

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1399.6.2.3.9

درصد همانندی: ۷٪

مطالعه جریان جزر و مدی و جریان باقی مانده در خلیج فارس

ارم قاضی^{۱*}، عباسعلی علی اکبری بیدختی^۲، مجتبی عظام^۳، مجتبی ذوالجودی^۴، مسعود ترابی آزاد^۵

^{۱*} نویسنده مسئول، گروه علوم دریایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران

eram.ghazi@srbiau.ir

bidokhti@ut.ac.ir

^۲ استاد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران

^۳ استادیار، گروه علوم دریایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران

ezam@srbiau.ir

m.zoljoodi@yahoo.com

^۴ استاد، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران

m_azad@iau-tnb.ac.ir

^۵ استاد، گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۳

چکیده

در این تحقیق با استفاده از مطالعات میدانی و استخراج طیف از سری زمانی مؤلفه‌های سرعت، پرپود مؤلفه‌های جزرومدی روزانه و نیم‌روزانه مشخص شد و با حذف جزرومد با فیلتر پایین گذر سرعت جریان باقی مانده به دست آمد. جهت جریان‌های باقی مانده از زمستان تا بهار یک جریان سطحی را به درون و یک جریان را به سمت خارج خلیج فارس نشان داد و گویای این مطلب است که در این منطقه گردش باروکلینیک آنتی سیکلونی شکل می‌گیرد. سرعت جریان باقی مانده حدود 10 cm/s و سرعت جریان جزرومدی 50 cm/s به دست آمده است. بررسی طیف‌های دما و شوری نشان داد که جزرومد تا عمق 30 متر بر دما اثر گذاشته و در عمق‌های پایین‌تر تأثیر آن ضعیف و شدت آن در بهار بیشتر از زمستان است؛ بنابراین از سطح به عمق با سرد شدن آب، اثر جزرومد بر دما کاهش می‌یابد که علت آن می‌تواند مربوط به تشکیل گرادیان دمایی و ترموکلاین در بهار باشد یا اثر رفت و برگشتی جزرومد که ایجاد موج می‌کند و باعث افزایش دما و کاهش شوری می‌شود. در قسمت‌هایی با چینه‌بندی قوی‌تر، گرادیان شدیدتر بوده و اثر جزرومد نیز قوی‌تر است. تأثیر جزرومد بر شوری نیز در سطح بسیار ضعیف بوده و در برخی از اعماق قوی‌تر است که احتمال دارد به علت توپوگرافی منطقه و اثر رفت و برگشتی موج باشد.

واژه‌های کلیدی: جریان جزرومدی، جریان باقی مانده، آنالیز سری زمانی، جریان خلیج فارس

۱. مقدمه

سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها، دستخوش تغییرات دائمی است. پاره‌ای از این تغییرات چون تغییرات جزرومدی از دیرباز برای ساکنان مناطق ساحلی به منزله یک عامل تغییر دهنده خط ساحلی مورد مشاهده قرار گرفته و از آن به صورت‌های گوناگون در توسعه اقتصادی‌شان مانند افزایش بازده ماهیگیری و سرعت دور شدن از ساحل یا بازگشت به ساحل بهره جسته‌اند. با توجه به اهمیت زیاد اقتصادی و بازرگانی آب‌های آزاد و نیازهای مهندسی مانند ساخت اسکله‌ها، موج‌شکن‌ها، سکوها، نفتی، سازه‌های دریایی و شیلات، اطلاع از رژیم جزرومدی و به‌طور کلی تغییرات سطح آب دریا اهمیت زیادی دارد [۱]. با توجه به اهمیت منطقه خلیج فارس تغییرات تراز این منطقه اهمیت ویژه‌ای دارد و تحقیقات زیادی در این مورد انجام شده است. خلیج فارس در جهت شمال غرب-جنوب شرق قرار گرفته و بین عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ تا ۵۶ درجه شرقی واقع شده است. بیشترین عمق خلیج فارس ۹۰ متر است. نرخ بالای تبخیر و دمای سطحی پایین به خصوص در فصل زمستان موجب افزایش چگالی و گرادیان فشار افقی می‌شود، این امر باعث ایجاد جریان ورودی سطحی از دریای عمان با چگالی کمتر به خلیج فارس می‌شود. جریان‌ها در خلیج به صورت جریان باقی مانده، جریان جزرومدی و اغتشاش بر حرکت آلودگی‌ها اثر می‌گذارند. مشاهدات مستقیم جریان در خلیج فارس بسیار نادر است [۲].

