

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.1.4.9

درصد همانندی: ۱۵٪

## تغییرات دما، شوری و چگالی آب‌های شمالی خلیج فارس در فصل بهار بر اساس یافته‌های کاوشگر خلیج فارس (۱۳۹۸)

یاسمن پاینده‌ی<sup>۱</sup>، مریم سیوف جهرمی<sup>۲</sup>، صمد حمزه‌ئی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، ایران.  
yasaman99payandehi@gmail.com

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، دانشیار فیزیک دریا، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، ایران  
soyufjahromi@hormozgan.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار فیزیک دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران.  
s\_hamzei@inio.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

### چکیده

خلیج فارس، حوضه آبی نیم‌بسته‌ای است که کشورهای مختلفی از آن منتفع می‌شوند و آب‌های سرزمینی آن مختص یک کشور نیست. در مطالعات گذشته توزیع دما و شوری در بخش ایرانی آب خلیج فارس کمتر بررسی شده است، بنابراین در این پژوهش، ویژگی‌های دما و شوری، در بخش ایرانی آب خلیج فارس بررسی شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، داده‌های دما و شوری CTD مربوط به گشت میدانی کاوشگر خلیج فارس (اردیبهشت ۱۳۹۸) است. ده ایستگاه انتخاب و داده‌ها به دو دسته مقطع شرقی و غربی آب‌های سرزمینی ایران تقسیم شد، سپس در نرم‌افزار ODV تحلیل شد. نتایج به‌خوبی نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های عمود بر سواحل ایرانی، ستون آب تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده، آب لایه‌بندی است و شرایط چگال‌گرای از سمت ساحل ایران به طرف آب‌های میانه خلیج فارس به‌خوبی مشاهده می‌شود. این ویژگی می‌تواند به علت پیچک پادساعت‌گردی باشد که از آب سطحی ورودی اقیانوس هند (IOSW) شکل می‌گیرد. این پیچک ناشی از سرعت جریانی است که با ورود به خلیج فارس به تدریج کاهش می‌یابد و ناپایداری افقی دارد که به تدریج می‌تواند موجب فراجوشی شود. وجود فراجوشی در ایستگاه ۷ در عمق بیش از ۵۰ متر دیده می‌شود که کمینه دما ( $20/57^{\circ}\text{C}$ ) و شوری (حدود ۴۰ psu) در اعماق کمتری مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده بالآمدن آب است.

واژه‌های کلیدی: چگال‌گرای، کاوشگر خلیج فارس، آب‌های سرزمینی، دما، شوری

## ۱. مقدمه

شوری و دمای آب از ویژگی‌های مهم فیزیکی آب دریا به‌شمار می‌روند. این دو عامل به علت تأثیر بر واکنش‌های شیمیایی و زیست‌شیمیایی ارگانسیم‌های آبی اهمیت خاصی دارند؛ بنابراین، شناخت هر یک از عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شیمیایی از اساسی‌ترین مواردی است که امکان بهره‌برداری بهینه از دریاها را فراهم خواهد کرد [۱]. دما و شوری تأثیر بسیار مهمی در تغییرات چگالی دارند و در به‌وجود آمدن جریان در دریاها و اقیانوس‌ها تأثیرگذارند. شوری آب یک ویژگی اساسی در بررسی فرایندهای زیستی و فیزیکی مانند بیلان آب، فرایند تبخیر و جریانات دریایی و اقیانوسی است [۲]. در واقع شوری شاخص اصلی چگالی محسوب می‌شود و تأثیر مستقیمی بر فرایندهای فیزیکی و بیوشیمیایی آب دارد و تغییرات پخش آن می‌تواند بر برخی از پدیده‌ها و فرایندهای اقیانوسی مؤثر باشد. دما و شوری می‌تواند موجب تغییرات چگالی شود و شرایط فشارگری (باروتروپیک) و چگال‌گری (باروکلینیک) را ایجاد کند. مهم‌ترین ویژگی محیط چگال‌گری قطع سطوح هم‌فشار و هم‌چگال (رابطه ۱) و ایجاد چرخش در حوزه است.

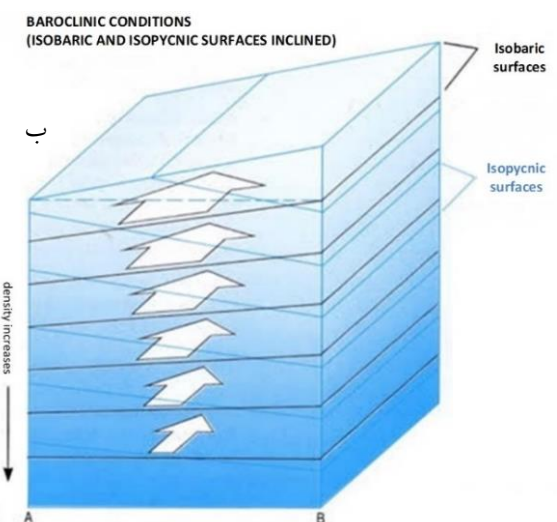
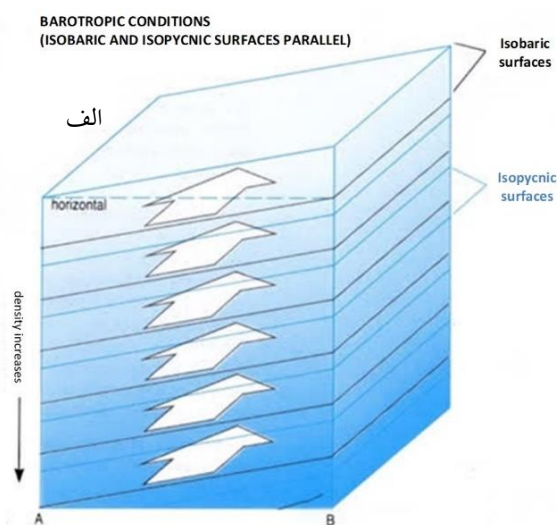
$$\vec{\nabla}P \times \vec{\nabla}\rho \neq 0 \quad (1)$$

شکل ۱، مقایسه این دو محیط را نشان می‌دهد [۳]. در شرایط فشارگری سطوح هم‌فشار و هم‌چگال با یکدیگر موازی هستند [۳-۴]. الگوی جریان نیز از سطح تا به پایین یکنواخت است [۳و۵]. اما در شرایط چگال‌گری سطوح هم‌فشار و هم‌چگال همدیگر را قطع می‌کنند [۳-۴]. الگوی جریان نیز از سطح تا به پایین کاهشی است [۳و۵].

از آنجا که اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی آب، اطلاعات اولیه و بنیادی شرایط چگال‌گری و فشارگری را فراهم می‌کند، این اطلاعات می‌تواند در مدل‌های ریاضی به‌منظور تعیین خصوصیات هیدرودینامیکی آب، نظیر جریان و گردش آب استفاده شود.

