

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1401.8.2.9.9](https://doi.org/10.1001.1.24767131.1401.8.2.9.9)

درصد همانندی: ۸٪

مطالعه زمستانه پایداری و همرفت پخش دوگانه در شرق تنگه هرمز

فرزانه محمدپور^۱، صمد حمزه‌ئی^{۲*}، مریم سیوف جهرمی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
f.mohammadpour.stu@hormozgan.ac.ir

^{۲*} نویسنده مسئول، استادیار فیزیک دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران
s_hamzei@inio.ac.ir

^۳ دانشیار فیزیک دریا، گروه علوم غیرزیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
soyufjahromi@hormozgan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

چکیده

آب دریا به دلیل تغییرات دما و شوری در ستون آب همواره با پدیده‌هایی مانند وارونگی دما و شوری و تغییر در لایه‌بندی و ناپایداری روبه‌رو است. تنگه هرمز که محل تبادل آب خلیج فارس و خلیج عمان است به دلیل برهم‌کنش توده‌های آب ذاتاً قابلیت همرفت پخش دوگانه و تغییر در لایه‌بندی آب را دارد. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شرق تنگه هرمز و غرب خلیج عمان است. داده‌های مورد استفاده، داده‌های دما و شوری حاصل از گشت ROPME2006 در ۲۱ ایستگاه است که ابتدا در محیط نرم‌افزاری اکسل فیلتر شدند. داده‌ها به هفت ایستگاه مساوی در سه بخش به صورت بخش شمالی، میانی و جنوبی تقسیم شدند. سپس با کمک بسته نرم‌افزار ODV نمودارهای مربوطه ترسیم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه بسامد شناوری با حرکت از شمال به جنوب تنگه روند افزایشی و کمینه آن روند کاهشی را طی کرده، به عبارتی پایدارترین و ناپایدارترین لایه‌ها در مقطع جنوبی مشاهده می‌شوند. در آب‌های شمالی تا عمق ۵۳ متر و در آب‌های میانی و جنوبی تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده ناپایداری دیده می‌شود. در آب‌های شمالی و میانی تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده رژیم انگشتی و در آب‌های جنوبی تا عمق ۱۲۰ متر رژیم انگشتی و در زیر آن تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده رژیم پخشی سهم بیش‌تری در ایجاد همرفت پخش دوگانه دارد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، همرفت پخش دوگانه، رژیم پخشی، رژیم انگشتی، تنگه هرمز، بسامد شناوری، زاویه

ترنر

۱. مقدمه

جداسازی آب در لایه‌های مختلف، بر اساس یک کمیت مشخص را لایه‌بندی آب گویند [۱]. در محیط‌های اقیانوسی، دو مؤلفه دما و شوری موجب لایه‌بندی چگالی می‌شوند [۲]. هنگامی که شاره یا بسته آب سبک در بالای شاره سنگین قرار گیرد تمایل به حرکت قائم وجود ندارد و ستون آب پایدار ایستایی دارد. اما اگر شاره سنگین در بالای شاره سبک قرار گیرد، شاره سنگین فرو رفته و شاره سبک بالا می‌آید که در این صورت ستون آب چگالی ناپایدار خواهد داشت [۳].

لایه‌بندی ستون آب همیشه ثابت نیست و متغیر با زمان و مکان است [۱]. عواملی چون وزش باد و به تبعیت از آن تشکیل امواج باعث اختلاط آب‌های سطحی شده و از ایجاد لایه‌بندی در سطح جلوگیری می‌کند. هر چه لایه‌بندی ستون آب کمتر باشد، انرژی پتانسیل بیشتری خواهد داشت [۴].

برخلاف اختلاط تلاطمی که سبب افزایش انرژی پتانسیل سیستم شاره و استهلاک انرژی جنبشی می‌شود، همرفت پخش دوگانه سبب کاهش انرژی پتانسیل سیستم شاره‌ای می‌شود؛ بنابراین ضریب پخش چگالی نیز منفی است؛ یعنی در کل لایه‌بندی قائم چگالی در سیستم افزایش می‌یابد [۲].

همرفت پخش دوگانه باعث افزایش شدت لایه‌بندی چگالی و پایداری آن شده و انرژی پتانسیل سیستم را نیز کاهش می‌دهد که برخلاف فرایند تلاطمی است [۵].

در اصل پایداری مقیاسی برای درک مقدار کار موردنیاز برای جابه‌جایی یک ذره در ستون آب به سمت بالا یا پایین است. به تعبیر دیگر، پایداری می‌تواند جابه‌جایی ستون آب به سمت بالا و پایین و به صورت یک نوسان [۶] تشبیه کرد که بسامد آن را با بسامد شناوری N^1 طبق معادله (۱)، نمایش می‌دهند [۳] و [۷].

$$N(z) = \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} = Eg \quad (1)$$

بسامد شناوری در لایه ترموکلاین بیشترین مقدار و در لایه آمیخته و نواحی عمیق کمترین مقدار را دارد [۸].

اگر در یک شاره که دارای لایه‌بندی چگالی است، لایه‌بندی تحت تأثیر دو یا چند مؤلفه با ضرایب پخش مولکولی متفاوت باشد؛ ناپایداری رخ می‌دهد که علت آن پخش سریع‌تر یک مؤلفه، نسبت به مؤلفه دیگر است. زیرا ضریب پخش مولکولی دما حدود ۱۰۰ برابر سریع‌تر از شوری است [۳]، لایه‌های نازک می‌توانند در حین حرکت گرمای خود را از دست داده ولی شوری خود را حفظ کنند؛ در نتیجه ساختارهای لایه‌ای ایجاد شده در نمودارهای قائم شوری نسبت به دما برای مدت طولانی‌تری حفظ می‌شود و انتظار می‌رود در نمودارهای شوری ساختارهای قائم لایه‌های مشخص‌تر باشند [۹]. این ویژگی، موجب حرکات شدید و اختلاط در جهت قائم می‌شود که به آن همرفت پخش دوگانه گفته می‌شود [۱۰].

همرفت پخش دوگانه به دلیل اختلاف در پخش مولکولی شوری و دما رخ می‌دهد. هنگامی که توزیع شوری و دما در ستون آب از نظر توزیع چگالی اثرات معکوسی داشته باشند، ساختارهای بسیار جالبی در ستون آب ایجاد می‌شود. دو نوع رژیم متفاوت انگشتی و پخش نوسانی (رژیم پخشی) در این گونه همرفت وجود خواهد داشت [۱۱]. هنگامی که یک لایه گرم و شور روی یک لایه آب سرد و کم‌شور قرار بگیرد رژیم انگشتی و هنگامی که لایه سرد و کم‌شور روی لایه گرم و شور قرار گیرد رژیم پخشی رخ می‌دهد.

مفهوم فیزیکی فرایند همرفت پخش دوگانه (DD)، آزاد شدن قسمتی از انرژی پتانسیل توسط گرادیان قائم ناپایدار (دما یا شوری) می‌باشد [۵]. در محیط‌های اقیانوسی ذاتاً همرفت پخش دوگانه وجود دارد، به دلیل اینکه اختلاف شوری و دما در اعماق مختلف آب‌ها مشاهده می‌شود [۱۲].

اولین بار رودیک پارامتر زاویه ترنر را تعریف کرد که معمولاً هنگام مطالعه در مورد پایداری و همرفت پخش دوگانه بررسی می‌شود. معادله ۲ زاویه ترنر را نشان می‌دهد [۱۳].

$$Tu = \tan^{-1} \left(\frac{\alpha \Delta T - \beta \Delta S}{\alpha \Delta T + \beta \Delta S} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{R_\rho - 1}{R_\rho + 1} \right) \quad (2)$$

مطالعه پایداری و لایه‌بندی ستون آب دریاها و اقیانوس‌ها یکی از بخش‌های مهم در علم فیزیک دریاست. لایه‌بندی به

آب سرد و شیرین به وجود می‌آید. در منطقه جبهه‌ای خلیج عمان هر دو فرایند رژیم پخشی و انگشتی ایجاد می‌شود که نقش مهمی در انتقال دما و شوری دارند. لزه‌های گرم و شور در این آب‌ها رژیم پخشی را در لایه بالا و رژیم انگشتی را در لایه پایین نشان می‌دهند [۱۸].

در پژوهش جنوب خزر دیده شده است که شرایط پایداری حاکم بوده که در شرق به علت بزرگ‌تر بودن عدد مقادیر بسامد شناوری، پایداری قوی‌تر و در عمق با نزدیک شدن بسامد شناوری به صفر، ستون آب به سمت پایداری خنثی نزدیک می‌شود [۱۹].