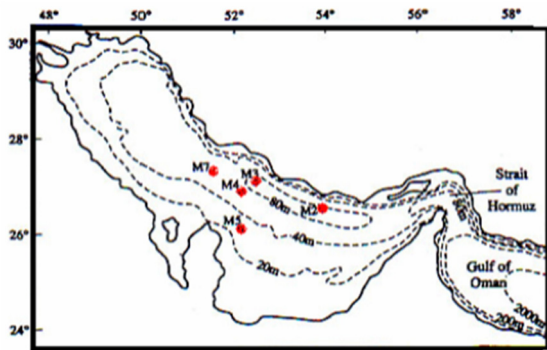
خلیج فارس دریای کم عمقی است که کشندهای نیم‌روزانه و روزانه دارد، کشندهای نیم‌روزانه دو سیستم آمفی درومیک پادساعتگرد، با یک سیستم پاد آمفی درومیک در وسط حوزه ایجاد می‌کنند. نزدیک به مرکز حوزه تغییرات در سطح جزر و مد، به‌طور غالب نیم‌روزانه است؛ در حالی که نزدیک آمفی درومیک‌های نیم‌روزانه، آن‌ها اغلب روزانه هستند، در انتهای شمال غربی و جنوب شرقی از حوزه سطوح جزرومدی ویژگی‌های مختلط روزانه و نیم‌روزانه دارند [۳]. جهت جریان‌های جزرومدی ناحیه‌ای تقریباً موازی با محور

خلیج قرار گرفته و سرعت آن حدود ۵۰ سانتی‌متر بر ثانیه است. این جریان‌ها تأثیر زیادی بر رسوبات می‌گذارند، حتی رسوباتی که در قسمت‌های عمیق حوضه قرار دارند. متوسط ارتفاع جریان جزرومدی^۱ در خلیج حدود ۱ متر است. در امتداد سواحل قطر به‌طور متوسط بین ۰/۵ تا ۱ متر مشاهده شده است. در کانال‌های ساحلی ابوظبی سرعت جزرومد احتمالاً به بیشتر از ۶۰ سانتی‌متر بر ثانیه می‌رسد. حدود جزرومد در سدهای ساحلی ابوظبی تا ۱/۵ متر می‌رسد [۴]. جزرومد در خلیج فارس پیچیده است و از نیم‌روزانه^۲ تا روزانه^۳ تغییر می‌کند. ابعاد خلیج فارس طوری است که افزایش تشدید نوسانات جزرومدی می‌تواند در آن رخ دهد. در نتیجه می‌تواند مؤلفه‌هایی از جزرومد با پریود نیم‌روزانه در دو نقطه آمفیدرومیک در شمال غربی و انتهای جنوب شرقی و مؤلفه‌هایی با پریود روزانه در یک نقطه آمفیدرومیک در مرکز خلیج فارس مجاور بحرین داشته باشد [۵].

جریان باقی‌مانده^۴ از برداشتن جزرومد و تضعیف فرکانس‌های قوی از جریان‌های گزارش شده با جریان سنج به دست می‌آید. جریان جزرومدی باقی‌مانده در بیشتر قسمت‌های دریا ضعیف است و میانگین بزرگی جریان در منطقه مرکزی کمتر از ۱ cm/s است. این جریان ممکن است کوچک باشد، اما در حرکت آلودگی‌ها و میزان ذرات معلق آن‌ها نقش مهمی دارد [۶].