پدیده‌های شاخصی مثل فراجوشی<sup>۳</sup> و فروجوشی<sup>۴</sup> و انسو<sup>۵</sup> نیز بر اساس ساختار دما و شوری مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال

پدیده فراجوشی یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در انتقال مواد مغذی در سراسر فلات قاره است [۶]. وجود نیروی اصطکاک نیز سبب می‌شود تا وزش باد در سطح اقیانوس‌ها و دریاها، آب را جابه‌جا کرده و جریانات افقی، عمودی و امواج را ایجاد کند. اگر وزش باد در هر مکانی از سطح به واگرایی آب‌های لایه سطحی منجر شود، برای جبران واگرایی و حفظ تعادل، توده آب جایگزین آن باید از لایه‌های زیرین تأمین شود به‌گونه‌ای که آب جایگزین، حرکت رو به بالا از عمق به سطح را خواهد داشت [۷و۸]. طی این فرایند، آب‌های لایه‌های زیرین که اغلب سردتر و چگال‌ترند به سطح می‌آیند که این امر سبب انتقال مواد آلی و مغذی از عمق به سطح می‌شود، این فرایند پدیده فراجوشی نامیده می‌شود [۹].



شکل ۱. مقایسه شرایط فشارگری و چگال‌گری در یک حوزه آبی به‌صورت سه‌بعدی [۳]. (الف) محیط فشارگری، (ب) محیط چگال‌گری

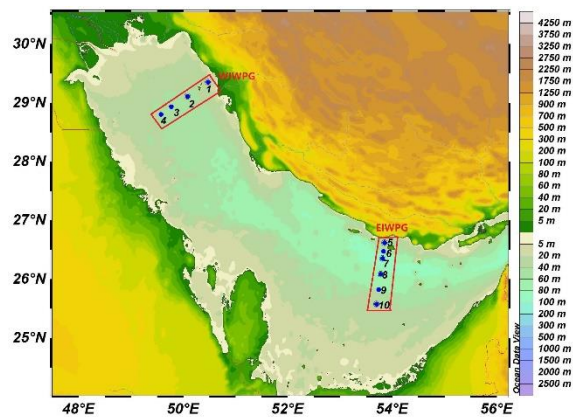
خلیج فارس در بیشتر مناطق، بین ۴۰/۵-۴۰ PSU گزارش شده است [۳۷-۳۸]. میزان شوری به شدت تحت تأثیر دمای هوا و میزان تبخیر است. رطوبت و بارندگی و آب‌های جاری شده از رودخانه‌ها اثر ناچیزی بر شوری در خلیج فارس می‌گذارند؛ بنابراین کاهش شوری می‌تواند مربوط به آب‌های ورودی از اقیانوس هند باشد [۳۹]. میزان تبخیر زیاد خلیج فارس در مقایسه با میزان بارش (۷ cm/year) و ورودی کم آب رودخانه‌ها (از ۱۰ cm/year تا ۴۶ cm/year) و نیز کم عمق بودن خلیج فارس، موجب شکل‌گیری توده آب شور و چگال می‌شود [۲۱]. به طوری که در مناطق کم عمق جنوبی خلیج فارس شوری به ۵۷ PSU می‌رسد [۳۹-۴۱]. به دلیل قرارگرفتن خلیج فارس در محدوده کم بارش و تبخیر زیاد، شوری و چگالی آب خلیج فارس زیاد است. تنگه هرمز محل تبادل آب چگال خلیج فارس و آب کم چگال اقیانوس هند است که باعث گردش آب در خلیج فارس می‌شود [۴۲]. گردش در نیمه مرکزی خلیج فارس یک رفتار فصلی دارد که آب‌های ورودی سطحی تحت تأثیر نیروی کوریولیس از خلیج فارس به سمت تنگه هرمز هدایت می‌شوند. جریان ورودی از اقیانوس هند و تنگه هرمز در اواخر بهار و تابستان قوی‌تر شده و از سواحل ایرانی بالاتر می‌رود و به ساحل امارات متحده عربی نزدیک‌تر و سبب پیدایش یک جبهه آب شور در خلیج فارس می‌شود [۴۳].

در مطالعه [۴۴]، تغییرات فصلی توده آب خلیج فارس در خلیج عمان با استفاده از داده‌های بین‌المللی دما و شوری از مجموعه داده WOA2018، با قدرت تفکیک (۰/۲۵ درجه) استفاده شد. در آن مطالعه چگالی پتانسیل در محیط نرم‌افزار ODV محاسبه شد. نتایج نشان داد که توده آب خلیج فارس<sup>۶</sup> (PGW) دارای تغییرات فصلی است و می‌توان آن را در دریای عمان شناسایی نمود [۴۴]. در مطالعه دیگری در تنگه هرمز با استفاده از داده‌های میدانی دما و شوری گشت ROPME2006 و با استفاده از ترسیم نمودار در نرم‌افزار ODV، آب‌های تنگه هرمز از نظر پایداری ستون آب بررسی شد و ناپایداری ستون آب در منطقه تأیید شد [۴۵].

انواع مختلفی از فراجوشی به صورت موقت یا دائمی وجود دارد. فراجوشی شامل انواع استوایی [۱۰]، ساحلی [۱۱] باد رانده [۱۲-۱۳]، فصلی [۱۴]، ناشی از پیچک‌ها [۱۵-۱۶] و ناشی از توپوگرافی [۱۷] است که شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با همدیگر دارند. به عنوان مثال در فراجوشی ساحلی در نیم کره شمالی و جنوبی، هرگاه باد می‌وزد و ساحل در سمت چپ جهت باد قرار داشته، کشش سطحی ناشی از نیروی کوریولیس، سبب انتقال جرم اکمن در امتداد عمود بر ساحل و به سمت دریا می‌شود. در این حالت، آب‌های عمقی جایگزین آب‌های سطحی می‌شود و فراجوشی رخ می‌دهد [۹] که به افزایش بهره‌وری زیستی و رونق صنعت شیلات آن منطقه منجر می‌شود [۱۸].

در حال حاضر مطالعات دما و شوری آب دریاها بسیار پراکنده و کم است به صورتی که نمی‌توان دیدگاه مناسبی از تغییرات زمانی و مکانی شوری آب دریاها را به صورت جهانی ارائه داد [۱۹] اگرچه حوضه اقیانوسی شناخته شده‌تر از دریاها حاشیه‌ای در مقیاس جهانی است. نیاز به شناخت خصوصیات فیزیکی آب، مستلزم نمونه‌برداری در نواحی مختلف از جمله خلیج فارس است. دریای سرخ و خلیج فارس، دو منشأ شکل‌گیری توده آب شور اقیانوس‌ها هستند [۲۰].

خلیج فارس به طور تقریبی در ۲۴ تا ۳۰ درجه شمالی و ۴۸ تا ۵۶ درجه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. خلیج فارس به عنوان امتدادی از اقیانوس هند، به صورت دریایی نیمه بسته است که از طریق تنگه هرمز به دریای عمان، دریای عرب و اقیانوس هند متصل می‌شود. خلیج فارس حدود ۹۹۰ کیلومتر طول و مساحتی حدود ۲۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع، عرض حداکثری حدود ۳۳۰ کیلومتر و عمق متوسط ۳۶ متر و حجمی حدود ۸۶۳۰ کیلومتر مکعب دارد [۲۱] که از نظر جنبه‌های فیزیکی در مطالعات مختلف [۲۲-۲۶]، و متعدد [۲۶-۳۳] بررسی شده است. دمای آب خلیج فارس بین ۳۲°C تا ۳۴°C در تابستان و ۱۸°C تا ۲۰°C در زمستان متغیر است [۳۴-۳۵]. میانگین شوری آب خلیج فارس در ۳۹/۵ PSU و در فصل زمستان در لایه‌های نزدیک بستر بین ۳۹/۵ PSU تا ۴۰/۸ PSU متغیر است [۳۶]. بیشینه شوری توده آب



