برای فصول زمستان، بهار و تابستان در منطقه مورد مطالعه نشان می دهند. پربندها در مقاطع عمود بر خط ساحل برای سه فصل و در قسمت های شرقی، مرکزی و غربی تنگه ی هرمز ترسیم شده اند. همچنین در قسمت بالای هر شکل محل تقریبی هر ایستگاه مشخص شده است.

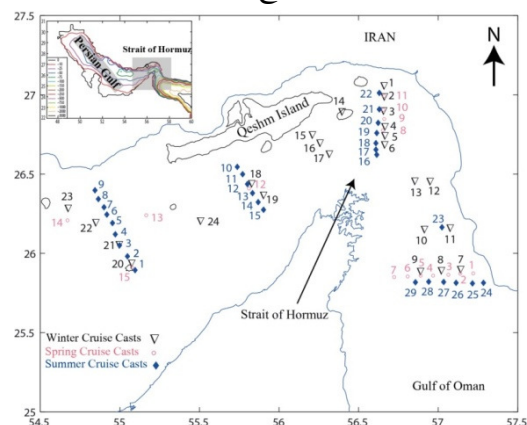
۵. پارامترهای فیزیکی آب در فصل زمستان ۱۳۹۱

شکل های ۲ تا ۴ پربندهای مربوط به دما، شوری و σ_t آب برای فصل زمستان در مقطع غربی تنگه ی هرمز را نشان می دهد. شکل ۲A پربند مربوط به دمای آب است. به دلیل وزش باد سرد، دمای سطحی کمتر از دمای اعماق است. بین ایستگاه ۲۱ و ۲۲ و از ۶۰ متری تا بستر، جبهه دمایی قابل مشاهده است. اختلاف بین دمای سطح تا بستر در حدود $^{\circ}\text{C}$ ۰.۸ است. در قسمت میانی تنگه ی هرمز (شکل ۳A) تقریباً از سطح تا ۱۰ متر، آب به لحاظ دمایی ستون آب کاملاً مخلوط است. بین ایستگاه های ۴ و ۵ و از ۲۰ تا ۴۰ متری جبهه دمایی مشاهده می شود. همچنین جبهه ضعیفی از ۴۰ متری تا بستر بین ایستگاه های ۲ تا ۴ مشاهده می شود. اختلاف بین دمای سطح تا بستر حدود $^{\circ}\text{C}$ ۰.۹ است. از شمال به جنوب (ایستگاه ۱ تا ۶) دمای آب افزایش پیدا می کند. شکل ۴A پربند دمای آب را در قسمت شرقی تنگه ی هرمز نشان می دهد. هسته ی آب سرد بین ۱۰ تا ۵۰ متری مشاهده می شود. یک هسته ی آب گرم نیز زیر هسته ی سرد، و بین ۶۰ تا ۸۰ متری قابل مشاهده است. مقایسه ی شکل های ۴A، ۳A و ۲A کاهش دمای آب از قسمت شرقی تا قسمت غرب تنگه ی هرمز را نشان می دهد. از عمق ۸۰ تا ۹۰ متری مابین ایستگاه های ۷ و ۸ جبهه دمایی قابل ردیابی است. این جبهه از ایستگاه ۷ تا ۱۰ کیلومتری از آن قابل مشاهده است. پربندهای مربوط به شوری در شکل های ۴B، ۳B، ۲B نشان داده شده اند. در قسمت غرب تنگه ی هرمز (شکل ۲B) کم ترین شوری مربوط به ایستگاه شماره ی ۲۲ است. آب با شوری کم تر در لایه ی سطحی ناشی از نفوذ

ایتالیا و به صورت نیم رخ برداری با گام زمانی یک ثانیه انجام شد [17]. فقط داده های از سطح تا کف مورد استفاده قرار گرفت و داده های برگشتی دستگاه (از کف تا بستر) در تحلیل های ارائه شده استفاده نشده است. با استفاده از فیلتر پایین گذر باتوروس^۱ با فرکانس قطع ۰/۲۵ هرتز نوسانات^۲ داده های CTD حذف گردید. در نهایت داده ها با روش درونیابی خطی مرتبه اول به فواصل یکسان یک متری تبدیل و ترسیم شدند. تمامی تحلیل داده ها و ترسیم شکل ها در محیط MATLAB انجام شد.

۳. منطقه ی مورد مطالعه

منطقه ی مورد مطالعه در محدوده ی تنگه ی هرمز قرار دارد. این منطقه در طول جغرافیایی ۵۴/۵-۵۷/۵ درجه ی شرقی و ۲۷/۵-۲۵/۰ درجه ی شمالی واقع شده است.