حرکت آب در خلیج فارس تحت تأثیر سه نیروی جزرومد، نیروی باد و تغییرات چگالی است. هر کدام جریان‌های مختلف مقیاس زمانی متفاوتی دارند. جزرومد به صورت ساعتی، روزانه یا نیم‌روزانه است. جریان‌های ناشی از باد تحت تأثیر جهت باد بوده و تغییرات روزانه کمی دارند. جریان‌های ناشی از چگالی، تغییرات هفتگی یا فصلی دارند [۷]. نیروهای محرک جریان در خلیج فارس، اختلاف چگالی در توده‌های آب و نیروی باد همراه با فرایند اختلاط قائم است. تنش باد در سطح سبب شیب‌دار شدن خطوط هم‌چگالی و افزایش اختلاف بین سطوح هم‌چگالی می‌شود که این پدیده خود، باعث ایجاد ناپایداری باروکلینیکی می‌شود [۸]. برخلاف بادهای غالب شمال، آب‌های ورودی با

عمق ۲۱ متر و مورینگ M7 در عمق ۵۶ متر اندازه گیری شده‌اند.



شکل ۱. نقشه دریای عمان و ایستگاه‌های اندازه گیری گشت دریایی راپمی در فصل زمستان و بهار ۱۹۹۲

در این تحقیق، پس از پردازش داده‌ها به منظور استخراج طیف از سری زمانی در نرم افزار متلب^۶ کدنویسی شد. اگر هر نمودار سری زمانی را به صورت مجموعه‌ای از سیگنال‌ها در نظر بگیریم، هر سیگنال می‌تواند به یک سری امواج سینوسی با فرکانس، دامنه و فاز متفاوت تبدیل شود. بنابراین می‌توان نمودار را از میدان فضا به میدان فرکانس منتقل کرد، با این انتقال برخی از اعمالی که بر مبنای فرکانس استوارند را روی نمودار می‌توان انجام داد یک روش انتقال از میدان فضا به میدان فرکانس رسم طیف است که به نمایان شدن پیک‌ها کمک می‌کند. برای به دست آوردن مشخصه‌های جریانات باقی مانده، اثرات پدیده‌هایی با مقیاس زمانی جزرومد فیلتر می‌شوند. استفاده از فیلتر پایین گذر اجازه عبور سیگنال‌های قوی تر را نمی‌دهد. بنابراین مؤلفه‌های جزرومدی حذف شده و سیگنال‌های باقی مانده مربوط به سرعت جریان باقی مانده خواهد بود. برای ادامه روند پردازش از نرم افزار آماری Dadisp^۳ استفاده شده است. به منظور بررسی تأثیر جزرومد بر دما و شوری نمودارهای سری‌های زمانی و پردازش داده‌ها با استفاده از نرم افزار متلب رسم شد؛ سپس با استخراج طیف از این نمودار مؤلفه‌های جزرومدی روزانه و نیم‌روزانه مشخص شد. در نمودارهایی که در عمق قرار گرفته‌اند، برای مشاهده طیف از میانگین انحراف استاندارد استفاده شده است. نمودار هِدوگراف یا سرعت، موقعیت هر داده را متناسب با سرعت حرکت ذره نشان می‌دهد در واقع روشی

شوری به نسبت کم به خلیج فارس وارد شده و در اثر تبخیر چگال تر می‌شوند و به عمق می‌روند و با شوری بیشتر از خلیج خارج می‌شوند [۹].