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری و محل مقطع‌ها در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. ایستگاه‌های اندازه‌گیری در می ۲۰۱۹ واقع در آب‌های ایرانی خلیج فارس

مقطع	ایستگاه	موقعیت جغرافیایی			اندازه‌گیری	
		طول (°E)	عرض (°N)	آخرین عمق (m)	روز	ساعت
غربی (WIWPG)	۱	۵۰/۴۷۴	۲۹/۳۵۴	۲۹	۲	۲۱:۲۹:۰۴
	۲	۵۰/۰۸۱	۲۹/۱۱۱	۴۴	۳	۱۸:۵۳:۳۳
	۳	۴۹/۷۶۹	۲۸/۹۳۵	۴۸	۳	۲۰:۵۴:۴۷
	۴	۴۹/۵۷۵	۲۸/۸۰۵	۴۹	۳	۲۳:۵۳:۳۰
شرقی (EIWPG)	۵	۵۳/۸۵۳	۲۶/۶۱۹	۶۱	۶	۱۱:۵۴:۳۰
	۶	۵۳/۸۳	۲۶/۴۷۳	۸۱	۶	۱۴:۱۷:۰۷
	۷	۵۳/۸۱۳	۲۶/۳۵۱	۹۵	۶	۱۵:۴۰:۳۴
	۸	۵۳/۷۷۵	۲۶/۰۸۴	۷۹	۸	۱۲:۵۵:۱۰
	۹	۵۳/۷۳۷	۲۵/۸۲۱	۶۹	۸	۱۴:۵۱:۳۶
	۱۰	۵۳/۷۰۱	۲۵/۵۷۵	۴۱	۸	۱۶:۵۴:۵۸

به‌منظور تجزیه و تحلیل و مقایسه دما و شوری در قسمت شرق و غرب سواحل ایرانی خلیج فارس، دو مقطع در نزدیکی سواحل ایرانی یکی با نام غرب آب‌های ایرانی خلیج فارس با علامت اختصار<sup>۹</sup> WIWPG مربوط به مقطع غربی و دیگری با نام شرق آب‌های ایرانی خلیج فارس با علامت اختصار<sup>۱۰</sup> EIWPG مربوط به مقطع شرقی انتخاب شد (شکل ۲).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار اقیانوسی Ocean Data View که با علامت اختصار ODV نمایش داده می‌شود استفاده شد که پیش‌ازین در سایر مطالعات مثل فیزیک دریا [۴۷-۵۰]، شیمی دریا [۵۱] و زیست‌دریا [۵۲] استفاده شده است.

در مطالعه [۴۶] به تغییرپذیری فصلی هیدروگرافی در امتداد یک مقطع عرضی نزدیک ساحل-دریایی در بخش شرقی منطقه انحصاری اقتصادی<sup>۷</sup> (EEZ) قطر با استفاده از اندازه‌گیری ۵ ماه مختلف، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان داد که لایه‌بندی گرمایی در ماه ژوئن آغاز می‌شود و به ترموکلاینی کاملاً واضح و مشخص با اختلاف دمایی حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد در راستای عمق در ماه اوت می‌رسد و در ماه اکتبر شروع به لایه‌زدایی می‌کند و ترموکلاین از بین می‌رود.

متأسفانه اطلاعات ارائه‌شده در خصوص آب‌های ایرانی خلیج فارس، به گشت‌هایی برمی‌گردد که گاهی مربوط به اندازه‌گیری حداقل ۲۰ سال پیش است. شناخت آب‌های ایرانی سواحل خلیج فارس، به دلیل هزینه‌های سنگین و کمبود امکانات و دستگاه‌های اندازه‌گیری، به شناخت اندک این منطقه ارزشمند بر پایه داده‌های اندازه‌گیری شده منتهی شده است. داده‌های اندازه‌گیری نیز به صورت گسسته در اختیار ارگان‌هایی است که پژوهشگر با مراجعه به سازمان‌ها می‌تواند آن‌ها را دریافت کنند، اگرچه الزاماً در راستای تحقیق پژوهشگر اندازه‌گیری نشده‌اند. در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری جدید CTD استفاده شده است که توسط کاوشگر ایرانی خلیج فارس اندازه‌گیری شده است و منحصراً به بررسی و مطالعه آب‌های ایرانی در قسمت شرقی و غربی خلیج فارس می‌پردازد.

## ۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده دستگاه CTD کاوشگر خلیج فارس<sup>۸</sup> در گشت بهار (می) ۲۰۱۹ با علامت اختصار PGE-1901 استفاده شده است. ۱۰ ایستگاه از دو مقطع از این گشت با فرمت txt، به‌منظور تحلیل دما، شوری و چگالی انتخاب شد که موقعیت آن‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. موقعیت این ایستگاه‌ها و آخرین عمق اندازه‌گیری مربوط به هر ایستگاه در جدول ۱ آورده شده است. اندازه‌گیری‌ها از سطح تا عمق‌های متفاوتی انجام شده بود که در جدول ۱ فراهم شده است.

### ۳. تئوری و محاسبات

ابتدا داده‌های PGE-1901، در محیط نرم‌افزاری اکسل فیلتر و رفع خطا شدند. به منظور رفع خطا، داده‌ها با مطالعات قبلی خلیج فارس تطبیق داده شد و داده‌های خطا حذف شد. چون داده‌ها مستقیم از اندازه‌گیری استخراج شده بود، در داده‌ها در لایه سطحی شوری صفر گزارش شده بود. این مقدار به این معنا بود که هنوز دستگاه وارد آب نشده است. از این رو، این گونه داده‌ها باید حذف می‌شد. در برخی از مواقع نیز که اندازه‌گیری دستگاه قطع شده بود مقدار ۹۹۹ گزارش شده بود. در نتیجه با فیلتر داده‌ها در محیط اکسل شوری کمتر از ۲۰ psu و بیشتر از ۶۰ psu به عنوان خطا در نظر گرفته شد و حذف شد.

سپس داده‌ها به دو دسته شرقی و غربی تقسیم شد. مقطع‌های عمودی از ساحل به طرف بخش عمیق در آب‌های ایرانی رسم شد (شکل ۲). سپس نمودارهای برش قائم، ایستگاهی و مربوط به پارامتر دما، شوری و چگالی با نرم‌افزار Ocean Data View با علامت اختصار ODV رسم شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. مقادیر دما و شوری به طور مستقیم از داده‌های میدانی به دست آمد که جهت درون‌یابی فواصل بین ایستگاه‌ها در نمودارهای برش قائم از روش میانگین وزنی استفاده شد. برای محاسبه میانگین داده‌ها نیز از میانگین وزنی، با توجه به تعداد اندازه‌گیری موجود در هر ایستگاه استفاده شد. سپس چگالی پتانسیل در محیط نرم‌افزار محاسبه شد.

### ۴. یافته‌ها

در جدول ۲ گستره تغییرات دمایی (برحسب °C) در منطقه مورد نظر نشان داده شده، همان‌طور که معلوم است بیشینه دما در مقطع شرقی و در لایه‌های سطحی تا عمق یک متری و برابر با ۲۶/۲۶ °C و کمینه دما در مقطع غربی در ایستگاه ۲ در عمق ۴۴ متر و برابر با ۱۹/۹۰ °C است. بیشینه دما در سطح و کمینه دما در آب‌های عمیق‌تری دیده شده است.