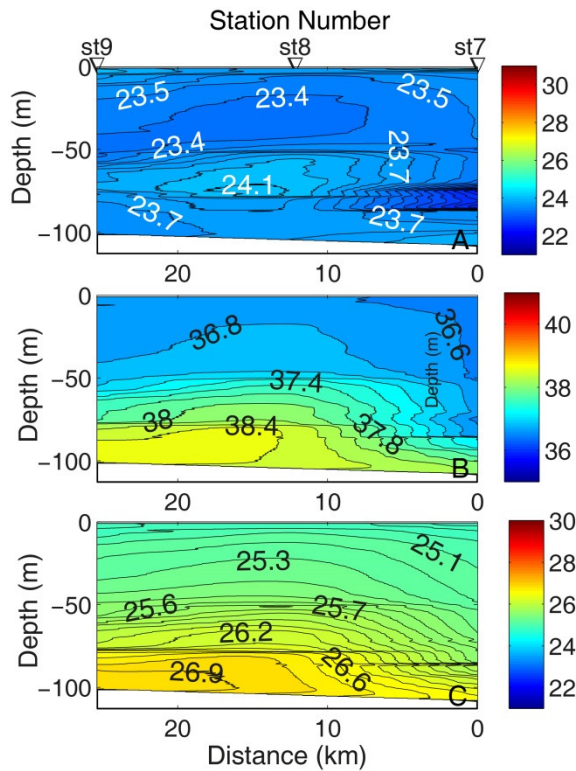


شکل ۱. منطقه ی مورد مطالعه در محدوده ی تنگه ی هرمز

اندازه گیری های میدانی در ۶۸ ایستگاه انجام شد که عمدتاً در آب های ایرانی تنگه ی هرمز توزیع شده اند (شکل ۱). اندازه گیری ها در سه فصل زمستان ۱۳۹۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲ انجام شد. جدول شماره ۱ تعداد ایستگاه ها و تاریخ عملیات اندازه گیری میدانی را نشان می دهد.

جدول ۱. ایستگاه های اندازه گیری پارامترهای فیزیکی آب با CTD

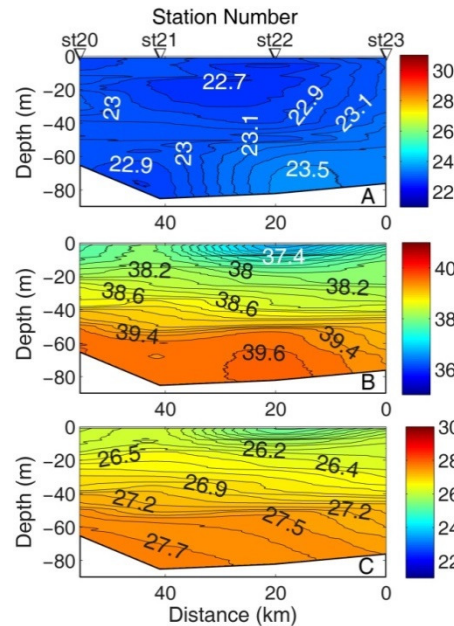
تعداد ایستگاه	تاریخ	گشت
۲۴	۲۰۱۳/۱/۲۷-۲۰۱۳/۲/۱	زمستان ۱۳۹۱
۱۵	۲۰۱۳/۵/۲-۶	بهار ۱۳۹۲
۲۹	۲۰۱۳/۷/۲۸-۳۱	تابستان ۱۳۹۲



شکل ۳. مشخصات فیزیکی آب در محدوده‌ی مرکزی تنگه‌ی هرمز برای فصل زمستان: دمای آب (A)، شوری آب (B)، σ_t آب (C).

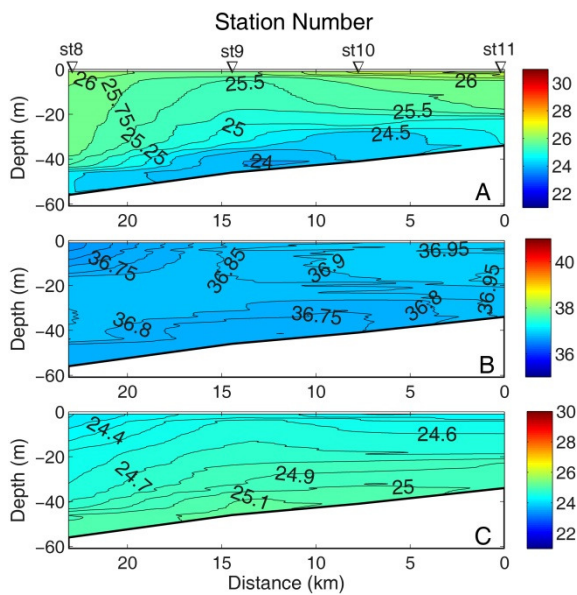
شکل‌های ۴C، ۳C، ۲C پربندهای مربوط به σ_t آب فصل زمستان را در تنگه‌ی هرمز نشان می‌دهند. آب با σ_t کم‌تر در لایه‌ی سطحی قسمت شرق تنگه‌ی هرمز (شکل ۴C) و آب با σ_t زیاد نزدیک بستر و در قسمت غرب تنگه‌ی هرمز (۲C) مشاهده می‌شود. در غرب تنگه‌ی هرمز تغییرات σ_t عمدتاً ناشی از تغییرات شوری است. این در حالی است که تغییرات σ_t در مقطع عمود بر ساحل در بخش میانی تنگه‌ی هرمز عمدتاً ناشی از تغییرات دما است. برای شرق تنگه‌ی هرمز تغییرات دما و شوری سهم مشابهی در تغییرات σ_t دارند و در عمق‌هایی که گردایان دمایی یا گردایان شوری وجود دارد، پربندهای σ_t نیز به هم نزدیک‌تر هستند.