در تحقیقی که درباره گردش باقی مانده در خلیج فارس انجام شد. دو گردش مجزا یکی در قسمت شمالی و دیگری در قسمت جنوبی خلیج نشان داده شد. گردش در نیمه جنوبی از اثر فصلی مونسون است. جریانات باقی مانده یک جریان سطحی به درون خلیج و یک جریان در عمق به بیرون خلیج را نشان دادند [۱۰]. یک گردش آنتی سیکلونی در نیمه جنوبی خلیج را در زمستان نشان دادند که احتمالاً در اوایل تابستان به علت شروع مونسون جنوب غربی گسترش می‌یابد [۱۱]. در این تحقیق، در بخش اول جریان جزرومدی و جریان باقی مانده در خلیج فارس و تغییرات سرعت جریان باقی مانده و بررسی جهت جریان باقی مانده در سطح و عمق ارائه شده است. در بخش دوم، تغییرات طیفی دما و شوری و اثر جزرومد بر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل آب‌های خلیج فارس است. خلیج فارس به صورت دریای نیمه بسته واقع بین ۲۴ تا ۳۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی و ۴۷ تا ۵۷ درجه طول جغرافیایی شرقی از طریق تنگه هرمز به دریای عمان و از آنجا به دریاهای آزاد مرتبط است. خلیج فارس در حدود ۹۹۰ کیلومتر طول، مساحتی حدود ۲۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع، عرض حداکثری حدود ۳۳۰ کیلومتر، عمق حداکثری حدود ۱۰۰ متر و حجمی حدود ۸۶۳۰ کیلومتر مکعب مربوط به عمق متوسط ۳۶ متر دارد [۷].

داده‌های مورد استفاده از سوی گشت دریایی کشتی مونت میشل^۵ از ۲ مارس تا ۳۰ می ۱۹۹۲ با فاصله اندازه گیری ۲۰ دقیقه در ۵ ایستگاه مورینگ با ۱۱ جریان سنج تهیه شده است. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری شده نشان داده شده است. جریان سنج‌ها در مورینگ M2 در عمق‌های ۱۰، ۱۰، ۱۰، ۲۴، ۴۰، ۷۱ متر مورینگ M3 در عمق‌های ۱۰، ۲۴، ۴۰، ۷۱ متر مورینگ M4 در عمق‌های ۱۵ و ۵۹ متر مورینگ M5 در

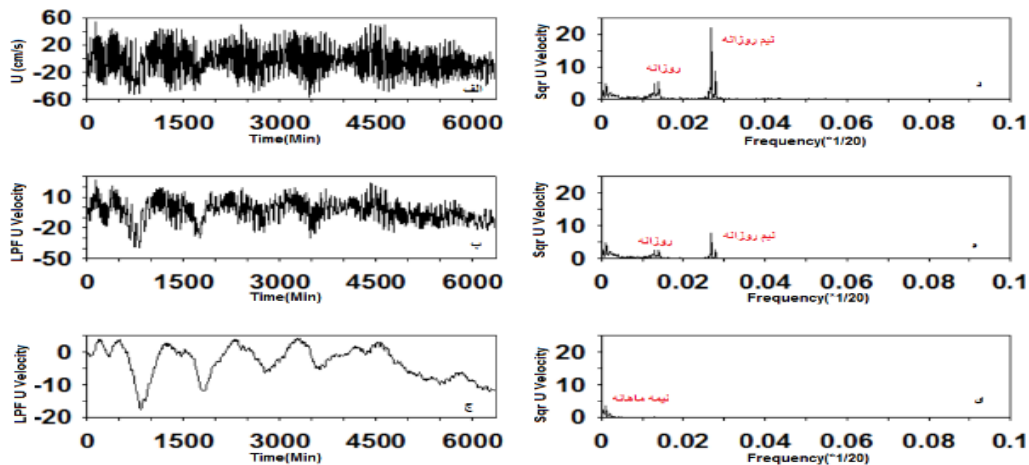
ایستگاه‌ها و وجود کمترین عمق (۱۰ متر) و بیشترین عمق (۸۴ متر) در ایستگاه مورینگ ۲، نمودارهای این ایستگاه نشان داده شده است. شکل‌های ۲ و ۳ سری زمانی سه‌ماهه مؤلفه‌های u و v سرعت جریان جزرومدی و طیف بسامدی آن و جریان‌های باقی‌مانده با فیلترهای پایین‌گذر $0.1/0$ و $0.009/0$ هرتز در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر را نشان می‌دهند. سری زمانی مؤلفه‌های u و v سرعت جریان جزرومدی در ایستگاه مورینگ ۲ در عمق ۱۰ متر (الف) و تحلیل و بررسی طیف بسامدی آن (د)، باند فرکانس قوی را در سیگنال‌ها نشان می‌دهد که با محاسبه فرکانس و در نظر گرفتن فاصله زمانی ۲۰ دقیقه، پررود آن‌ها محاسبه شده است. پیک‌های بلندتر در فرکانس