در مطالعه دیگری از مقایسه توزیع دمایی آب در شرق تنگه هرمز دریافته شده است که در آب‌های به موازات سواحل ایرانی عمق لایه آمیخته تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده و در آب‌های میانی و جنوبی تا حدود ۱۰۰ متر می‌باشد. گستره تغییرات دما در بخش میانی حوضه نسبت به آب‌های شمالی و جنوبی بیشتر است که این گرادیان شدید به علت وجود PGW در هنگام خروج از تنگه هرمز است [۲۰]. به علاوه، نتایج موجود در تنگه هرمز نشان داده است که مقادیر پارامترهای دما، شوری و چگالی در آب‌های جنوبی نسبت به آب‌های شمالی تنگه بالاتر است (جریان‌های آب ورودی به تنگه هرمز و خروجی آن را بررسی نمودند) و جریان خروجی خلیج فارس به صورت جریان شرق‌سو از تنگه هرمز خارج می‌شود. همچنین جریان لایه سطحی اندازه‌گیری شده متأثر از باد است [۲۱].

همرفت پخش دوگانه را در تنگه هرمز با استفاده از داده‌های میدانی در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان (۲۰۱۲-۲۰۱۳) بررسی شده است. نتایج نشان داده است هر دو فرایند پخشی و انگشتی در بیشتر قسمت‌های منطقه رخ داده است و رژیم انگشتی در لایه‌های سطحی، به دلیل تبخیر زیاد، در بیشتر ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود [۲۲].

در دریای سولوسی دریافته شده است که جایی که آب‌ها گرادانی با چگالی زیاد دارند، لایه‌های ترموکلاین شکل می‌گیرد، درحالی‌که در لایه‌های نزدیک سطحی و لایه‌های عمق میانی لایه‌بندی نسبتاً کمتر است و در نتیجه توده آب ناپایدار است [۲۳].

عنوان مانع برای اختلاط آب عمل می‌کند که می‌تواند بر تبادل گرما، کربن، اکسیژن و سایر مواد مغذی تأثیر گذارد [۱] از لحاظ زیست‌محیطی اگر لایه‌بندی آب پایدار باشد، موجودات تنش محیطی کمتری احساس می‌کنند که چنین موردی از لحاظ شیلاتی و به پیروی از آن از لحاظ اقتصادی اهمیت دارد. همچنین لایه‌بندی بر شفافیت (کدورت) آب و رسوب‌گذاری در منطقه تأثیر گذار است.

مطالعه پایداری در رابطه با جابه‌جایی نیم‌رخ‌های سرعت صوت و عمق قرارگیری مین‌های شناور اهمیت دارد [۱۴].

در مبحث تشکیل امواج داخلی، بررسی مطالعه ستون آب اهمیت دارد؛ این امواج باعث ایجاد نویز مغناطیسی [۱۵] و خطای سوناری [۱۶] می‌شوند که از جنبه نظامی مهم می‌باشد.

تفکیک رژیم انگشتی و پخشی طی پژوهش [۱۷] نشان می‌دهد که در زمستان رژیم انگشتی و پخشی در دو مرز بالا و پایین مشاهده می‌شود که رژیم انگشتی در مرز پایین قوی‌تر است. همچنین از تنگه هرمز به سمت رأس الحمرا رژیم پخشی در لایه‌های نفوذی کاهش می‌یابد. در بهار سیال به صورت ایستایی ناپایدار است و همرفت پخش دوگانه ضعیف‌تر از زمستان است. رژیم پخشی و انگشتی عامل غالب در پخش دوگانه مربوط به حالت پایدار است [۱۷].

جدول ۱. معرفی بازه تغییرات بسامد شناوری و زاویه ترنر

متغیر	بازه تغییرات	توضیحات
N	N=0	پایداری خنثی
	N<0	ناپایدار ایستایی (استاتیکی)
	N>0	پایدار ایستایی (استاتیکی)
TU	45<TU<90	رژیم انگشتی
	-45<TU<45	بدون همرفت پخش دوگانه، پایدار مضاعف
	-45<TU<-90	رژیم پخشی
	-90>TU; 90<TU	ناپایدار ایستایی

نتایج پژوهش [۱۸] نشان داد با همرفت جریان خروجی در خلیج عمان دو مرز یکی در بالا، آب سرد و شیرین روی آب گرم و شور و مرز دیگر در پایین، آب گرم و شور بر روی

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی در این پژوهش، آب‌های شرق تنگه هرمز و غرب خلیج عمان با طول جغرافیایی $56^{\circ}47'9''$ تا $58^{\circ}6'2''$ و عرض جغرافیایی $23^{\circ}17'5''$ تا $27^{\circ}0'19''$ می‌باشد. تنگه هرمز حدفاصل بین خلیج فارس تا خلیج عمان (در حقیقت این دریا پیشرفتگی آب در خشکی است. از این رو بهتر است که خلیج عمان نامیده شود [۲۴]) است ولی عموماً تنگه هرمز را بخشی از خلیج فارس می‌دانند. از موارد اهمیت تنگه هرمز برای بقا و دوام خلیج فارس می‌توان اشاره نمود [۲۵].

عرض متوسط تنگه هرمز در حدود ۵۶ کیلومتر می‌باشد [۲۶]، عریض‌ترین فاصله تنگه هرمز ۸۴ کیلومتر (از کرانه‌های بندرعباس در شمالی‌ترین نقطه تا کرانه‌های مسندم در جنوب) و کوتاه‌ترین آن ۶٫۳۳ کیلومتر (میان جزیره ایرانی لارک در شمال و جزیره عمانی السلامه که نام دیگر آن قوئین بزرگ است، در جنوب) برآورد شده است [۲۷]. منطقه تنگه هرمز تقریباً پیچیده است، زیرا کانالی است که ابتدا همگرا شده و سپس واگرا می‌شود و توپوگرافی در یک منطقه یکنواخت و در منطقه دیگر غیریکنواخت است. این کانال صاف نبوده و یک خمش در آن وجود دارد که آن را به منطقه پیچیده‌ای تبدیل کرده است [۲۸].

سامانه جوی پرفشار در فصل زمستان و کم‌فشار در فصل تابستان در منطقه حاکم است. محدوده تغییرات دمای هوا در فصل‌های زمستان و تابستان به ترتیب برابر با ۱۸-۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۲-۳۴ درجه سانتی‌گراد است. میزان تبخیر در پژوهش‌های مختلف بین ۱/۴۴-۲/۰ متر در سال گزارش شده است [۲۵] و [۲۹].

محدوده تغییرات سالانه دما در تنگه هرمز 19°C تا 32°C بوده [۳۰] که دمای سطحی در سواحل بیش از مناطق دور از سواحل می‌باشد [۳۱]. تبادل آب بین خلیج فارس و دریای آزاد باعث می‌شود آب حالت دولایه‌ای داشته باشد و لایه‌های دیگر به صورت جریان‌های نفوذی ظاهر شوند [۳۲].

هنگامی که جریان خروجی خلیج فارس به خلیج عمان می‌ریزد، به دلایل مختلف باعث ایجاد وارونگی می‌شود،

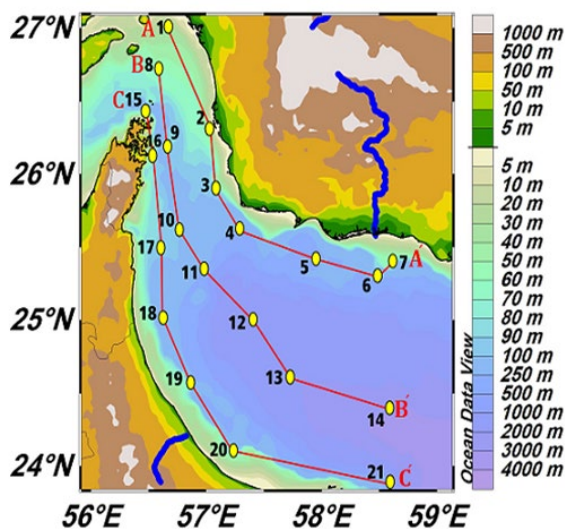
یکی از آن دلایل همرفت پخش دوگانه است [۲۸]. در سمت سواحل ایرانی تنگه هرمز در طول سال از سطح تا بستر آب کاملاً آمیخته و در جنوب تنگه آب کاملاً لایه‌بندی شده است [۲۵] و [۲۶].

روند کلی تغییرات چگالی در فصل‌های زمستان و تابستان به صورتی است که از سمت شرق به غرب بر میزان آن افزوده می‌شود. چگالی بستر در هر دو فصل زمستان و تابستان به دو ناحیه کاملاً مجزا تقسیم می‌شود: یک ناحیه در شمال تنگه که شامل جریان‌های ورودی خلیج عمان است، چگالی پایین‌تری نسبت به چگالی خلیج فارس دارد و ناحیه دیگر در جنوب تنگه قرار دارد که شامل جریان‌های خروجی آب شور از خلیج فارس است و نسبت به بخش شمالی چگالی بیشتری دارد. چگالی آب ورودی از خلیج عمان به خلیج فارس در نزدیک سواحل ایرانی (شمال تنگه هرمز)، از سطح تا بستر تقریباً یکنواخت است. در نزدیکی سواحل عمان (جنوب تنگه هرمز)، آب‌های سنگین خلیج فارس، لایه‌بندی تقریباً شدیدی را تشکیل می‌دهند [۲۶].