در جدول ۲، گستره تغییرات شوری (برحسب PSU) آورده شده است. بیشینه شوری در مقطع غربی ۴۱/۵۴ PSU در عمق یک متری در ایستگاه ۴ است. کمینه شوری در مقطع شرقی

برابر با ۳۷/۷ PSU و در سطح ایستگاه ۵ اندازه‌گیری شده است. نکته قابل توجه آن است که بیشینه و کمینه شوری در آب‌های سطحی بوده و با توجه به اینکه این بیشینه و کمینه در ایستگاه‌های مختلفی است، این ویژگی می‌تواند نشانگر ناپایداری افقی بین ایستگاه‌ها باشد.

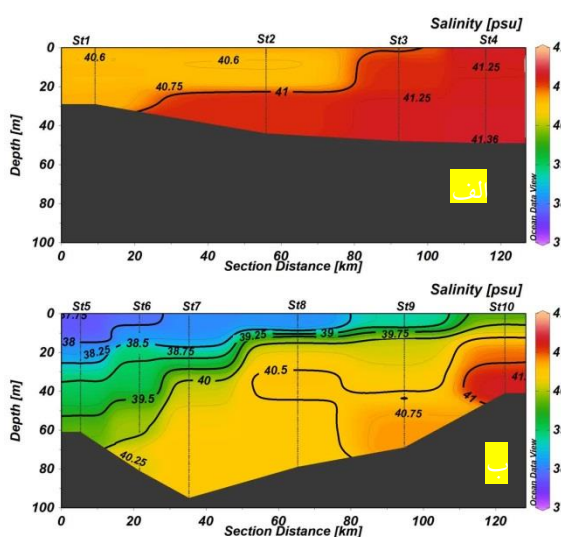
جدول ۲. گستره تغییرات دما و شوری و چگالی پتانسیل در آب‌های ایرانی خلیج فارس

EIWPG	WIWPG	مقدار آماری		کمیت	
۲۶/۲۶	۲۴/۵۶	مقدار	بیشینه	دما (°C)	
۲	۱	عمق (m)			
۷	۳	شماره ایستگاه			
۲۰/۵۷	۱۹/۹۰	مقدار	کمینه		
۵۶	۴۴	عمق (m)			
۷	۲	شماره ایستگاه			
۵/۶۹	۴/۶۶	اختلاف دما			
۲۳/۰۷	۲۱/۷۰	میانگین دما			
۴۱/۳۱	۴۱/۵۴	مقدار	بیشینه		شوری (PSU)
۴۱	۱	عمق (m)			
۱۰	۴	شماره ایستگاه			
۳۷/۷	۴۰/۴۶	مقدار	کمینه		
۰	۶	عمق (m)			
۵	۱	شماره ایستگاه			
۳/۶۱	۱/۰۸	اختلاف			
۳۹/۴۰	۴۱/۰۳	میانگین			
۲۸/۷۵	۲۹/۵۸	مقدار	بیشینه	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	
۹۵	۴۹	عمق (m)			
۷	۴	شماره ایستگاه			
۲۵/۲۹	۲۷/۸۹	مقدار	کمینه		
۴	۳	عمق (m)			
۶	۲	شماره ایستگاه			
۳/۴۶	۱/۶۹	اختلاف			
۲۷/۴۶	۲۸/۸۹	میانگین			

میزان چگالی پتانسیل (برحسب kg/m<sup>3</sup>) برای مقطع‌های مورد مطالعه در جدول ۲، فراهم شده است. بیشینه چگالی ۲۹/۵۸ kg/m<sup>3</sup> در عمق ۴۹ متری ایستگاه ۴ در مقطع غربی

خلیج کم شورتر هستند و میزان کمینه شوری به  $40/46$  PSU در عمق ۶ متری ایستگاه ۱ می‌رسد. میزان بیشینه شوری نیز در این برش عمودی  $41/54$  PSU در عمق ۱ متری ایستگاه ۴ است. در این برش عمودی به خوبی دو توده آب کم شور و شور دیده می‌شود.

در قسمت ب از شکل ۴ برش شوری عمود بر ساحل شرقی خلیج فارس (مقطع EIWPG) مشاهده می‌شود. با توجه به جریان آب‌های ورودی به خلیج فارس آب‌های نزدیک ساحل شیرین‌تر هستند و لایه‌بندی شدن آب قابل مشاهده است و میزان کمینه شوری به  $37/7$  PSU در سطح ایستگاه ۵ می‌رسد. میزان بیشینه شوری نیز در این مقطع  $41/31$  PSU در عمق ۴۱ متری ایستگاه ۱۰ است.

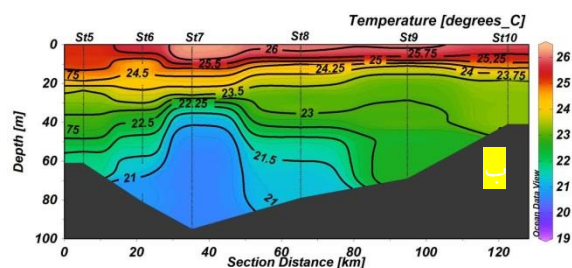
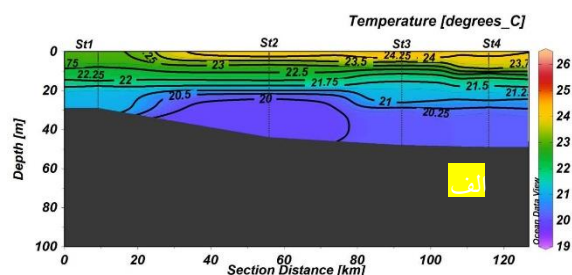


شکل ۴. برش‌های قائم شوری برای ترانسکت‌های (الف) غرب و (ب) شرق آب‌های ایرانی خلیج فارس

در شکل ۵ قسمت الف، برش قائم چگالی برای مقطع WIWPG رسم شده است. بیشینه چگالی در این مقطع به  $29/58$   $kg/m^3$  در عمق ۴۹ متری ایستگاه ۴ می‌رسد. کمینه چگالی در ایستگاه ۲ برابر با  $27/89$   $kg/m^3$  است. لایه‌بندی شدن لایه‌های آب به خوبی در تصویر دیده می‌شود.

بوده و کمینه چگالی در ایستگاه ۶ و در عمق ۴ متری به  $25/29$   $kg/m^3$  می‌رسد و در مقطع شرقی است.

در شکل ۳ الف، برش دما، عمود بر خط ساحل غربی خلیج فارس (مقطع WIWPG) را نشان می‌دهد. در این مقطع خطوط هم‌دما تقریباً به صورت سطوح افقی است و با حرکت از ساحل به سمت مرکز خلیج تغییرات چندانی ندارد و می‌تواند موجب شرایط چگال‌گرایی شود. لایه سطحی EIWPG ( $26/07$  °C) گرم‌تر از لایه سطحی WIWPG ( $24/65$  °C) است. در شکل ۳ ب، برش دما، در طول خطی عمود بر ساحل شرقی خلیج فارس نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود؛ در مقایسه با شکل ۳ الف، خطوط هم‌دما به صورت یکنواخت با عمق تغییر نمی‌کند و می‌تواند شرایط چگال‌گرایی را ایجاد کند. در ایستگاه ۷ آب سردی با دمای  $20/57$  °C وجود دارد که می‌تواند بر اثر پدیده فراجوشی باشد. بیشینه دمای قابل مشاهده در این مقطع در ایستگاه ۷ در لایه‌های سطحی تا عمق یک متری به  $26/26$  °C و کمینه دما در عمق ۹۵ متری ایستگاه ۷ به  $20/57$  °C می‌رسد. با توجه به اینکه در این ایستگاه تغییرات دما در لایه ترموکلاین زیاد است می‌تواند آب را به شدت لایه‌بندی کند.