برای نشان دادن میدان سرعت یک ذره در حرکت دووجهی است که با برنامه متلب رسم شده است.

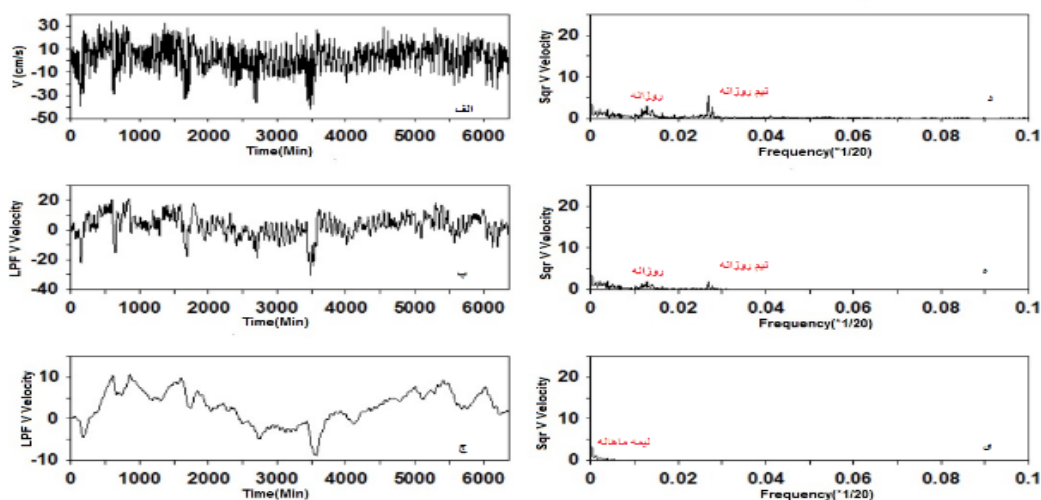
۳. نتایج و بحث

۳-۱. جریان‌های جزرومدی و باقی‌مانده در سطح و عمق

کاربرد آنالیز سری زمانی^۸ شناخت متغیرها در یک سری از داده‌ها و شکل طیف توابع پررودیک در پدیده‌های اقیانوسی مانند نیروهای جزرومدی، پدیده‌های باروکلینیکی، باروتروپیک و پیش‌بینی حرکات آن‌ها در دریاست. سری زمانی مؤلفه‌های u و v سرعت جریان جزرومدی و جریان باقی‌مانده در تمام ایستگاه‌های مورینگ در خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته است. به علت نتایج مشابه در تمامی

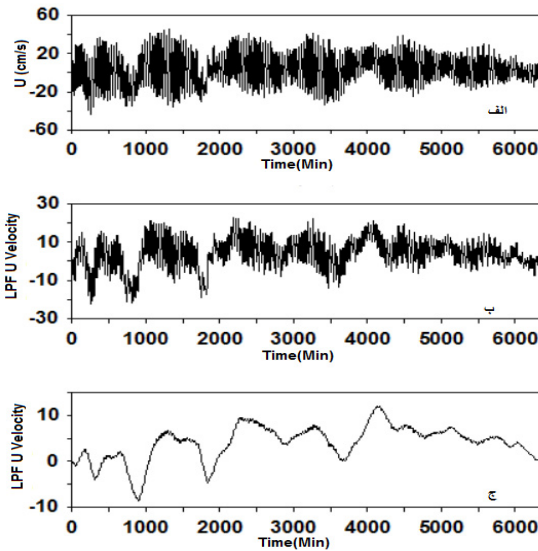


شکل ۲. سری زمانی مؤلفه U سرعت با فاصله زمانی ۲۰ دقیقه (الف) طیف بسامدی آن (د) و جریان‌های باقی‌مانده با فیلتر پایین‌گذر $0.1/0$ (ب) و $0.009/0$ هرتز (ج) و به ترتیب طیف بسامدی آن‌ها (ه) و (و) در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر

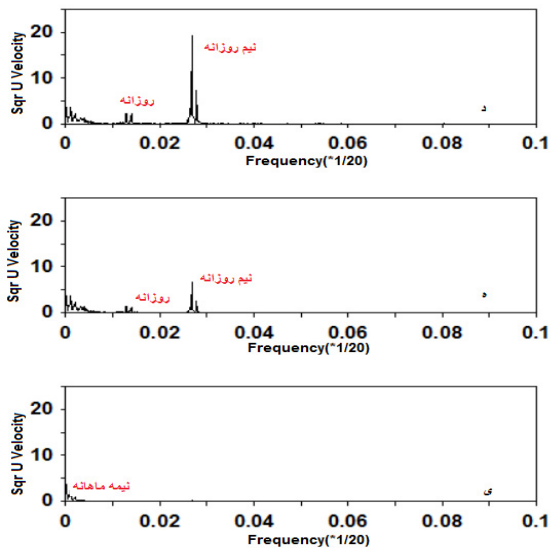


شکل ۳. سری زمانی مؤلفه V سرعت با فاصله زمانی ۲۰ دقیقه (الف) طیف بسامدی آن (د) و جریان‌های باقی‌مانده با فیلتر پایین‌گذر $0.1/0$ (ب) و $0.009/0$ هرتز (ج) و به ترتیب طیف بسامدی آن‌ها (ه) و (و) در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر.

بسامدی آن (ه)، فرکانس های تضعیف شده مؤلفه های جزرومدی نیم روزانه (۰/۰۲۷ هرتز) و نیم روزانه (۰/۰۱ هرتز) را نشان می دهد. سری زمانی مؤلفه های u و v سرعت جریان باقی مانده (ج) از حذف فرکانس مربوط به مؤلفه جزرومدی نیمه ماهانه ۱۵/۴ روز در نمودار (ه) با استفاده از فیلتر پایین گذر^{۱۱} (فرکانس قطع ۰/۰۰۰۹) به دست آمده است.



۰/۰۲۷ هرتز پریود ۱۲/۳۴ ساعت نشان دهنده مؤلفه جزرومدی نیم روزانه و فرکانس ۰/۰۱ هرتز پریود ۲۵/۶ ساعت مربوط به مؤلفه جزرومدی روزانه هستند. سری زمانی مؤلفه های u و v سرعت جریان باقی مانده (ب) از حذف فرکانس های مربوط به مؤلفه های جزرومدی روزانه و نیم روزانه با استفاده از فیلتر پایین گذر (فرکانس قطع ۰/۰۱^{۱۱} مربوط به جزرومد ۳۳/۳ ساعت) به دست آمده است. طیف