در فصل زمستان تغییرات شوری قابل توجه بوده که بیانگر خروج آب چگال خلیج فارس است. شوری و چگالی PGW در فصل تابستان بیش از زمستان می‌باشد. با تغییر فصول میزان آب خروجی از تنگه هرمز تغییر می‌کند به طوری که در فصل بهار PGW در قسمت شرقی تنگه هرمز در ایستگاه‌های نزدیک به سواحل ایران قابل‌ردیابی است [۳۳].

با توجه به محدودیت‌های اندازه‌گیری، بیشترین داده میدانی مورد استفاده در بین پژوهشگران در زمینه فیزیک دریا بسته داده‌های راپمی ۱۹۹۲ می‌باشد اما ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده در بخش شرقی تنگه هرمز در گشت‌های راپمی ۱۹۹۲ نسبت به بخش غربی کمتر است؛ این امر باعث شناخت کمتر این بخش گردیده که گشت راپمی در سال ۲۰۰۶ این محدودیت را جبران کرده است. به این منظور در این پژوهش از داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده دستگاه CTD طی گشت دریایی راپمی در زمستان ۲۰۰۶ (شکل ۱) استفاده شد. از آنجایی که در این گشت اندازه‌گیری‌های دما و شوری تا بستر صورت نگرفته است، بنابراین در این پژوهش بستر

در نزدیکی سواحل عربی (مقطع CC) ترسیم شدند (شکل ۱). سپس سکشن (قطاع)های مربوط به پارامترهای دما، شوری و چگالی پتانسیل و نمودارهای پراکندگی بسامد شناوری و زاویه ترنر با نرم افزار ODV رسم شد همچنین برای نمایش درصد فراوانی مقادیر زاویه ترنر نمودار دایره‌ای در نرم افزار اکسل ترسیم شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. مقادیر دما و شوری مستقیماً از داده‌های میدانی به دست آمده و سایر پارامترها با استفاده از رابطه‌های ریاضی (با استفاده از معادله حالت TEOS10) موجود در بسته نرم‌افزاری ODV محاسبه شدند. همچنین برای درون‌یابی فواصل بین ایستگاه‌ها در مقاطع (سکشن‌ها) افقی از روش میانگین وزنی استفاده شد.



شکل ۱. محل قرارگیری ترانسکت‌ها در منطقه مورد مطالعه رسم شده با نرم‌افزار ODV

فرضی تعیین شده در نمودارها، آخرین عمق اندازه‌گیری در نظر گرفته شد. ۲۱ ایستگاه از این گشت، به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های مورد بررسی از بسته نرم‌افزار اقیانوسی Ocean Data View با علامت اختصار ODV، نسخه رینر اسپلیزر ۲۰۲۱ (Schelitzer, 2021) استفاده شده است. ODV یک برنامه رایانه‌ای مربوط به موسسه Alfred Wegener Institute (AWI) برای نمایش گرافیکی اقیانوس‌شناسی و سایر مشخصات جغرافیایی و داده‌های سری زمانی است. نرم‌افزار مذکور برای سیستم‌های Windows، Mac OS، Linux و UNIX قابل استفاده است. فایل‌های تنظیمات و داده‌های ODV می‌توانند بین همه سیستم‌های پشتیبانی شده مبادله شوند. ODV به کاربر این امکان را می‌دهد که مجموعه داده‌های بسیار بزرگی را روی سخت‌افزاری کم‌حجم و قابل حمل، نگهداری و تجزیه و تحلیل کند و هر مجموعه داده موجود را می‌توان زمانی که داده‌های جدید در دسترس قرار گرفت، گسترش دهد [۳۴]. ODV در علوم مختلفی مثل فیزیک دریا [۲۱] و [۲۳]، هواشناسی [۳۵]، شیمی دریا [۳۶]، زیست دریا [۳۷]، زمین‌شناسی دریا [۳۸]، محیط‌زیست دریا و غیره استفاده می‌شود.

در این پژوهش از داده‌های پایگاه داده اقیانوس جهانی به‌عنوان پایه اولیه تحقیق جهت ورود داده‌های گشت ROPME2006 استفاده شده است. ابتدا داده‌های ایستگاه‌های جدول ۲ را که با فرمت txt بودند، در محیط نرم‌افزاری اکسل فیلتر شده و داده‌های خطا حذف شد. داده‌ها به سه دسته مساوی مربوط به شمال منطقه مورد مطالعه، میانه و جنوب آن تقسیم شد (جدول ۱). مقاطع افقی در شمال منطقه مورد مطالعه و در نزدیکی سواحل ایرانی (مقطع AA)، در بخش میانی حوضه (مقطع BB) و در بخش جنوبی حوضه

جدول ۲. مشخصات زمانی و مکانی ایستگاه‌های منتخب اندازه‌گیری شده در گشت رایپی ۲۰۰۶

Sections	Station Number	Location		Last Measured Depth (m)	Time Start	Time End	Date of Measurement
		Longitude (°E)	Latitude (°N)				
North Section (AA')	St1	۵۶/۶۵۵	۲۷/۰۱۹	۳۱	۱۱:۱۵:۰۶ AM	۱۱:۱۶:۴۱ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۹
	St2	۵۷/۰۳۳	۲۶/۳۱۷	۲۷	۱۱:۴۸:۳۸ AM	۱۱:۴۹:۲۵ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۷
	St3	۵۷/۰۷۷	۲۵/۸۹۶	۵۸	۷:۲۰:۳۸ AM	۷:۲۲:۱۴ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۷
	St4	۵۷/۲۸۸	۲۵/۶۱۹	۶۵	۷:۰۷:۰۰ AM	۷:۰۸:۵۳ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۶
	St5	۵۷/۹۵۰	۲۵/۴۱۷	۵۴	۶:۰۰:۵۱ PM	۶:۰۲:۱۶ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۵
	St6	۵۸/۴۸۷	۲۵/۳۰۲	۱۱۶	۹:۲۱:۵۲ AM	۹:۲۵:۴۱ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۴
	St7	۵۸/۶۰۲	۲۵/۳۸۹	۴۸	۷:۱۰:۲۲ AM	۷:۱۳:۴۹ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۴
Middel Section (BB')	St8	۵۶/۵۸۱	۲۶/۷۲۷	۶۴	۹:۴۵:۵۶ PM	۹:۴۸:۵۲ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۸
	St9	۵۶/۶۵۸	۲۶/۱۸۳	۱۱۷	۱۰:۰۰:۳۱ AM	۱۰:۰۴:۵۴ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۸
	St10	۵۶/۷۶۴	۲۵/۶۱۸	۱۱۰	۸:۲۷:۵۱ PM	۸:۳۵:۰۳ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۶
	St11	۵۶/۹۷۹	۲۵/۳۴۲	۱۷۵	۱۰:۵۸:۴۹ AM	۱۱:۰۴:۴۵ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۶
	St12	۵۷/۴۰۸	۲۴/۹۹۹	۱۷۵	۱۲:۲۳:۴۰ PM	۱۲:۳۰:۳۶ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۵
	St13	۵۷/۷۲۹	۲۴/۶۰۴	۱۷۳	۳:۲۸:۰۹ PM	۳:۳۳:۴۲ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۴
	St14	۵۸/۵۹۰	۲۴/۳۸۹	۱۷۴	۴:۱۲:۳۸ PM	۴:۱۹:۲۵ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۳
South Section (CC')	St15	۵۶/۴۷۹	۲۶/۴۱۳	۹۳	۶:۳۳:۴۴ PM	۶:۳۸:۴۰ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۸
	St16	۵۶/۵۳۳	۲۶/۱۴۹	۹۵	۱۲:۵۷:۳۴ PM	۱:۰۱:۱۶ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۸
	St17	۵۶/۶۰۷	۲۵/۵۰۴	۹۸	۶:۳۹:۳۹ PM	۶:۴۲:۲۶ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۶
	St18	۵۶/۶۱۸	۲۵/۰۲۰	۱۷۰	۳:۲۲:۳۳ PM	۳:۲۸:۳۳ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۶
	St19	۵۶/۸۶۷	۲۴/۵۶۷	۶۷	۷:۱۰:۴۹ AM	۷:۱۳:۴۲ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۵
	St20	۵۷/۲۳۳	۲۴/۰۹۶	۵۶	۷:۲۲:۲۷ PM	۷:۲۴:۱۳ PM	۲۰۰۶/۰۲/۰۴
	St21	۵۸/۶۰۲	۲۳/۸۷۵	۱۱۲	۱۲:۱۵:۳۴ AM	۱۲:۲۵:۴۵ AM	۲۰۰۶/۰۲/۰۳

آخرین عمق اندازه‌گیری شده، اختلاف دما از سطح تا بستر کمتر از ۱ درجه بوده و ستون آب تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده کاملاً آمیخته است و لایه ترموکلاین مشاهده نمی‌شود.