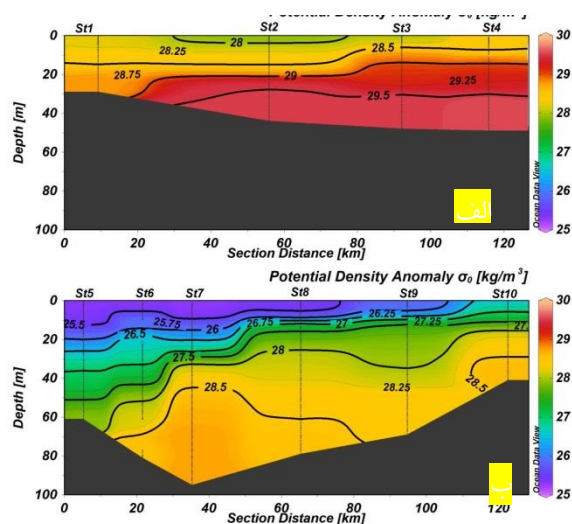
شکل ۳. برش‌های قائم دما برای ترانسکت‌های (الف) غرب و (ب) شرق آب‌های ایرانی خلیج فارس

در شکل ۴ قسمت الف، برش شوری عمود بر ساحل غربی خلیج فارس (مقطع WIWPG) مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد آب‌های نزدیک ساحل به علت جریان‌های ورودی به

در مقطع شرقی به‌خصوص در ایستگاه‌های نزدیک به ساحل ایران جریان کم شور آب ورودی به خلیج فارس با نام جریان آب سطحی اقیانوس هند<sup>۱۱</sup> با علامت اختصار IOSW و تا عمق بیست متری به‌خوبی دیده می‌شود و هرچه از آب‌های ساحلی دور شده و به ایستگاه St10 رسیده این جریان به سطح آب می‌رسد و این نکته بدین معناست که IOSW یک جریان کرانه‌ای ساحلی است. در مطالعه [۵۴] نیز نشان داده شده است که IOSW از سواحل شمالی تنگه هرمز وارد خلیج فارس می‌شود.

در مقطع غربی، IOSW با چگالی  $26/5 \text{ kg/m}^3$  دیده نمی‌شود و حداقل چگالی سطحی که در این مطالعه دیده شده است برابر با  $28 \text{ kg/m}^3$  است و این مقدار چگالی در مقطع شرقی در عمق‌های ۴۰-۵۰ متری هم دیده می‌شود. در مطالعه [۵۵] نیز با استفاده از مدل HYCOM نشان داده شده است که IOSW بعد از ورود به خلیج فارس دو شاخه می‌شود. یک شاخه در امتداد سواحل ایران به سمت شمال خلیج فارس حرکت می‌کند و شاخه دوم به سمت جنوب می‌چرخد و به آن طرف می‌رود. این دو شاخه سبب شکل‌گیری پیچک‌هایی پادساعت‌گرد در قسمت‌های جنوبی و شمالی خلیج فارس می‌شود. این آب ورودی از دریای عمان تغییرات فصلی دارد.

همان‌طور که در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نمایان است در ایستگاه St7 هم در شکل دما و هم در شکل شوری و چگالی دیده شده است که آب به طرف بالا فراجوشی شده است و از آن ایستگاه به بعد انگار شیبی که مورد نیاز تشکیل گوه نمکی است از سمت ساحل ایران به سمت مرکز دیده می‌شود. این محل به نظر می‌رسد حد آستانه آب بالا آمده است. با توجه به مطالعه [۵۶]، وجود پدیده فراجوشی و کاهش دمای آب در محدوده عمق ۴۰ تا ۶۰ متری این ایستگاه قابل قبول است. آنان در مطالعه خود اذعان داشته‌اند که در مرکز خلیج فارس، چهار پیچک میان‌مقیاس چرخندی وجود دارد. در مطالعه [۵۷] وجود پیچک به علت IOSW مطرح شده است. در مطالعه [۵۸] نیز ابعاد آن حدود ۵۰ km در نزدیکی بوشهر تخمین زده شده است. مطالعه [۵۶] با مشاهده نمودارهای دما



شکل ۵. برش‌های قائم چگالی پتانسیل برای مقطع‌های (الف) غرب و (ب) شرق آب‌های ایرانی خلیج فارس

در قسمت ب از شکل ۵ برش قائم چگالی برای مقطع EIWPG رسم شده است. بیشینه چگالی در این مقطع به چگالی در ایستگاه ۶ و در عمق ۴ متری به  $25/29 \text{ kg/m}^3$  می‌باشد. لایه‌بندی شدن لایه‌های آب به‌خوبی در تصویر مشاهده می‌شود.

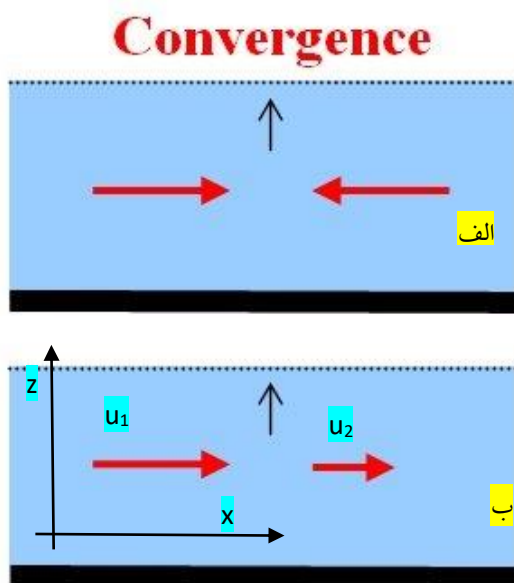
## ۵. بحث

در بررسی تصاویر مربوط به داده‌های شوری در مقطع غربی (شکل ۴ الف) نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های نزدیک به ساحل جریان ورودی رودخانه‌ها از جمله اروندرود باعث کاهش شوری شده و دو لایه شدن آب مشخص است. با توجه به مطالعه [۵۳] در ایستگاه‌های نزدیک به مقطع غربی، میزان شوری اندازه‌گیری شده آن مطالعه به داده‌های اندازه‌گیری مطالعه حاضر نزدیک است. آنان بیان نمودند که آب با شوری کمتر از  $37/69 \text{ PSU}$  تنها در نزدیکی ایستگاه ۱۰۶ (ساحل کویت با طول جغرافیایی  $48/44$  درجه شرقی و عرض جغرافیایی  $29/31$  درجه شمالی) دیده می‌شود و در برخی از ایستگاه‌ها (به‌عنوان مثال ایستگاه ۷۷ با موقعیت جغرافیایی  $49/52$  درجه شرقی و  $27/66$  درجه شمالی، شوری از  $40/49 \text{ PSU}$  هم تجاوز می‌کند.