آب از دریای عمان بین ایستگاه‌های ۲۱ و ۲۳، و تا عمق حدود ۲۰ متری قابل ردیابی است. بیشینه‌ی مقدار شوری در نزدیک بستر بوده و psu ۳۹/۶ است. گردایان شدید شوری مابین ایستگاه‌های ۲۱ و ۲۳ و در عمق حدود ۵۰ متری قابل مشاهده است. شکل ۲E شوری آب در قسمت میانی تنگه‌ی هرمز را نشان می‌دهد.



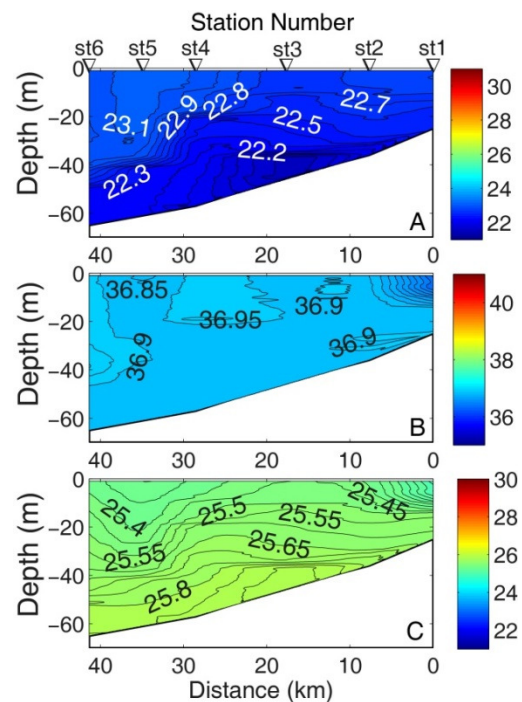
شکل ۴. مشخصات فیزیکی آب در محدوده‌ی غرب تنگه‌ی هرمز برای فصل زمستان: دمای آب (A)، شوری آب (B)، σ_t آب (C).

شوری آب در این ناحیه تقریباً همگن بوده و تغییرات آن در حدود psu ۰/۱ است. مابین ایستگاه ۱ و ۲ و از سطح تا عمق ۲۰ متری نفوذ آب از دریای عمان قابل ردیابی است. در این ناحیه جبهه‌ی شوری تا عمق ۱۰ متری قابل مشاهده است. در پربند شرق تنگه‌ی هرمز (شکل ۴B) نفوذ آب با شوری زیاد از خلیج فارس و از عمق ۸۰ متری تا بستر و مابین ایستگاه ۸ و ۹ مشاهده می‌شود. در محل برخورد لایه‌ی عمقی و سطحی، جبهه‌ی شوری تشکیل شده است. این جبهه از عمق ۶۰ تا ۹۰ متری و مابین ایستگاه‌های ۷ و ۸ تشکیل می‌شود. در این ناحیه آب خروجی خلیج فارس با شوری بیش‌تر پایین آب ورودی از دریای عمان با شوری کم‌تر قرار می‌گیرد.



شکل ۵. مشخصات فیزیکی آب در محدوده‌ی مرکزی تنگه‌ی هرمز برای فصل بهار: دمای آب (A)، شوری آب (B)، σ_t آب (C).

شکل‌های ۶B، ۵B تغییرات مکانی شوری در دو مقطع میانی و شرقی تنگه‌ی هرمز را نشان می‌دهند. شوری لایه سطحی در مقایسه با لایه‌ی عمقی در مقطع عمود بر ساحل قسمت میانی بیش‌تر است. همچنین افزایش مقدار شوری از قسمت شمال به جنوب (مابین ایستگاه‌های ۱۱ و ۸) مشهود است. دلیل این امر شاید افزایش دمای هوا به دلیل نزدیکی به ساحل، و نیز افزایش تبخیر سطحی ناشی از کم‌عمق بودن ایستگاه‌های شمالی مقطع باشد. نفوذ آب شور خلیج فارس مابین ایستگاه‌های ۲ و ۷ در قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز (شکل ۶B) کاملاً مشهود است. در قسمت بالای آب شور خلیج فارس، آب ورودی به خلیج فارس با شوری کم‌تر قرار گرفته است. در مرز بین دو آب، و به‌طور خاص مابین ایستگاه‌های ۴ و ۵، جبهه تشکیل شده است. این تبادل آب بین خلیج فارس و دریای عمان در شکل ۵C مربوط به σ_t نیز قابل ردیابی است.