در ایستگاه شماره ۱ در عمق حدود ۱۵ تا ۲۰ متر و در ایستگاه ۶ در عمق ۳۰ تا ۴۰ و ۴۵ تا ۷۰ متر وارونگی دما مشاهده می‌شود. در تمام ایستگاه‌های به موازات سواحل ایرانی تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده، اختلاف دما از سطح تا بستر کمتر از ۱ درجه بوده و ستون آب تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده کاملاً آمیخته است و لایه ترموکلاین مشاهده نمی‌شود.

۳. یافته‌ها

۳-۱. مقطع AA'

در مقطع AA' شکل ۲ برش‌های افقی دما، شوری و چگالی پتانسیل در موازات سواحل شمالی تنگه هرمز و خلیج عمان مشاهده می‌شود. بیشینه دمای قابل مشاهده در ایستگاه ۲ در عمق ۲ متر $23/31^{\circ}\text{C}$ و کمینه آن در ایستگاه ۶ در عمق ۱۱۶ متر به $21/86^{\circ}\text{C}$ می‌رسد.

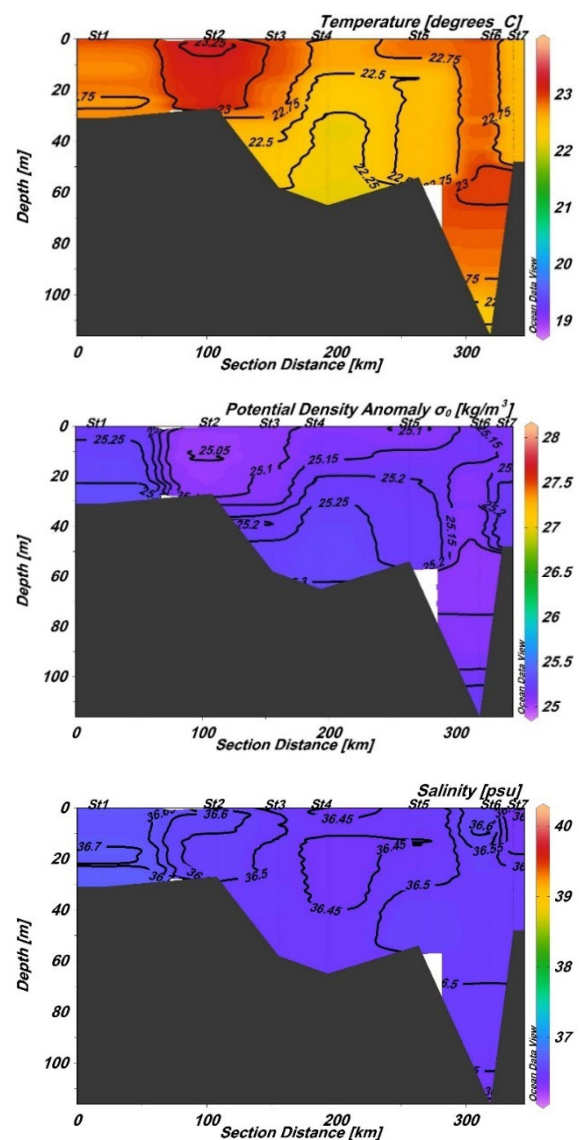
در ایستگاه شماره ۱ در عمق حدود ۱۵ تا ۲۰ متر و در ایستگاه ۶ در عمق ۳۰ تا ۴۰ و ۴۵ تا ۷۰ متر وارونگی دما مشاهده می‌شود. در تمام ایستگاه‌های به موازات سواحل ایرانی تا

حرکت به سمت عمق به علت رخداد پدیده فراجوشی در ایستگاه ۴ کاهش می‌یابد. تغییرات شوری از ایستگاه ۳ و ۲ به سمت ایستگاه ۱ در آب‌های سطحی تا عمق ۱۰ متر به صورت خطوط قوس‌دار به سمت خلیج عمان است که بیانگر فشار و حرکت آب‌های شور خلیج عمان و در عمق زیر ۱۰ متر جهت خطوط قوس‌دار به سمت تنگه هرمز است که بیانگر حرکت و فشار آب‌های کم شور خلیج عمان به تنگه هرمز می‌باشد. این منحنی‌ها بین ایستگاه‌های ۲ و ۱ به علت ورود به آب‌های شور تنگه هرمز شدیدتر می‌باشد. هالوکلاین در عمق اندازه‌گیری شده آب‌های شمالی مشاهده نمی‌شود. اما لایه‌بندی بسیار ضعیف قائم شوری دیده می‌شود. در ایستگاه ۴ خطوط هم‌چگال به صورت شیب‌دار به سمت بالا بوده که اثرات پدیده فراجوشی را تأیید می‌کند. بیشینه چگالی پتانسیل در عمق ۲۷ متری ایستگاه ۱ به $25/33 \text{ kg/m}^3$ و کمینه آن در عمق ۱۰ متری ایستگاه ۲ به $25/04 \text{ kg/m}^3$ می‌رسد. در ایستگاه ۶ کاهش چگالی پتانسیل با عمق مشاهده می‌شود رنج تغییرات چگالی پتانسیل از سطح تا بستر کمتر از $0/3 \text{ kg/m}^3$ می‌باشد. در بعضی از اعماق ایستگاه‌های مقطع شمالی وارونگی چگالی با عمق مشاهده می‌شود که در ایستگاه ۶ مشهودتر بوده و معرف ناپایداری ایستایی است. می‌توان گفت در آب‌های شمالی تقریباً دما و شوری سهم یکسانی در تغییرات چگالی دارند، اما علت حرکت سریع‌تر گرما نسبت به شوری، تغییرات در نمودار دما واضح‌تر است. پیکوکلاین در عمق اندازه‌گیری شده آب‌های شمالی مشاهده نمی‌شود.

۳-۲. مقطع BB'

در مقطع BB' شکل ۳ برش‌های افقی پارامترهای دما، شوری و چگالی پتانسیل در آب‌های میانه (مرکزی) تنگه هرمز و خلیج عمان مشاهده می‌شود. در آب‌های میانی حوضه لایه آمیخته در ۱۰۰ متر ابتدایی نمایان است و دما از ۱۰۰ متر به پایین با سرعت بیشتری روند کاهشی را طی کرده و ترموکلاین و لایه‌بندی افقی دمایی شکل می‌گیرد که این روند کاهشی در ایستگاه ۱۴ مشهودتر بوده و دامنه تغییرات

نکته قابل توجه مربوط به ایستگاه ۴ است که خطوط هم‌دما به طرف سطح کشیده شده است که در نمودار شوری با کاهش شوری مشاهده می‌شود که در این ایستگاه در محدوده جاسک (کوه مبارک) فراجوشی در مطالعات دیگر مانند [۳۹] و [۲۵] تأیید شده است. اختلاف شوری در تمام ایستگاه‌ها از تنگه هرمز تا خلیج عمان از سطح تا بستر کمتر از $0/5 \text{ psu}$ می‌باشد. بیشینه شوری در عمق ۲۹ متری در ایستگاه ۱، $36/74 \text{ psu}$ و کمینه آن در عمق ۱۱۶ متری ایستگاه ۶ به $36/32 \text{ psu}$ می‌رسد.



شکل ۲. برش‌های افقی دما، شوری و چگالی پتانسیل در آب‌های هم‌وزات سواحل شمالی (AA')

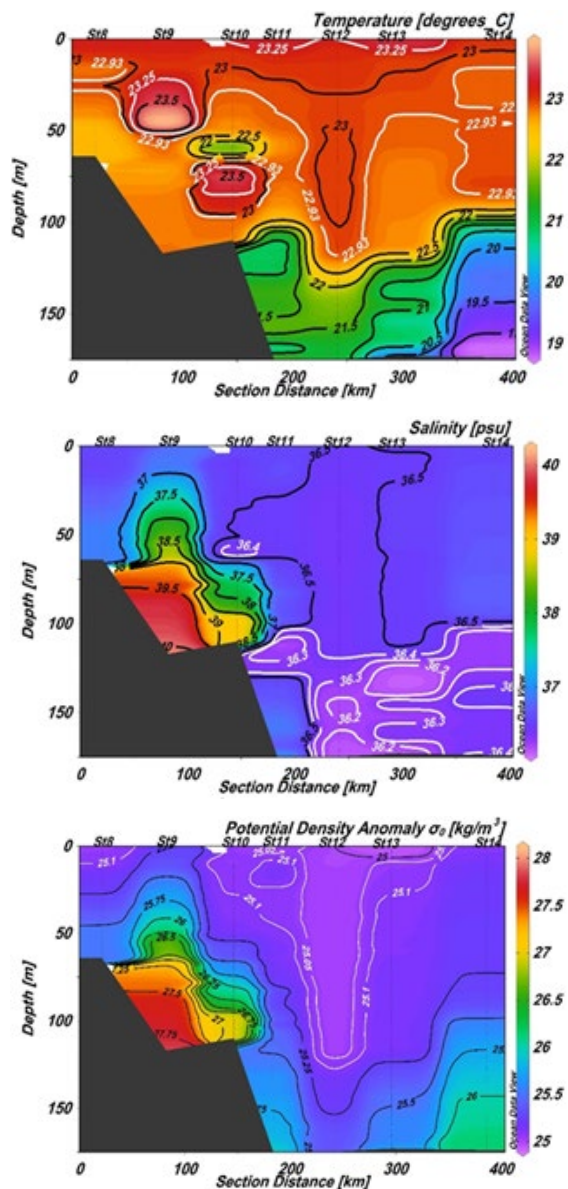
در ایستگاه ۱ در عمق ۵ تا ۱۰ متر و ۱۸ تا ۲۵ متر وارونگی شوری ایجاد شده، از ایستگاه ۲ تا ۶ شوری در اکثر اعماق با