پیچک در بخش جنوبی خلیج فارس مطابق شکل ۶ (ب) و ناشی از همگرایی دو جریان، با سرعت متفاوت است که جریان قوی تری به دنبال جریان ضعیف تری شارش می‌یابد. به عبارتی یکی از این دو جریان، سرعت بیشتری دارد که به دنبال جریان با سرعت کمتر در حال شارش است (شکل ۶ ب) که می‌توان این‌گونه تصور نمود که IOSW ورودی از تنگه به دنبال IOSW ضعیف تری که قبلاً وارد شده است در حال شارش است. این همگرایی دو جریان با سرعت متفاوت می‌تواند پیچکی را ایجاد کند که یک جریان بالاسو طبق اصل پیوستگی به دنبال داشته باشد.

این جریان بالاسو به سادگی از طریق معادله پیوستگی اثبات می‌شود:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (2)$$



شکل ۶. طرحی شماتیک از فرآجوشی ناشی از پیچک در یک حوزه آبی [۵] (الف) همگرایی جریان‌ها با دو سوی مخالف، (ب) همگرایی دو جریان هم‌سو با سرعت متفاوت که یک جریان قوی به دنبال جریان ضعیف تری در حرکت است و می‌تواند موجب فرآجوشی شود.

اگر حرکت را به صورت افقی (در راستای محور  $x$ ) مطابق شکل ۶ (ب) در نظر بگیریم سرعت در راستای محور  $y$  برابر با  $V = 0$  می‌شود. در این صورت رابطه (۲) به صورت رابطه (۳) درمی‌آید:

و شوری نسبت به عمق در مرکز این پیچک‌ها و مقایسه آن‌ها با نمودارهایی از این دست در ماه‌های ژانویه و فوریه، بیان شده است که وجود پیچک‌های چرخندی سبب عمیق‌تر شدن ترموکلاين و کاهش عمق لایه آمیخته در مرکز پیچک می‌شود و پدیده فرآجوشی رخ می‌دهد.

با توجه به این که ایستگاه ۷، عمق بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌های مجاور دارد لذا باید خطوط هم‌دما به سمت پایین کشیده شود نه بالا، ولی در تصاویر دما، شوری و چگالی دیده می‌شود که خطوط کنتور به طرف سطح کشیده شده است. اگر این پدیده را به عنوان فرآجوشی در نظر بگیریم، از میان انواع فرآجوشی که در مقدمه به آن اشاره شد، این نوع از فرآجوشی ناشی از توپوگرافی نخواهد بود، چون عمق ایستگاه ۷ بیشتر از عمق سایر ایستگاه‌های هم‌جوار است. از آنجا که فرآجوشی استوایی در نزدیکی استوا رخ می‌دهد پس این نوع فرآجوشی نیز در آب‌های ایرانی خلیج فارس نخواهیم داشت. در نتیجه سه گزینه فرآجوشی ساحلی، فرآجوشی فصلی و فرآجوشی ناشی از پیچک می‌تواند برای این بالاتر رفتن خطوط کنتور محتمل باشد. با توجه به موقعیت ایستگاه ۷ در مطالعه [۴۴] دیده می‌شود که در نزدیکی کیش که ایستگاه ۷ واقع در غرب آن است، در سه فصل بهار، تابستان و پاییز یک لکه دمایی وجود دارد. اما مطالعه حاضر برای تعیین نوع فرآجوشی از بین سه فرآجوشی ساحلی، فصلی یا پیچک نیازمند آن است که علاوه بر بررسی الگوی باد باید اندازه‌گیری در سایر فصل‌ها به همراه اندازه‌گیری سرعت در راستای عمق صورت گیرد تا بتواند قادر به پاسخگویی به سؤال مذکور باشد.

به‌علاوه، شکل‌های ۳ تا ۵ (ب) مربوط به مقطع شرقی، به‌خوبی رخداد شرایط چگال‌گرایی را نشان می‌دهد که می‌تواند دلیل دوشاخه شدن جریان باشد که در مطالعه [۵۵] به علت شرایط چگال‌گرایی یا پیچک مطرح شده در مطالعه [۵۶-۵۷] می‌تواند به وجود آید که طرحی شماتیک از آن در شکل ۶ فراهم شده است.

طبق کتاب [۵] فرآجوشی ناشی از پیچک می‌تواند دو حالت شکل ۶ الف و ب داشته باشد. از نظر نویسندگان نوع ایجاد

از ایستگاه ۸ تا ۱۰ خطوط هم چگال به موازات خطوط هم عمق قرار می‌گیرند؛ با توجه به اینکه اگر خطوط هم چگال و هم عمق به موازات هم قرار بگیرند، شرایط فشارگرای به وجود خواهد آمد و اگر خطوط هم چگال و هم عمق همدیگر را قطع کنند، شرایط چگال‌گرای ایجاد می‌شود، می‌توان بیان نمود که در منطقه یک شرایط چگال‌گرای وجود دارد. هسته کم چگال، کم شور و سرد که داخل مرکز ایستگاه ۷ و عمق ۷۰ متری قرار دارد، می‌تواند بر اثر وجود یک پیچک باشد که شرایط چگال‌گرای محیط و فراجوشی مطرح شده نیز این نظریه را تقویت می‌کند. در مرکز ایستگاه ۴ در عمق ۴۰ متری نیز تغییر خطوط هم چگال اتفاق افتاده است که آن نیز می‌تواند به وجود پیچک برگردد که مطالعات بیشتر با مناطق هم جوار می‌تواند نظریه وجود پیچک را مورد ارزیابی قرار دهد.

همچنین، با توجه به وجود ناپایداری افقی که در این مطالعه در محدوده تنگه‌هرمز دیده شده است و مطرح شدن ناپایداری قائم در ستون آب در دیگر مطالعاتی که در بحث به آن اشاره شد، پیشنهاد می‌شود که بررسی ناپایداری در راستای افق و قائم به‌طور هم‌زمان صورت پذیرد.

## ۷. سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از همکاری خانم‌ها شکیلا لشکری، دانشجوی دکتری دانشگاه هرمزگان و فرزانه محمدپور کارشناسی‌ارشد دانشگاه هرمزگان در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

## مراجع

[۱] فرخی مقدم صفیه، علی‌اکبری بیدختی عباسعلی، احمدی گیوی فرهنگ، عظام مجتبی. مطالعه تغییرپذیری پارامترهای فیزیکی (دما و شوری) آب‌های خلیج فارس ناشی از تغییرات اقلیم با استفاده از یک مدل‌سازی عددی و برخی داده‌های اندازه‌گیری. علوم زمین. ۱۴۰۰؛ ۳۱ (۱۱۹): ۶۳-۷۰.

[2] Koblinsky C, Hildebrand P, LeVine D, Pellerano F, Chao Y, Wilson W, Lagerloef G. Sea surface

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{\partial W}{\partial z} \quad (۳)$$

با توجه به اینکه  $u_2 < u_1$  و  $x_2 > x_1$  است، سمت چپ رابطه (۳) منفی است در نتیجه باید حاصل  $\frac{\partial W}{\partial z} > 0$  باشد. از طرفی رابطه (۴) را داریم:

$$\frac{w_2 - w_1}{z_2 - z_1} > 0 \quad (۴)$$

و چون  $z_2 > z_1$  است. در نتیجه رابطه (۵) حاصل می‌شود:

$$w_2 > w_1 \quad (۵)$$

به عبارتی چون سرعت در  $w_2$  بیشتر از  $w_1$  است یعنی آب از  $w_2$  باید به طرف  $w_1$  حرکت کند (از سرعت بیشتر به طرف سرعت کمتر) و در نتیجه آب به طرف بالا می‌رود.