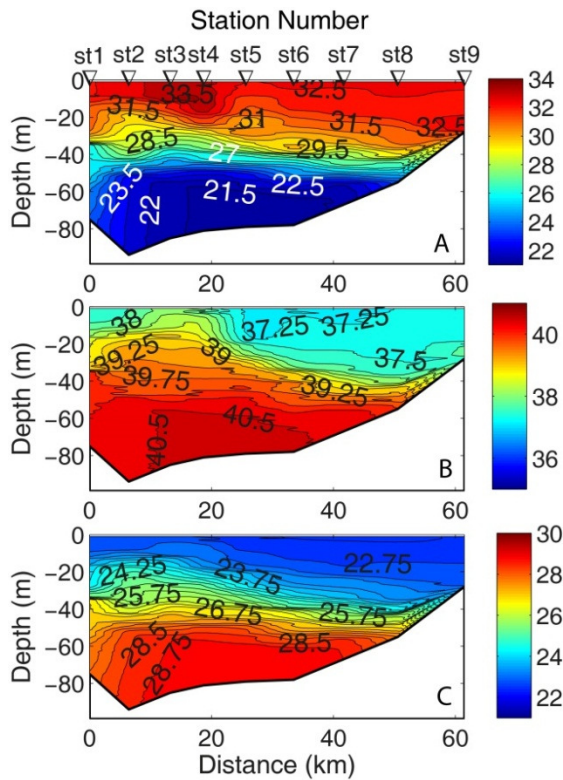


شکل ۴. مشخصات فیزیکی آب در محدوده‌ی شرقی تنگه‌ی هرمز برای فصل زمستان: دمای آب (A)، شوری آب (B) و σ_t آب (C).

۶. پارامترهای فیزیکی آب در فصل بهار ۱۳۹۲

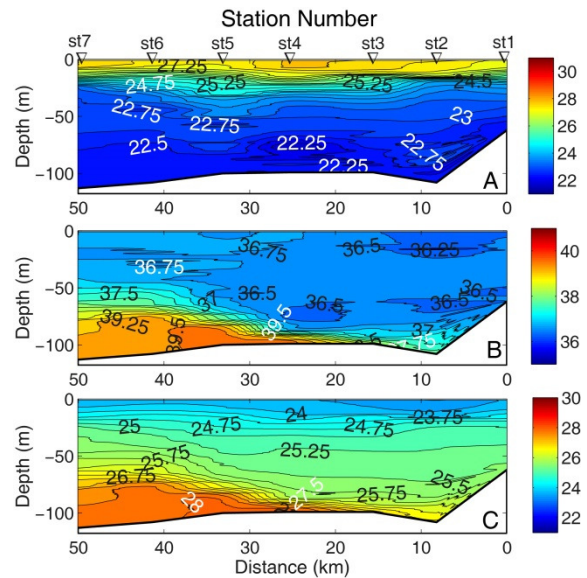
شکل‌های ۵ و ۶ پربندهای مربوط به قسمت میانی و شرقی تنگه‌ی هرمز را نشان می‌دهند. متأسفانه در این دوره، اطلاعاتی در غرب تنگه برداشت نشده است. اختلاف دمای بین سطح و بستر در مقطع عمودی در تنگه‌ی هرمز میانی (شکل ۵A) در حدود 2°C است. جبهه‌ی دمایی مابین ایستگاه‌های ۸ و ۹ از سطح تا عمق ۴۰ متری مشاهده می‌شود. تغییرات عمودی دما در قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز (شکل ۶A) در حدود 5°C است. هسته‌های آب سرد در ایستگاه‌های ۴ و ۵ و به ترتیب در عمق‌های ۷۰ و ۵۵ متری قابل مشاهده است. لایه‌ی گرمایش ضعیف در کلیه ایستگاه‌ها در حال شکل‌گیری است. همچنین قابل مشاهده است که چند متر سطحی آب کاملاً مخلوط است.

گرمایی از عمق ۵۰ متری تا بستر و مابین ایستگاه‌های ۱ و ۴ تشکیل شده است (شکل‌های ۹A، ۸A و ۷A). جبهه دیگری مابین ایستگاه‌های ۸ و ۹ و در عمق ۴۰ متری مشاهده می‌شود.



شکل ۷. مشخصات فیزیکی آب در محدوده‌ی غربی تنگه‌ی هرمز برای فصل تابستان: دمای آب (A)، شوری آب (B)، σ_t آب (C).

در قسمت میانی تنگه‌ی هرمز (شکل ۸A) آب ورودی از دریای عمان تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها و تا عمق ۴۰ متری گسترده شده و کاملاً همگن است. مابین ایستگاه‌های ۱۶ و ۱۷ و از ۵۰ متری تا بستر آب خروجی خلیج فارس مشهود است. مابین ایستگاه‌های ۱۶ و ۱۹ و در مرز بین آب ورودی و خروجی از خلیج فارس جبهه تشکیل شده است. در قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز (شکل ۹A) دمای سطحی آب تا عمق حدود ۲۵ متری کاملاً همگن و مخلوط است. لایه‌ی گرمایش از حدود ۲۵ متری تا ۳۸ متری تشکیل شده است. کاهش دما در این لایه در حدود 6°C است. زیر لایه‌ی گرمایش، ستون آب لایه‌بندی شده است و خروجی آب از خلیج فارس از عمق حدود ۹۰ متری و مابین ایستگاه‌های ۲۸ و ۲۹ قابل ردیابی است. در محل برخورد آب دو توده‌ی آب، جبهه تشکیل شده است.