از ایستگاه ۱۱ تا ۱۴ از عمق حدود ۹۰ تا ۱۲۵ متر کنتورهای دما به هم نزدیک شده و جبهه دمایی را به سمت آب‌های خلیج عمان تشکیل می‌دهند. بیشینه دمای مشاهده شده در مرکز هسته گرم ایجاد شده در عمق ۴۵ متری ایستگاه ۹ به $23/98^{\circ}\text{C}$ و کمینه آن در عمق ۱۶۹ تا ۱۷۰ متری ایستگاه ۱۴ در جریان آب سطحی اقیانوس هند به $18/73^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. در ایستگاه ۸ در عمق ۲۰ تا ۲۵ متر، در ایستگاه ۹ از عمق ۷۵ متر تا بستر، در ایستگاه ۱۱ در عمق ۱۲۵ تا ۱۵۰ متر و از عمق ۱۷۰ تا ۱۷۵ متر، در ایستگاه ۱۲ در عمق ۲۵ تا ۳۵ متر و در ایستگاه ۱۳ در عمق ۱۴۰ تا ۱۴۷ و ۱۶۰ تا ۱۷۰ وارونگی دما مشاهده می‌شود. هسته‌های گرم مشاهده شده در ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ در نمودار شوری به صورت هسته دیده نمی‌شوند و با آب‌های اطراف اختلاط یافته و به صورت آب خروجی گرم و شور خلیج فارس مشاهده می‌شود. اما هسته سرد مشاهده شده در ایستگاه ۱۰ به صورت هسته کم شور مشاهده می‌شود. شوری در ایستگاه ۹ و ۱۰ بزرگ‌ترین بازه تغییرات را دارد، به صورتی که در ایستگاه ۹ شوری در سطح $36/84$ psu و در عمق ۱۱۷ متری به $40/05$ psu و در ایستگاه ۱۰ دما در آب‌های سطحی $36/51$ psu و در عمق ۱۱۰ متری به $39/01$ psu می‌رسد.

آب‌های با شوری کم سطحی آب‌های ورودی از خلیج عمان و آب‌های شور اعماق، آب‌های خروجی خلیج فارس می‌باشند. در ایستگاه‌های ۱۱ تا ۱۴ در ۱۰۰ متر ابتدایی آب ورودی خلیج عمان و در عمق ۱۰۰ متر به پایین آب‌های سطحی اقیانوس هند مشاهده می‌شود؛ که در آن هسته‌های آب کم شور شکل گرفته است. در ایستگاه ۱۰ برخورد آب کم شور خلیج عمان با جریان آب شور خروجی خلیج فارس باعث دو شاخه شدن این جریان گشته که این پدیده در مطالعه [۴۰] مشاهده شده است، در محل برخورد لایه‌بندی شدید شوری مشاهده می‌شود. در ایستگاه ۱۲ اثرات یک پیچک مشاهده می‌شود که مطابق با مطالعه [۴۱] می‌باشد. در ایستگاه ۱۱ در عمق ۱۵۰ تا ۱۶۵ و ۱۷۰ تا ۱۷۵ متر وارونگی شوری مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های ۹ و ۱۰ آب چگال و شور خروجی خلیج فارس قابل مشاهده است. همچنین در

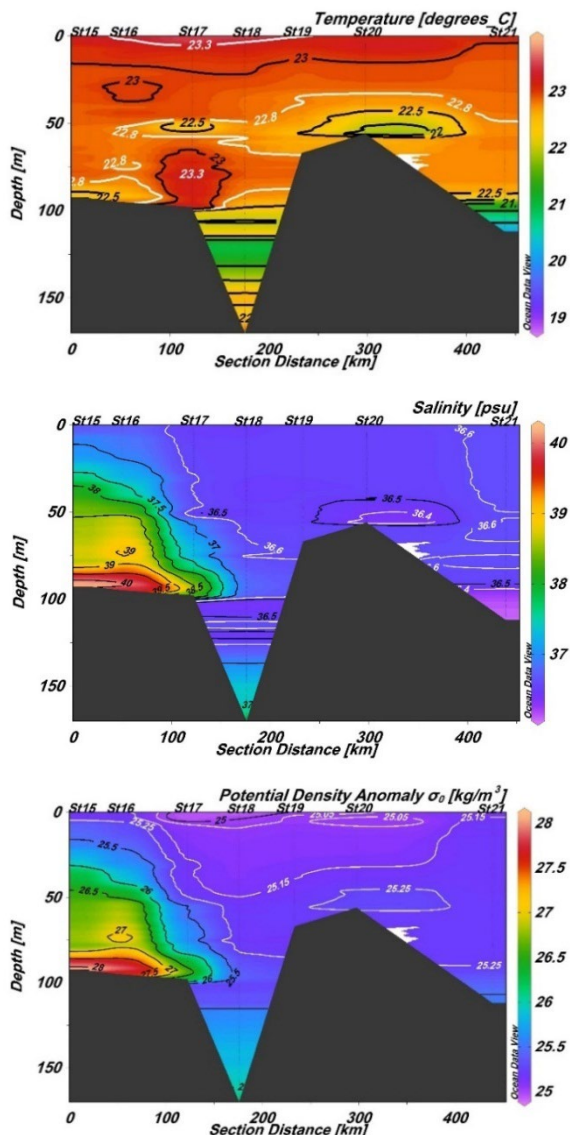
دما در عمق ۱۰۰ متر به پایین در این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها بزرگ‌تر است.

در ایستگاه ۸ تغییرات دما از سطح تا عمق بسیار ناچیز و حدود $0/25^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. در ایستگاه ۹ از عمق ۲۵ تا ۵۰ متری یک هسته گرم با دمای هسته‌ای بیش از $23/5^{\circ}\text{C}$ و در ایستگاه ۱۰ از عمق حدود ۵۰ تا ۶۵ متر یک هسته سرد از عمق ۶۵ تا ۹۰ متر با دمای هسته‌ای 22°C و یک هسته گرم با دمای هسته‌ای $23/5^{\circ}\text{C}$ به حالت دو قطبی در راستای عمق قابل ردیابی است.



شکل ۳. برش‌های افقی دما، شوری و چگالی پتانسیل در آب‌های به میانی (BB')

است، در سایر ایستگاه‌ها در ۱۰۰ متر ابتدایی لایه آمیخته دیده می‌شود و در زیر لایه آمیخته ترموکلاین و لایه‌بندی افقی دمایی ایجاد شده است.



شکل ۴. برش‌های افقی دما، شوری و چگالی پتانسیل در آب‌های به موازات سواحل جنوبی (CC')

در ایستگاه ۱۸ از عمق ۱۳۰ تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده وارونگی دما مشهود است. این ویژگی می‌تواند به علت خروج آب خلیج فارس از تنگه هرمز باشد که در سایر مطالعات مانند [۲۵]، [۴۲]، [۲۶]، [۲۲] و [۴۳] تأیید شده است. هسته سردی که در ایستگاه ۲۰ شکل گرفته، در نمودار شوری به شکل هسته کم‌شور قابل مشاهده است. در ایستگاه‌های ۲۱ تا ۱۸ حرکت جریان آب کم‌شور خلیج عمان به سمت تنگه هرمز دیده می‌شود. در ایستگاه ۱۵، ۱۶ و

جریان آب خروجی خلیج فارس در این ایستگاه‌ها در نمودارهای شوری و چگالی پتانسیل لایه‌بندی شدید مشاهده می‌شود. بیشینه چگالی پتانسیل در عمق ۱۱۷ متری ایستگاه ۹ به $27/83 \text{ kg/m}^3$ (منطبق با بیشینه شوری) و کمینه آن در عمق ۵ متری ایستگاه ۱۳ به $24/9 \text{ kg/m}^3$ می‌رسد. تغییرات چگالی پتانسیل در ایستگاه ۹ از $25/27 \text{ kg/m}^3$ در آب‌های سطحی به $27/83 \text{ kg/m}^3$ در عمق ۱۱۷ متر و در ایستگاه ۱۰ از $25/06 \text{ kg/m}^3$ در آب‌های سطحی به $27/02 \text{ kg/m}^3$ در عمق ۱۱۰ متری (آخرین عمق اندازه‌گیری شده) می‌باشد و گرادیان شدید چگالی رخ داده است. در عمق ۷۵ تا ۱۰۰ متر ایستگاه ۱۱ در محل برخورد آب‌های کم‌شور و شور وارونگی‌های بسیار کوچک چگالی مشاهده می‌شود. وارونگی‌های چگالی در ایستگاه ۱۲ از عمق حدود ۵ متری و در ایستگاه ۱۳ از سطح تا عمق حدود ۱۲۰ متر بسیار کوچک می‌باشد.