در مطالعه [۵۳] نیز بیان شده است که در شمال خلیج فارس، الگوی چگالی مشابهت‌های زیادی با الگوی شوری دارد. آب سبک‌تر ( $28/22 \text{ kg/m}^3$ ) در نزدیکی ایستگاه ۱۰۶ و آب سنگین‌تر ( $30/22 \text{ kg/m}^3$ ) در نزدیکی ایستگاه ۷۷ آن مطالعه وجود دارد که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

از طرفی دیگر، طبق جدول ۲، وجود کمینه و بیشینه شوری در آب‌های سطحی در ایستگاه‌های گفته‌شده، نشانگر ناپایداری شوری حداقل به‌صورت افقی بین ایستگاه‌هاست. در مطالعه [۴۵] نیز به ناپایداری ستون آب در محدوده تنگه‌هرمز از نظر راستای قائم اشاره شده است.

## ۶. نتیجه‌گیری

در مقطع غربی تقریباً خطوط هم چگال افقی هستند در حالی که در مقطع شرقی از ایستگاه ۵ تا ۸، حتی خطوط هم چگال یک شیب به سمت بالا دارند. این ویژگی می‌تواند ناشی از فراجوشی باشد که نوع فراجوشی می‌تواند با توجه به فراجوشی ساحلی، فصلی یا ناشی از پیچک باشد. از طرفی شرایط به‌خوبی ویژگی‌های محیط چگال‌گرای را نشان می‌دهد که می‌تواند وجود یک پیچک را نشان دهد که با توجه به سایر مطالعات، می‌تواند به‌صورت فصلی باشد.

- algal communities. *Ecology*. 2021; 102(6): e03335.
- [15] Calado L, Da Silveira ICA, Gangopadhyay A, De Castro BM. Eddy-induced upwelling off cape são tomé (22 s, Brazil). *Continental Shelf Research*. 2010;30(10-11): 1181-8.
- [16] Yung CK, Morrison AK, Hogg AM. Topographic hotspots of Southern Ocean eddy upwelling. *Frontiers in Marine Science*. 2022;9: 855785.
- [17] Silva M, Araujo M, Geber F, Medeiros C, Araujo J, Noriega C, Costa da Silva A. Ocean dynamics and topographic upwelling around the Aracati Seamount-North Brazilian Chain from in situ observations and modeling results. *Frontiers in Marine Science*. 2021;8: 609113.
- [18] Thompson RE. *Oceanography of the British Columbia coast*. Canada: Department of fisheries and Oceans. 1981. p.291.
- [19] Ahn Y, Shanmugam P, Moon J, Ryu JH. Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea. *Annales Geophysicae*. 2008; 26(7): 2019-35.
- [20] Rochford D. Salinity maxima in the upper 1000 meters of the North Indian Ocean. *Marine and Freshwater Research*. 1964;15(1): 1-24.
- [21] 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: 35-59.
- [22] Soyuf Jahromi M. Tidal components along the north of Oman Gulf and Persian Gulf. *International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering(ijcoe)*. 2023; 8(4): 36-48.
- [23] Soyuf Jahromi M, Emami M. The role of different positions of tidal turbines for energy extraction in Qeshm channel. *International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering(ijcoe)*. 2021; 6(5): 1-9.
- [۲۴] امامی مهدیه، سیوف جهرمی مریم، بهمن زادگان جهرمی علیرضا. اثر خط ساحلی بر الگوی جریان جزرومدی. *مجله علوم و فنون دریایی*. ۱۳۹۸؛ ۱۸(۲): ۲۵-۱۲.
- [۲۵] پورکریمیان عاطفه، سیوف جهرمی مریم، ملکوتی حسین. ردیابی منشأ اقیانوسی محتوای آب بارشی بندر دیر (اسفندماه ۱۳۹۵). *مجله علوم و فنون دریایی*. ۱۴۰۰؛ ۲۰(۳): ۴۹-۳۱.
- salinity from space: Science goals and measurement approach. *Radio Science*. 2003; 38(4): 29\_1-29\_7.
- [3] Colling A. *Ocean circulation (Vol. 3)*. Butterworth-Heinemann. 2<sup>nd</sup> edition. The Open University. 2001. p.285.
- [4] Oxford University. *Glossary of Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics*. 2024; <https://www.physics.ox.ac.uk/research/group/geophysical-and-astrophysical-fluid-dynamics/tutorials/glossary>
- [5] Kämpf J. *Ocean Modelling for Beginners Using Open-Source Software*. Springer Science & Business Media. 2009. p.167.
- [6] Weisberg RH, Black BD, Li Z. An upwelling case study on Florida's west coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2000;105(C5): 11459-69.
- [7] Fallah F, Mansoury D. Coastal upwelling by wind-driven forcing in the Caspian Sea: A numerical analysis. *Oceanologia*. 2022; 64(2): 363-75.
- [8] Fallah F, Mansoury D. Temperature structure and wind-induced water level anomalies in the Caspian Sea: a study on coastal upwelling. *Regional Studies in Marine Science*. 2023; 62: 102975.
- [9] Brown J. *Ocean circulation: prepared by an Open University course team*. Elsevier. 2016. p. 242.
- [10] Fernández-Carrera A, Kiko R, Hauss H, Hamilton DS, Achterberg EP, Montoya JP, Dengler M, Brandt P, Subramaniam A. Nitrogen fixation rates in the Guinea Dome and the equatorial upwelling regions in the Atlantic Ocean. *Biogeochemistry*. 2023;166(3): 191-210.
- [11] Largier JL. Upwelling bays: How coastal upwelling controls circulation, habitat, and productivity in bays. *Annual review of marine science*. 2020;12: 415-47.
- [12] Bordbar MH, Mohrholz V, Schmidt M. The relation of wind-driven coastal and offshore upwelling in the Benguela Upwelling System. *Journal of Physical Oceanography*. 2021;51(10): 3117-33.
- [13] Odic R, Bensoussan N, Pinazo C, Taupier-Letage I, Rossi V. Sporadic wind-driven upwelling/downwelling and associated cooling/warming along Northwestern Mediterranean coastlines. *Continental Shelf Research*. 2022; 250: 104843.
- [14] Sellers AJ, Leung B, Altieri AH, Glanz J, Turner BL, Torchin ME. Seasonal upwelling reduces herbivore control of tropical rocky intertidal