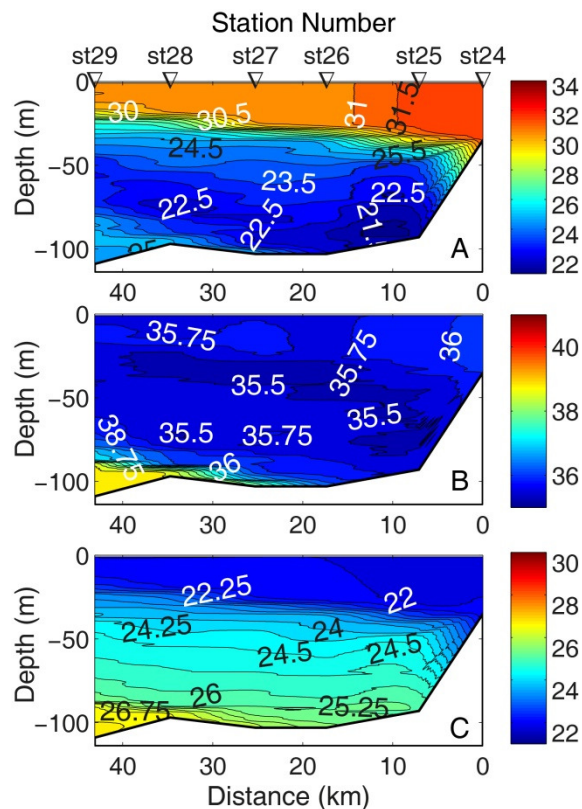
شکل ۶. مشخصات فیزیکی آب در محدوده‌ی شرقی تنگه‌ی هرمز برای فصل بهار: دمای آب (A)، شوری آب (B)، σ_t آب (C).

اختلاف σ_t بین سطح و عمق در این مقطع در حدود $4/25 \text{ kg/m}^3$ است. آب کم‌چگال ورودی به خلیج فارس از دریای عمان با σ_t کم‌تر از $25/1 \text{ kg/m}^3$ در کل مقطع میانی تنگه‌ی هرمز (شکل ۵C) قابل مشاهده است. در فصول زمستان و بهار در کلیه ایستگاه‌های میانی تنگه‌ی هرمز ورود آب دریای عمان مشهود است. σ_t مقطع میانی عمدتاً متأثر از دمای آب است. σ_t لایه‌ی سطحی قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز، به طور عمده متأثر از دما، و در محدوده‌ی آب خروجی خلیج فارس که در بخش عمیق‌تر قرار گرفته است، به طور عمده متأثر از شوری است.

۷. پارامترهای فیزیکی آب در فصل تابستان ۱۳۹۲

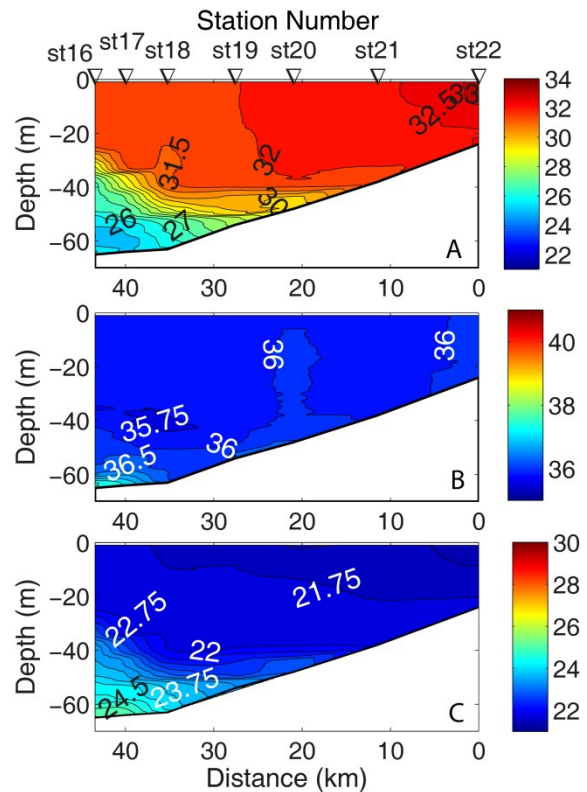
شکل‌های ۷ تا ۹ پربندهای مقاطع عمود بر ساحل قسمت‌های غربی، میانی و شرقی تنگه‌ی هرمز را نشان می‌دهند. آب تا عمق ۱۰ متری و در ایستگاه‌های کم‌عمق تا عمق ۲۰ متری، کاملاً همگن و تغییرات آن حدود $0/5$ درجه‌ی سانتی‌گراد هست (لایه‌ی آمیخته). دمای آب در عمق ۵۰ متری در بخش غربی به حدود 25°C می‌رسد. لایه‌ی گرمایش فصلی قوی از ایستگاه ۱ تا ۵ از عمق ۱۵ متری تا عمق حدود ۵۰ متری تشکیل شده است ولی برای ایستگاه‌های نزدیک ایران [8-6] لایه‌ی گرمایش از حدود ۳۰ متری شروع می‌شود. جبهه‌ی

قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز (شکل ۹B) و از عمق ۹۰ متری تا بستر مشهود است. بیشینه‌ی مقدار شوری نزدیک بستر و psu ۷/۳۸ است. در محل برخورد آب ورودی و خروجی و مابین ایستگاه‌های ۲۶ و ۲۸ و از عمق ۹۵ متری تا بستر جبهه شوری تشکیل شده است.