۳-۳. مقطع CC'

در مقطع CC' شکل ۴ برش‌های افقی پارامترهای دما، شوری و چگالی پتانسیل در موازات سواحل جنوبی تنگه هرمز و خلیج عمان مشاهده می‌شود.

از سمت خلیج عمان به سمت جنوب تنگه هرمز زبانه آب سرد به طول حدود ۴۰۰ km در ایستگاه ۲۱ در عمق ۵۰ تا ۷۵ متر، در ایستگاه ۲۰ در عمق ۳۰ تا ۶۰ متر، در ایستگاه ۱۹ در عمق ۳۰ تا ۶۵ متر، در ایستگاه ۱۸ در عمق ۴۵ تا ۶۵ متر، در ایستگاه ۱۷ در عمق حدود ۴۸ تا ۵۵ متر و در ایستگاه‌های ۱۵ و ۱۶ از عمق حدود ۵۰ متری به سمت بستر حرکت می‌کند که در ایستگاه ۲۰ در عمق ۴۰ تا ۶۰ متر یک هسته سرد با دمای هسته‌ای 22°C در این زبانه آب قابل مشاهده است. بیشینه دما در عمق ۲ متری ایستگاه ۱۸ به $23/61^\circ \text{C}$ و کمینه آن در عمق ۱۱۲ متری جریان آب سطحی اقیانوس هند ایستگاه ۲۱ به $20/2^\circ \text{C}$ می‌رسد.

در آب‌های به موازات سواحل عربی همچون آب‌های میانی ستون آب تغییرات دمایی کمی را احساس کرده و به‌استثنای ایستگاه ۱۸ که ستون آب در حدود ۱۲۰ متر ابتدایی آمیخته

بوده که در نمودارهای شوری و چگالی پتانسیل لایه بندی در ستون آب مشاهده می شود. بیشینه چگالی پتانسیل در عمق ۹۳ متری ایستگاه ۱۵ به $28/12 \text{ kg/m}^3$ و کمینه آن در عمق ۱ متری ایستگاه ۱۸ به $24/88 \text{ kg/m}^3$ می رسد. در ایستگاه ۱۶ در عمق ۷۵ تا ۸۰ و ۸۵ متر تا بستر و در ایستگاه ۱۸ در عمق حدود ۱۰۵ تا ۱۱۷ متر چگالی پتانسیل به تبعیت از وارونگی دما با عمق کاهش می یابد.

۱۷ جریان آب شور خلیج فارس قابل رؤیت می باشد. بیشینه مقدار شوری در ایستگاه ۱۵ به $40/26 \text{ psu}$ در عمق ۹۳ متری و کمینه آن در عمق ۱۱۲ متری ایستگاه ۲۱ به $36/08 \text{ psu}$ می رسد. در ایستگاه ۱۸ در عمق ۱۳۰ متر تا آخرین عمق اندازه گیری شده مطابق با تغییرات دما جریان آب خروجی خلیج فارس دیده می شود. در ایستگاه ۲۱ در عمق ۷۰ تا ۷۵ و ۸۰ متر به پایین وارونگی شوری مشاهده می شود. در ایستگاه های ۱۵ تا ۱۷ آب خروجی چگال تنگه هرمز مشهود

جدول ۳. گستره تغییرات دما (برحسب $^{\circ}\text{C}$)، شوری (برحسب psu) و چگالی پتانسیل (برحسب kg/m^3) در منطقه مورد مطالعه

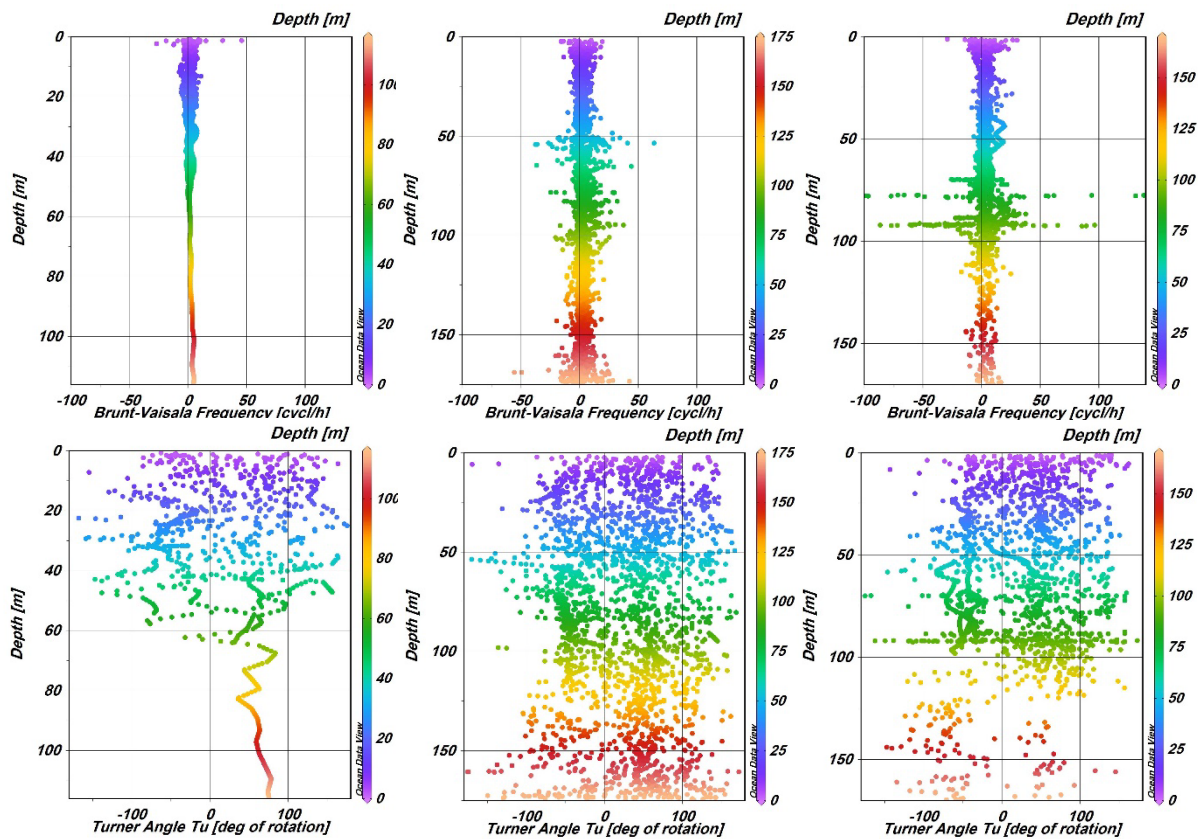
میانگین \pm انحراف معیار	تاریخ	کمینه			بیشینه			مقطع	کمیت
		ایستگاه	عمق (m)	مقدار	ایستگاه	عمق (m)	مقدار		
$22/64 \pm 0/30$	۱/۴۴	St6	۱۱۶	۲۱/۸۶	St2	۲	۲۳/۳۰	AA'	دما
$22/28 \pm 1/19$	۵/۲۵	St14	۱۷۰-۱۶۹	۱۸/۷۳	St9	۴۵	۲۳/۹۸	BB'	
$22/64 \pm 0/56$	۳/۴۹	St21	۱۱۲	۲۰/۲۰	St18	۲	۲۳/۶۱	CC'	
$36/50 \pm 0/08$	۰/۴۲	St6	۱۱۶	۳۶/۳۲	St1	۲۹	۳۶/۷۴	AA'	شوری
$36/90 \pm 0/79$	۴/۰۰	St11	۱۰۴	۳۶/۰۵	St9	۱۱۷	۴۰/۰۵	BB'	
$37/15 \pm 1/08$	۴/۱۸	St21	۱۱۲	۳۶/۰۸	St15	۹۳	۴۰/۲۶	CC'	
$25/18 \pm 0/07$	۰/۲۹	St2	۱۰	۲۵/۰۴	St1	۲۷	۲۵/۳۳	AA'	چگالی پتانسیل
$25/58 \pm 0/70$	۲/۹۳	St13	۵	۲۴/۹۰	St9	۱۱۷	۲۷/۸۳	BB'	
$25/68 \pm 0/80$	۳/۲۴	St18	۱	۲۴/۸۸	St15	۹۳	۲۸/۱۲	CC'	