- [35] Soyuf Jahromi M. 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)*. 2022; 7(4): 1-6.
- [36] 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).
- [37] Brewer PG, Dyrssen D. Chemical oceanography of the Persian Gulf. *Progress in oceanography*. 1985; 14: 41-55.
- [38] Chao SY, Kao TW, Al-Hajri KR. A numerical investigation of circulation in the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 1992; 97(C7): 11219-36.
- [39] Swift SA, Bower AS. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2003; 108(C1): 4-1-4-21.
- [40] Bidokhti A, Ezam M. The structure of the Persian Gulf outflow subjected to density variations. *Ocean Science Discussions*. 2008; 5(2): 135-61.
- [41] John V, Coles S, Abozed A. Seasonal cycles of temperature, salinity and water masses of the western Persian Gulf. *Oceanologica acta*. 1990; 13(3): 273-81.
- [42] Dorgham M, Moftah A. Environmental conditions and phytoplankton distribution in the Persian Gulf and Gulf of Oman, September 1986. *Journal of the Marine Biological Association of India*. Cochin. 1989; 31(1): 36-53.
- [43] Kämpf J, Sadrinasab M. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Science Discussions*. 2005; 2(3): 129-64
- [44] لشکری شکیلا. ردیابی توده آب خلیج فارس در دریای عمان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده WOA با نرم افزار ODV [پایان‌نامه کارشناسی ارشد]. بندرعباس: دانشگاه هرمزگان؛ ۱۴۰۱. ص. ۲۱۶.
- [45] محمدپور فرزانه، حمزه ثی صمد، سیوف جهرمی مریم. مطالعه زمستانه پایداری و همرفت پخش دوگانه در شرق تنگه هرمز. *هیدروفیزیک*. ۱۴۰۱؛ ۸(۲): ۹۰-۱۰۰.
- [46] Al-Ansari EM, Husrevoglu YS, Yigiterhan O, Youssef N, Al-Maslmani IA, Abdel-Moati MA, et al. Seasonal variability of hydrography off the
- [۲۶] پورکریمیان عاطفه، سیوف جهرمی مریم، ملکوتی حسین. بررسی و مطالعه نحوه انتقال رطوبت سیلاب (مطالعه موردی: سیلاب اسفند ۱۳۹۵ در جنوب و جنوب غربی ایران). *فصلنامه علمی علوم و فنون آب‌خاکی*. ۱۴۰۰؛ ۲(۴): ۶۱-۴۰.
- [۲۷] رامک حسین، سیوف جهرمی مریم، اکبری پرستو. استفاده از داده‌های دمای سطحی آب دریای عمان جهت شناسایی آب زیرسطحی خلیج فارس. *هیدروفیزیک*. ۱۴۰۱؛ ۷(۲): ۹۳-۷۹.
- [۲۸] رامک حسین، سیوف جهرمی مریم، اکبری پرستو. ردیابی توده آب خلیج فارس با استفاده از ویژگی‌های دما و شوری سطحی. *اقیانوس‌شناسی*. ۱۴۰۰؛ ۱۲(۴۸): ۲۸-۱۳.
- [۲۹] رامک حسین، سیوف جهرمی مریم، اکبری پرستو. بررسی شوری و دمای توده آب خلیج فارس با استفاده از مدل FVCOM. *اقیانوس‌شناسی*. ۱۴۰۱؛ ۱۳(۵۲): ۱۲۰-۱۰۶.
- [30] Ramak H, Soyuf Jahromi M, Akbari, P. Investigating the downwelling of Persian Gulf Water in the Gulf of Oman. *International Journal Of Coastal, Offshore And Environmental Engineering(Ijcoe)*. 2023; 8(1): 1-9.
- [۳۱] لشکری شکیلا، سیوف جهرمی مریم، حمزه ثی صمد. تغییرات فصلی توده آب خلیج فارس در خلیج عمان. *اقیانوس‌شناسی*. ۱۴۰۲؛ ۱۴(۵۳): ۱۲۲-۱۰۳.
- [۳۲] سیوف جهرمی مریم، شاه منصوری زهره. تغییرات فصلی آنومالی تراز دریا در خلیج فارس (۱۳۹۶-۱۳۷۱). *مجله علوم و فنون دریایی*. ۱۴۰۱؛ ۲۱(۱): ۱۵-۱.
- [۳۳] سیوف جهرمی مریم، شاه منصوری زهره. الگوی ماهیانه ناهنجاری تراز سطح خلیج فارس. *فصلنامه دریافنون*. ۱۳۹۹؛ ۷(۴): ۹۷-۱۰۶.
- [34] 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).

[۵۷] رئیسی امین، مهرفر حسام‌الدین، علی‌اکبری بیدختی عباسعلی، ترابی آزاد مسعود، لاری کامران، ناظم‌السادات محمدجعفر، عظام مجتبی. مطالعه پیچک‌های میان‌مقیاس تخت تأثیر جریان‌های ساحلی در خلیج فارس و نقش آن در اقلیم منطقه. جغرافیای طبیعی. ۱۳۹۸؛ ۱۲ (۴۶): ۷۵-۹۰.

[۵۸] درس‌خوان سمیه، سیوف جهرمی مریم. حل عددی ادی میان‌مقیاس زمینگردی در مدل آب کم‌عمق. اقیانوس‌شناسی. ۱۴۰۱؛ ۱۳ (۴۹): ۸۱-۹۱.

### پی‌نوشت

1. Barotropic
2. Baroclinic
3. Upwelling
4. Downwelling
5. ENSO
6. Persian Gulf Water
7. Exclusive Economic Zone
8. Persian Gulf Explorer
9. West of Iranian Water of Persian Gulf
10. East of Iranian Water of Persian Gulf
11. Indian Ocean Surface Water

east coast of Qatar. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022;15(22): 1659.

[47] Wang Z, Shi X, Huang H. Observation of physical oceanography at the Y3 seamount (Yap Arc) in winter 2014. *Journal of Oceanology and Limnology*. 2022;40(4): 1314-32.

[48] Shi X, Wang Z, Huang H. Physical oceanography of the Caroline M4 seamount in the tropical western Pacific Ocean in summer 2017. *Journal of Oceanology and Limnology*. 2021;39: 1634-50.

[49] Abrahams A, Schlegel RW, Smit AJ. Variation and change of upwelling dynamics detected in the world's eastern boundary upwelling systems. *Frontiers in Marine Science*. 2021; 8, 626411.

[50] Lorente P, Piedracoba S, Montero P, Sotillo MG, Ruiz MI, Álvarez-Fanjul E. Comparative analysis of summer upwelling and downwelling events in NW Spain: a model-observations approach. *Remote Sensing*. 2020; 12(17): 2762.

[51] Gourain A, Planquette H, Cheize M, Lemaitre N, Menzel Barraqueta JL, Shelley R, Lherminier P, Sarthou G. Inputs and processes affecting the distribution of particulate iron in the North Atlantic along the GEOVIDE (GEOTRACES GA01) section. *Biogeosciences*. 2019;16(7): 1563-82.

[52] Forsch KO, Hahn-Woernle L, Sherrell RM, Rocanova VJ, Bu K, Burdige D, Vernet M, Barbeau KA. Seasonal dispersal of fjord meltwaters as an important source of iron and manganese to coastal Antarctic phytoplankton. *Biogeosciences*. 2021; 18(23): 6349-75.

[۵۳] سیوف جهرمی مریم، رضایی پورمشیزی الهه. ردپای بلوم اروندرود در شمال خلیج فارس در فصل بهار. علوم و فناوری دریا. ۱۳۹۸؛ ۲۳ (۹۰): ۳۵-۴۱.

[54] Piontkovski S, Chiffings T. Long-term changes of temperature in the Sea of Oman and the western Persian Sea. *International Journal of Oceans and Oceanography*. 2014; 8(1): 53-72.

[55] Yao F, Johns WE. A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 2. Formation and export of Persian Gulf Water. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2010; 115(C11).

[۵۶] ثابت عهد جهرمی عبدالرضا، لاری کامران، سلطانیان فرد محمدجعفر، رئیسی کمیز امین. مطالعه تأثیر پیچک‌های میان‌مقیاس بر توزیع گرادیان دما و شوری در خلیج فارس و تنگه هرمز، سیزدهمین همایش صنایع دریایی، جزیره کیش. ۱۳۹۰؛ ۱۷-۱۹ آبان: ۱-۹.