شکل ۹. مشخصات فیزیکی آب در محدوده‌ی شرقی تنگه‌ی هرمز برای فصل تابستان: (A) دمای آب، (B) شوری آب، (C) σ_t آب.

تغییرات σ_t برای غرب تنگه‌ی هرمز (شکل ۷C) در فصل تابستان همخوانی بیشتری با تغییرات دمایی دارد. البته قابل ذکر است که هر دو عامل دما و شوری در تغییرات σ_t موثرند. در عمیق‌ترین نقاط این مناطق σ_t kg / m^3 ۲۸/۷۵ است. دمای و شوری آب برای این عمق به ترتیب $^{\circ}C$ ۲۱/۵ و psu ۴۰/۵ است. در قسمت میانی تنگه‌ی هرمز (شکل ۸C) خروجی آب خلیج فارس با σ_t بیشینه نسبت به اطراف مشهود است. آب ورودی به خلیج فارس به جز ایستگاه‌های ۱۶ و ۱۷ در تمامی ایستگاه‌ها ملاحظه می‌شود. در مرز بین آب ورودی و خروجی خلیج فارس جبهه تشکیل شده است. تغییرات σ_t در مقطع

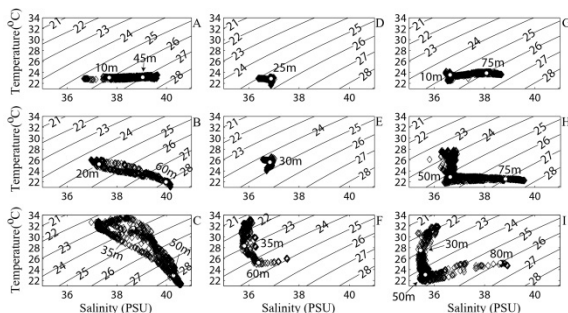


شکل ۸. مشخصات فیزیکی آب در محدوده‌ی مرکزی تنگه‌ی هرمز برای فصل تابستان: (A) دمای آب، (B) شوری آب، (C) σ_t آب.

تغییرات مکانی شوری در فصل تابستان مابین جزیره‌ی ابوموسی و ایران (شکل ۷B) نشان‌دهنده‌ی تغییر حدود psu ۳ در این ناحیه است. به لحاظ شوری آب در این منطقه دارای تغییرات متعددی است. بین ایستگاه ۴ و ۵ یک جبهه تا عمق ۲۰ متری قابل ردیابی است. جبهه‌ی دیگری مابین ایستگاه‌های ۵ و ۶ و از عمق ۲۰ تا ۴۰ متری گسترده شده است. این در حالی است که بین ایستگاه ۱ تا ۴ آب کاملاً لایه‌بندی شده است و برای ایستگاه‌های ۵ تا ۹ لایه سطحی کاملاً همگن است. بیش‌ترین مقدار شوری در نزدیک بستر و به مقدار psu ۴۰/۵ و مربوطه به آب‌های خروجی از خلیج فارس است. در قسمت میانی (شکل ۸B) آب از لحاظ شوری کاملاً همگن است و فقط از عمق ۵۵ متری تا بستر و مابین ایستگاه‌های ۱۶ تا ۱۸ ستون آب طبقه‌بندی شده است که در واقع این قسمت، خروجی آب خلیج فارس را نشان می‌دهد. خروجی آب شور خلیج فارس مابین ایستگاه‌های ۲۷ و ۲۹ در

به دو توده هستند.

نمودار T-S مربوط به قسمت میانی تنگه‌ی هرمز در فصول زمستان، بهار و تابستان به ترتیب در شکل‌های D، E، F، ۱۰F نشان داده شده‌اند. در فصل زمستان (شکل D) تغییرات دما و شوری کم است. تغییرات دما و شوری به ترتیب $2/5^{\circ}\text{C}$ و $24/8-25/8 \text{ kg/m}^3$ مقدار σ_t است. مقدار σ_t متغیر است. دو توده‌ی آب در فصل زمستان در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده مشاهده می‌شود. توده‌ی سطحی با افزایش عمق دارای افزایش شوری در دمای تقریباً ثابت و توده‌ی عمقی با کاهش دما و شوری ثابت قابل ردیابی است. در فصل بهار با وجود تغییرات اندک σ_t (در حدود kg/m^3) دو توده‌ی آب در قسمت میانی در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده وجود دارد. توده‌ی سطحی با افزایش شوری و دمای تقریباً ثابت مشاهده می‌شود. این توده مشابه توده‌ی مشاهده شده در فصل زمستان است. توده‌ی عمقی با کاهش دما و شوری در عمق همراه است. مقدار کاهش دما و شوری در توده‌ی عمقی به ترتیب برابر با $8/3^{\circ}\text{C}$ و psu است. در فصل تابستان سه لایه‌ی کاملاً مجزا قابل ردیابی است. لایه‌ی سطحی با کاهش دما و شوری همراه است. تغییرات دما و شوری به ترتیب در حدود $6/0^{\circ}\text{C}$ و psu است. لایه‌ی میانی (σ_t ۰/۲-۲۳/۲۴) با افزایش عمق نشان از افزایش شوری و کاهش دما دارد.