۳-۴. بسامد شناوری و زاویه ترنر

جدول ۴. مقادیر بیشینه و کمینه بسامد شناوری برحسب (cycl/h)

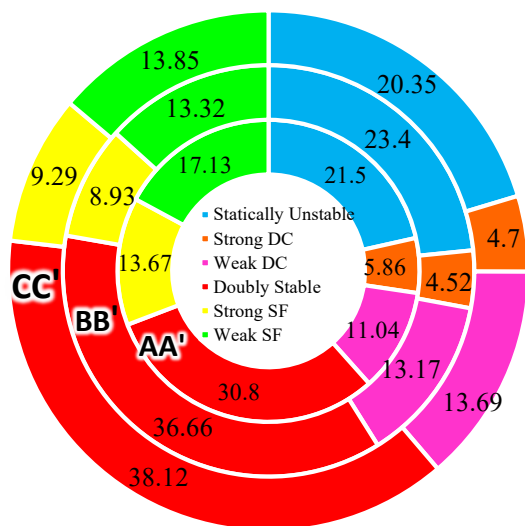
ایستگاه	عمق	کمینه	ایستگاه	عمق	بیشینه	
۲	۲	-۲۶/۹۵	۱	۱	۴۵/۵۹	AA'
۱۴	۱۶۹	-۵۵/۷۴	۱۰	۵۳	۶۳/۶۱	BB'
۱۵	۷۸	-۹۹/۲۳	۱۵	۷۷	۱۳۸/۳	CC'

جدول ۴ مقادیر بیشینه و کمینه بسامد شناوری را نشان می دهد. شکل ۵ نیز بسامد شناوری و زاویه ترنر را در مقاطع شمالی، میانی و جنوبی نشان می دهد. در مقطع AA' با حرکت به عمق ناپایداری ایستایی در ستون آب کاهش یافته و آخرین لایه ناپایدار در عمق ۵۳ متر مشاهده می شود.



شکل ۵. تغییرات بسامد شناوری (ردیف اول) و زاویه ترنر (ردیف دوم) به ترتیب از آب‌های شمالی (چپ)، آب‌های مرکزی (وسط) و آب‌های جنوبی (راست)

واقع در مقطع AA' حالت پایدار مضاعف و رژیم انگشتی، در آب‌های میانی مقطع BB' و در آب‌های جنوبی واقع در مقطع CC' حالت پایدار مضاعف بیشتر ستون آب را تشکیل داده است.



شکل ۶. درصد فراوانی مقادیر زاویه ترنر در آب‌های شمالی (AA')، میانی (BB') و جنوبی (CC')

از سطح تا عمق ۵۸ متر رژیم پخشی و از سطح تا ۱۱۶ متر رژیم انگشتی در ستون آب دیده می‌شود.

سهم رژیم انگشتی در ایجاد همرفت دوگانه بیشتر است. در آب‌های میانی مقطع BB' بسامد شناوری بیشتر ستون آب را پایدار نشان می‌دهد. در این مقطع ناپایداری ایستایی، رژیم پخشی و انگشتی تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده رخ داده که رژیم انگشتی سهم بیشتری در ایجاد همرفت دوگانه در ستون آب دارد. در آب‌های جنوبی واقع در مقطع CC' بسامد شناوری در بیشتر ستون آب پایداری ایستایی را نشان می‌دهد. در ۱۲۰ متر ابتدایی رژیم انگشتی و در زیر ۱۲۰ متر رژیم پخشی سهم بیشتری در همرفت دوگانه دارد. در کل ستون آب رژیم انگشتی بیشتر در ستون آب دیده می‌شود.

۳-۵. درصد فراوانی زاویه ترنر

شکل ۶ نمودارهای دایره‌ای زاویه ترنر را نشان می‌دهد. در آب‌های به موازات سواحل شمالی تنگه هرمز و خلیج عمان

بیشترین اختلاف دما (تفاضل کمینه و بیشینه) در آب‌های میانی به دلیل نقش پررنگ‌تر IOSW و PGW و بیشترین اختلاف شوری و چگالی پتانسیل در آب‌های جنوبی به دلیل نقش پررنگ‌تر PGW مشاهده می‌شود.

نتایج پژوهش پیش‌رو بیان می‌کند دما و شوری سهم نسبتاً یکسانی در تغییرات چگالی پتانسیل در آب‌های میانی و جنوبی دارند. درحالی‌که [۳۳] نقش پررنگ شوری را مطرح کرده است.

شدیدترین لایه‌بندی دمایی در محل تماس لایه آمیخته با IOSW و شدیدترین لایه‌بندی شوری و چگالی پتانسیل در PGW در آب‌های میانی تنگه هرمز شکل گرفته است. بیشینه بسامد شناوری به ترتیب در آب‌های شمالی، میانی و جنوبی روند افزایشی را طی کرده و اعداد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد همچنین کمینه آن با حرکت از سمت آب‌های شمالی به سمت آب‌های جنوبی اعداد کوچک‌تری را نشان می‌دهد. به عبارتی می‌توان گفت پایدارترین و ناپایدارترین لایه‌ها در آب‌های جنوبی مشاهده می‌شوند. در آب‌های شمالی تا عمق ۵۳ متر و در آب‌های میانی و جنوبی تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده ناپایداری ایستایی دیده می‌شود. بیشترین و کمترین لایه‌های ناپایدار به ترتیب در مقطع جنوبی و میانی مشاهده شده، در آب‌های شمالی و میانی تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده رژیم انگشتی و در آب‌های جنوبی تا عمق ۱۲۰ متر رژیم انگشتی و در زیر آن تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده رژیم پخشی سهم بیشتری در ایجاد همرفت پخش دوگانه دارد. درصد مؤلفه‌های زاویه ترنر به‌خوبی نشان می‌دهد که آب‌های میانی و جنوبی نسبت به آب‌های شمالی شباهت بیشتری به یکدیگر دارند و این نشان‌دهنده شباهت بیشتر نوع آب در دو مقطع مذکور است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه هرمزگان جهت تأمین امکانات این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد و سازمان ملی اقیانوس‌شناسی جهت تأمین داده‌های لازم جهت انجام پژوهش، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

در هر سه مقطع رژیم انگشتی سهم بیشتری در ایجاد همرفت دوگانه دارد و شدت رژیم انگشتی ضعیف‌تر است. بیشترین و کمترین لایه‌های ناپایدار به ترتیب در مقطع جنوبی و میانی مشاهده شده، درصد مؤلفه‌های زاویه ترنر در آب‌های میانی و جنوبی شباهت بیشتری به هم دارند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش پیش‌رو با هدف بررسی لایه‌بندی ستون آب در منطقه شرق تنگه هرمز و غرب خلیج عمان با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در گشت رایپی در زمستان ۲۰۰۶ و تحلیل نمودارهای حاصله با نرم‌افزار ODV انجام پذیرفت.

در فصل زمستان، در ایستگاه‌های به‌موازات نوار ساحلی ایرانی اختلاف دمای سطح تا بستر کمتر از یک درجه بوده و کل ستون آب تا آخرین عمق اندازه‌گیری شده آمیخته می‌باشد؛ اما در ایستگاه‌های بررسی‌شده در آب‌های میانی و آب‌های به‌موازات نوار ساحلی عربی عمق لایه آمیخته در حدود ۱۰۰ متر بوده و از این عمق به پایین لایه ترموکلاین و لایه‌بندی افقی دمایی شکل می‌گیرد. بازه تغییرات دما در آب‌های میانی نسبت به آب‌های نزدیک به سواحل شمالی و جنوبی بزرگ‌تر است. به‌علاوه افزایش دما در عمق بیش از ۱۳۰ متری آب‌های نزدیک به نوار ساحلی عربی، بیانگر وجود توده آب خروجی خلیج فارس می‌باشد که در سایر مطالعات مانند [۲۵]، [۴۲]، [۲۶]، [۲۲] و [۴۳] تأیید شده است. همچنین IOSW با عمق تقریباً یکسانی در آب‌های میانی و جنوبی (عمق بیش از ۱۰۰ متر) مشاهده می‌شود.

نمودارهای دما، شوری و چگالی پتانسیل در آب‌های شمالی به‌خوبی نشان‌دهنده آمیختگی ستون آب بوده که در مطالعات پیشین مانند [۲۵] و [۲۶] به آن اشاره شده است.

مقادیر میانگین شوری و چگالی پتانسیل با حرکت به سمت جنوب تنگه هرمز روند افزایشی را طی کرده اما میانگین دما در آب‌های شمالی و جنوبی یکسان بوده و در آب‌های میانی به دلیل حضور پررنگ‌تر IOSW کمتر از آب‌های شمالی و جنوبی است.

مراجع

- [۱۴] خلیل آبادی محمدرضا، اکبری نسب محمد. بررسی پایداری ایستایی و انتشار دوگانه در دریای عمان (خروجی تنگه هرمز). علوم و فناوری دریا. ۱۳۹۳؛ ۱۸(۷۱): ۱۹-۱۱.
- [۱۵] خلیل آبادی محمدرضا، صدری نسب مسعود، چگینی وحید، اکبری نسب محمد. مدل سازی سه بعدی امواج داخلی غیرخطی در ناحیه فلات قاره خلیج عمان. اقیانوس شناسی. ۱۳۹۴؛ ۶(۲۲): ۲۸-۱۹.
- [۱۶] اکبری نسب محمد، صدری نسب مسعود، علی اکبری بیدختی عباسعلی، چگینی وحید. مطالعه جریان نفوذی از خلیج فارس به دریای عمان و اثر آن بر روی نحوه انتشار صوت. اقیانوس شناسی. ۱۳۹۳؛ ۵(۲۰): ۱۷-۱۱.
- [۱۷] قاضی ارم، علی اکبری بیدختی عباسعلی، عظام مجتبی. بررسی جبهه ترموهالاینی و همرفت پخش دوگانه در آب های خروجی خلیج فارس. هفدهمین همایش صنایع دریایی (MIC2015). ۱۳۹۴؛ ۱۷: ۱-۱۰.
- [۱۸] قاضی ارم، علی اکبری بیدختی عباسعلی، عظام مجتبی. مطالعه همرفت پخش دوگانه در دریای عمان. هجدهمین همایش صنایع دریایی (MIC2016). ۱۳۹۵؛ ۱۸: ۹-۱.
- [۱۹] واحدی علی اکبر، منصوری داریوش. ساختار قائم و همرفت پخش دوگانه ستون آب سواحل دریایی مازندران. اقیانوس شناسی. ۱۴۰۱؛ ۱۱(۴۴): ۲۵-۱۴.
- [۲۰] محمدپور فرزانه، سیوف جهرمی مریم، حمزهئی صمد. مقایسه توزیع دمایی قائم آب در شرق تنگه هرمز، خلیج عمان. اولین همایش ملی علوم دریایی با رویکرد نوآوری در اکوسیستم های آبی با تکیه بر اقتصاد دریا پایه. ۱۴۰۱؛ ۱: ۱۸۸-۱۷۶.
- [21] 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(C12037): 1-15.
- [1] Li G, Cheng L, Zhu J, Trenberth KE, Mann ME, Abraham JP. Increasing ocean stratification over the past half century. Nature Climate Change. 2020; 10(12):1116-1123.
- [۲] علی اکبری بیدختی، عباسعلی. مبانی دینامیک شماره ها (سیالات)، انتشارات دانشگاه تهران؛ ۱۳۹۶. ص. ۲۷۴.
- [3] Stewart RH. Introduction to physical oceanography. College Station: Texas A & M University; 2008. p.346.
- [4] Embid PF, Majda AJ. Data Analysis Methods in Physical Oceanography, 1st ed, Pergamon press publisher, Oxford, 1998. p.634.
- [5] Kantha LH, Clayson CA. Small scale processes in geophysical fluid flows. 1st ed, London: Academic Press. 2000. p.888.
- [۶] جمشیدی سیامک. تغییرات فصلی پایداری و لایه بندی ستون آب در بخش عمیق دریای خزر. اقیانوس شناسی. ۱۳۹۴؛ ۶(۲۲): ۹۵-۸۳.
- [7] Kampf J. Advanced ocean modelling: using open-source software. Springer Science & Business Media. 2010. p.181.
- [8] Pedlosky J. Waves in the ocean and atmosphere, Interduction to wave dynamics. New York: Springer-Verlag berlin Heidelberg. 2003. p. 260.
- [۹] آل یاسین، سیده مطهره، علی اکبری بیدختی، عباسعلی، احمدی گیوی، فرهنگ، مطالعه وارونگی دما و شوری و همرفت پخش دوگانه در دریای خزر، مقاله نامه کنفرانس فیزیک ایران، ص ۲۷۷-۲۸۰.
- [10] Ruddick B, Kerr O. Oceanic thermohaline intrusions: theory. Progress in Oceanography. 2003; 56(3-4): 483-497.
- [۱۱] علی اکبری بیدختی عباسعلی، صباغ کاشانی زهرا. همرفت پخش دوگانه و وارونگی دما در آب های خلیج فارس و دریای عمان. فیزیک زمین و فضا. ۱۳۸۲؛ ۲۹(۱): ۳۳-۴۵.
- [12] Ruddick BR, Turner JS. The vertical length scale of double diffusive intrusions. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1979; 26(8): 903-913
- [13] Ruddick BR. A practical indicator of the stability of the water column to double-diffusive activity. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1983; 30(10): 1105-1107.

- [34] Schlitzer R. Ocean Data View. <https://odv.awi.de>, 2021.
- [35] Aboobackr VM, Shanas PR, Al-Ansari, EM, Sanil kumar V, Vethamony P. The maxima in northerly wind speeds and wave heights over the Arabian Sea, the Persian Gulf and the Red Sea derived from 40 years of ERA5 data. *Climate Dynamics*. 2020; 56:1037-1052.
- [36] 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): 1563-1582.
- [37] Forsch K, Hahn-woernle L, Sherrell R, Rocanova J, Bu K, Burdige D, Vernet M, Barbeau K. Seasonal dispersal of fjord meltwaters as an important source of iron to coastal Antarctic phytoplankton. *Biogeosciences Discuss*. 2021; 1-49.
- [38] Bao R, Blattmann TM, McIntyre C, Zhao M, Egliinton T. Relationships between grain size and organic carbon C14 heterogeneity in continental margin sediments. *Earth and Planetary Science Letters*. 2019; 505:76-85.
- [39] قائمی حسینی، راهبانی مریم، شربتی سعید. بررسی امکان رخداد فراجوشی ساحلی در حوالی دماغه جاسک. *هیدروفیزیک*. ۱۳۹۷؛ ۴(۱): ۶۹-۸۴.
- [۴۰] سیوف جهرمی مریم. مدل سازی عددی اختلاط میان مقیاس چگالی در جبهه ها (مطالعه محدوده تنگه هرمز). *دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر*. رساله دکتری، ۱۳۹۲؛ ص. ۱۱۳.
- [41] Hamzehei S, Bidokhti AA, Mortazavi MS, Gheiby AH. Analysis of red tide in strait of Hormuz in 2008-2009 using ocean satellite data. *International Journal of Marine Science and Engineering*. 2012; 2(4):225-232.
- [42] 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).
- [۴۳] رامک حسین، سیوف جهرمی مریم، اکبری پرستو. ردیابی توده آب خلیج فارس با استفاده از ویژگی های دما و شوری سطحی. *اقیانوس شناسی*. ۱۴۰۰؛ ۱۲(۴۸): ۲۸-۱۳.
- [22] Azizpour J, Chegini V, Siadatmousavi SM. Seasonal variation of the double diffusion processes at the Strait of Hormuz. *Acta Oceanologica Sinica*. 2017; 36:26-34.
- [23] Hermansyah H, Atmadipoera AS, Prartono T, Jaya I, Syamsudin F. Stratification and stability of seawater mass in sulawesi sea. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 2017; 36(8): 36-44.
- [۲۴] کیمجانی فرشته، چگینی وحید، بنزاده ماهانی محمدرضا، سنجانی محمد سعید. بررسی تغییرات فیزیکی آب های چابهار در مونسون زمستانه (۱۳۸۵-۱۳۸۶). *فیزیک زمین و فضا*. ۱۳۹۰؛ ۳۷(۴): ۲۱۶-۱۹۵.
- [25] 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.
- [۲۶] صدری نسب مسعود. مدل سازی عددی سه بعدی گردش آب در تنگه هرمز، اقیانوس شناسی. ۱۳۸۹؛ ۱۱(۱): ۲۴-۱۹.
- [۲۷] حافظ نیا محمدرضا. خلیج فارس و نقش استراتژیک تنگه هرمز. *انتشارات سمت*. ۱۳۷۸؛ ص. ۵۳۲.
- [28] Ezam M, Bidokhti, AA, Javid AH. Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea. *Ocean Science*. 2010; 6(4), 887-900.
- [29] 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): 6387-6414.
- [30] 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 (No. 99: WHOI-99-02). Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole, Mass; 1999; p. 54.
- [31] Emery KO. Sediments and water of the Persian Gulf. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 1956; 40(10): 2354-2383.
- [32] Bidokhti AA, Ezam M. The structure of the Persian Gulf outflow subjected to density variations. *Ocean Science*. 2009; 5(1):1-12.
- [۳۳] عزیزپور جعفر، سیادت موسوی سیدمصطفی، چگینی وحید. مطالعه پارامترهای فیزیکی آب در تنگه هرمز. *هیدروفیزیک*. ۱۳۹۴؛ ۱۱(۱): ۲۴-۱۵.

پی نوشت ها

1. Brunt-Väisälä Frequency