شکل ۱۰. توده‌های مختلف آب در محدوده‌ی تنگه‌ی هرمز: غرب تنگه‌ی هرمز در فصل زمستان (A)، فصل بهار (B)، فصل تابستان (C)؛ قسمت مرکزی تنگه‌ی هرمز در فصل زمستان (D)، فصل بهار (E)، فصل تابستان (F)؛ قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز در فصل زمستان (G)، فصل بهار (H) و فصل تابستان (I). دایره‌های سفید برخی عمق‌های منتخب را نشان می‌دهند.

شرقی تنگه‌ی هرمز (شکل ۹C) عمدتاً ناشی از تغییرات دما بوده، و در قسمت خروجی آب خلیج فارس بیش‌تر متأثر از شوری است. خروجی آب خلیج فارس از عمق حدود ۹۰ متری تا بستر و مابین ایستگاه‌های ۲۷ تا ۲۹ قابل ردیابی است. لازم به ذکر است مقایسه‌ی آب خروجی خلیج فارس در مقطع شرقی تنگه‌ی هرمز برای سه فصل (شکل‌های ۴C، ۶C و ۹C) اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که در فصل بهار آب با حجم بیش‌تری از تنگه‌ی هرمز خارج می‌شود.

۸. توده‌های آب در محدوده‌ی تنگه‌ی هرمز

شکل ۱۰ نمودارهای دما-شوری (T-S) را برای کل داده‌های قسمت‌های غربی، میانی و شرقی تنگه‌ی هرمز نشان می‌دهد. در قسمت غربی تنگه‌ی هرمز (شکل ۱۰A) کل ستون آب کاملاً آمیخته است. تغییرات دمایی بسیار جزئی است. تغییرات شوری و σ_t به ترتیب در حدود psu ۳ و kg/m^3 ۲/۵ است. در این فصل در کل ستون آب یک توده دیده می‌شود. در فصل بهار (شکل ۱۰B) با افزایش دما سطحی تغییرات هم‌زمان دما و شوری در ستون آب ملاحظه می‌شود. تغییرات دما و شوری آب به ترتیب در حدود $^{\circ}\text{C}$ ۴/۵ و psu ۳/۵ است. تغییرات σ_t آب در حدود kg/m^3 ۴/۲ است. افزایش اختلاف σ_t آب ناشی از نفوذ آب چگال خلیج فارس در قسمت غربی است. در فصل تابستان در برخی از ایستگاه‌ها ستون آب دو لایه است (شکل ۱۰C) و دو توده‌ی آب قابل شناسایی است. توده‌ی سطحی با افزایش هم‌زمان دما و شوری همراه است. σ_t این توده kg/m^3 ۲۲/۲-۲۳/۵ است. توده‌ی عمقی آب با افزایش شوری و کاهش دما همراه است. مقدار شوری در این توده از psu ۳۸/۸ به psu ۴۰/۵ و دما از $^{\circ}\text{C}$ ۳۲ به $^{\circ}\text{C}$ ۲۱/۴ در عمق می‌رسد. تغییرات σ_t در قسمت غربی در فصل تابستان kg/m^3 ۶/۷ است که بیشینه‌ی تغییرات σ_t در توده‌ی عمقی (در حدود kg/m^3 ۴/۸) مشاهده می‌شود. در برخی از ایستگاه‌های (ایستگاه‌های شمالی و نزدیک ساحل ایران) آب یک لایه بوده و یک توده آب در آن مشاهده می‌شود. ایستگاه‌های میانی این مقطع نیز حالت گذار از یک توده آب

همچنین گرادیان شدید عمودی دما عامل اصلی در لایه‌بندی دمایی آب شده است. محل تقریبی برخورد آب ورودی از دریای عمان و خروجی از خلیج فارس در بین ایستگاه‌های ۷ و ۸ و در عمق حدود ۶۵ متری قابل ردیابی است. مقایسه پربندهای شوری و σ_t قسمت غربی تنگه‌ی هرمز برای سه فصل اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد، محل برخورد آب خروجی از خلیج فارس و آب ورودی از دریای عمان با تغییر فصول از زمستان به تابستان، از ساحل ایران فاصله گرفته و عمق محل برخورد نیز افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه می‌تواند بیانگر تبخیر بیش‌تر آب در فصل تابستان باشد. شوری آب چگال خلیج فارس در فصل تابستان بیش‌تر است. این اختلاف در ایستگاه‌های مشابه در حدود ۰/۹ psu است.

۱۰. مراجع

[۱] صدری‌نسب مسعود. مدل‌سازی عددی سه بعدی گردش

آب در تنگه‌ی هرمز. اقیانوس‌شناسی ۱۳۸۹؛ ۱(۱): ۱-۶.

[2] Reynolds RM. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. Marine Pollution Bulletin. 1993;27:35-5.

[3] Privett D. Monthly charts of evaporation from the N. Indian Ocean (including the Red Sea and the Persian Gulf). Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 1959;85(366):424-8.

[4] Rezaei-Latifi A, Hosseinibalam F. An estimate of the surface heat fluxes transfer of the Persian Gulf with the overlying atmosphere. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2015;8(3):354-61.

[5] Bower AS, Hunt HD, Price JF. Character and dynamics of the Red Sea and Persian Gulf outflows. Journal of Geophysical Research: Oceans. 2000;105(C3):6387-414.

[6] Hartmann MH, Seibold LE, Walger E. Surface sediments in the Persian Gulf and Gulf of Oman. I: Geologic-hydrologic settings and first sedimentology results. Meteor Forschungsergebnisse. 1971;4:1-76.

[7] Pous S, Carton X, Lazure P. Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 1. Strait of Hormuz. Journal of Geophysical Research: Oceans. 2004;109(C12).

[8] Yao F. Water mass formation and circulation in the Persian Gulf and water exchange with the Indian Ocean[disseration]. Miami: university of Miami;2008.

[9] Johns WE, Yao F, Olson DB, Josey SA, Grist JP, Smeed DA. Observations of seasonal exchange

در لایه‌ی عمقی هر دوی دما و شوری در عمق افزایش دارند. افزایش دما و شوری به ترتیب در حدود 0.4°C و $1/6$ psu است. لایه‌ی سطحی به دلیل افزایش شوری سطحی (تبخیر سطحی) به وجود آمده است. به طور کلی دو توده‌ی آب در این مقطع وجود دارد، و شامل توده‌ی آب شور خلیج فارس و توده‌ی آب ورودی با شوری کم‌تر از دریای عمان است.

در قسمت شرقی تنگه‌ی هرمز در فصول اندازه‌گیری شده (شکل‌های I، H، G) دو توده‌ی آب مشاهده می‌شود. توده سطحی در تمامی فصول اندازه‌گیری شده با کاهش دما و شوری (تقریباً) ثابت همراه است. این در حالی است که توده‌ی عمقی (آب خروجی خلیج فارس) با افزایش شوری و تا حدودی افزایش دما در عمق همراه است. افزایش دمای آب در فصل تابستان قابل توجه‌تر است (شکل I). در فصل تابستان توده‌ی سطحی شامل لایه‌ی سطحی (که متأثر از تبخیر سطحی است) و لایه‌ی میانی است. σ_t بیشینه در ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در فصل بهار مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از تغییرات آب سطحی ورودی از اقیانوس هند و آب چگال خلیج فارس در تنگه‌ی هرمز به‌خوبی توسط نمودارهای T-S قابل مشاهده است. این نتایج همچنین در مطالعات عددی از جمله [18] و اندازه‌گیری میدانی [9] قابل مشاهده است.

۹. بحث و نتیجه‌گیری

پارامترهای فیزیکی آب در محدوده تنگه‌ی هرمز تحت تأثیر آب ورودی از دریای عمان، آب چگال خروجی از خلیج فارس هستند. تغییرات پارامترهای مذکور وابستگی کاملی به تغییرات زمانی و مکانی دارند. پربندهای دما، شوری، σ_t و نمودار T-S این وابستگی را به‌وضوح نشان می‌دهند. در فصل زمستان در مقاطع اندازه‌گیری شده دما، کل ستون آب کاملاً آمیخته بود و فقط تغییرات شوری قابل توجه است (شکل A، D، G). این تغییرات قابل توجه شوری بیانگر خروج آب چگال خلیج فارس است. تغییرات σ_t در این فصل بیش‌تر متأثر از تغییرات شوری است. گرادیان شدید دمایی باعث ایجاد جبهه‌های دمایی شده‌اند.

through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2003 Dec 1;108(C12).

[10] Emery KO. Sediments and water of Persian Gulf. *AAPG Bulletin*. 1956;40(10):2354-83.

[11] Brewer PG, Fleer AP, Kadar S, Shafer DK, Smith CL. Chemical oceanographic data from the Persian Gulf and Gulf of Oman. Woods Hole, Mass.: Woods Hole Oceanographic Institution; 1978.

[12] Brewer P, Dyrssen D. Chemical oceanography of the Persian Gulf. *Essays on oceanography: A tribute to John Swallow*. *Progress in Oceanography*. 1985 Jan 1;14:41-55.

[13] Thoppil PG, Hogan PJ. On the mechanisms of episodic salinity outflow events in the Strait of Hormuz. *Journal of Physical Oceanography*. 2009;39(6):1340-60..

[14] Bidokhti A, Ezam M. The structure of the Persian Gulf outflow subjected to density variations. *Ocean Science*. 2009;5(1):1-12.

[15] Ezam M, Bidokhti A, Javid A. Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea. *Ocean Science*. 2010;6(4):887-900.

[16] Pous S, Lazure P, Carton X. A model of the general circulation in the Persian Gulf and in the Strait of Hormuz: Intraseasonal to interannual variability. *Continental Shelf Research*. 2015;94:55-70.

[17] Idronaut. Ocean seven 316/319 CTD multiparameter probes operation's manual. 2002

[18] Kämpf J, Sadrinassab M. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Science*. 2006;2(1):27-41.

۱۱. پی نوشت:

¹ butter worth filter

² noise