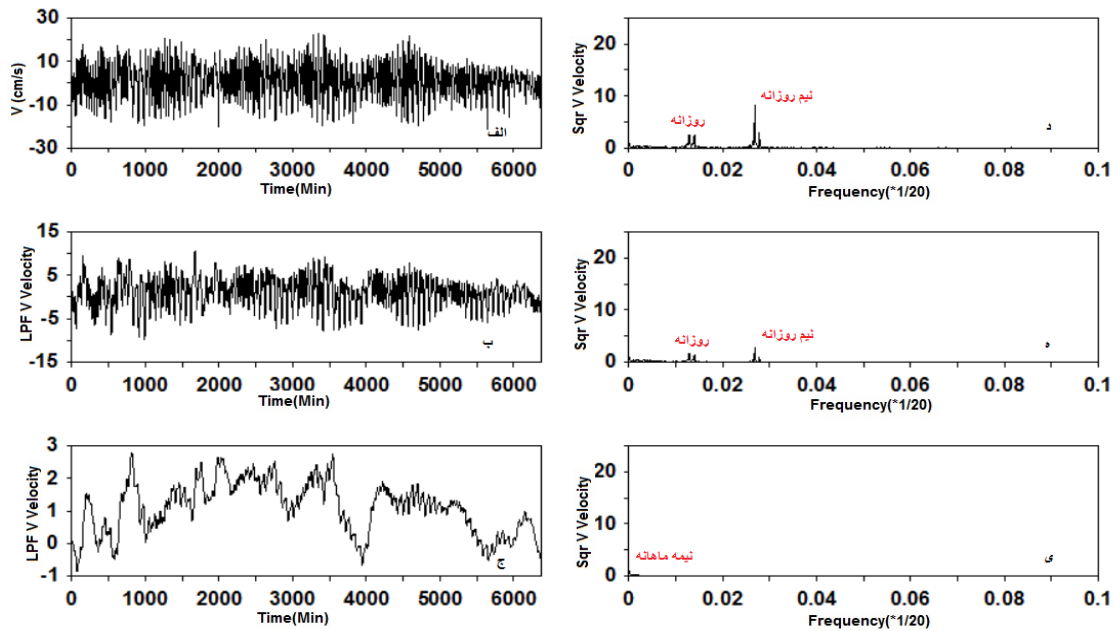


شکل ۴. سری زمانی مؤلفه U سرعت با فاصله زمانی ۲۰ دقیقه (الف) طیف بسامدی آن (د) و جریان های باقی مانده با فیلتر پایین گذر ۰/۰۱ (ب) و ۰/۰۰۰۹ هرتز (ج) و به ترتیب طیف بسامدی آن ها (ه) و (ی) در مورینگ ۲ عمق ۸۴ متر

استفاده از فیلتر پایین گذر (فرکانس قطع ۰/۰۱) مربوط به جزرومد ۳۳/۳ ساعت) با حذف مؤلفه های جزرومدی به دست آمده است. طیف بسامدی آن (ه)، فرکانس های تضعیف شده مؤلفه های جزرومدی نیم روزانه (۰/۰۲۶ هرتز) و نیم روزانه (۰/۰۱۲ هرتز) را نشان می دهد. سری زمانی مؤلفه های u و v سرعت جریان باقی مانده (ج) از حذف فرکانس مربوط به مؤلفه جزرومدی نیمه ماهانه ۱۵/۴ روز در نمودار (ه) با استفاده از فیلتر پایین گذر (فرکانس قطع ۰/۰۰۰۹) به دست آمده است. طیف بسامدی آن (ی)، فرکانس های تضعیف شده مؤلفه های جزرومدی نیم روزانه را نشان می دهد. طیف های بسامدی در مؤلفه u سرعت قوی تر از مؤلفه سرعت v است؛ بنابراین جهت جریان جزرومدی در جهت مؤلفه u ، در جهت محور خلیج فارس و شرقی - غربی است و جزرومد نیم روزانه در این منطقه غالب است.

طیف بسامدی آن (ی)، فرکانس تضعیف شده مؤلفه های جزرومدی نیم روزانه را نشان می دهد. فرکانس و پریود مؤلفه های جزرومدی روزانه و نیم روزانه در جدول ۲ نشان داده شده است. شکل های ۴ و ۵ سری زمانی سه ماهه مؤلفه های u و v سرعت جریان جزرومدی و طیف بسامدی آن و جریان های باقی مانده با استفاده از فیلترهای پایین گذر با فرکانس قطع ۰/۰۱ و ۰/۰۰۰۹ هرتز در مورینگ ۲ عمق ۸۴ متر را نشان می دهند. سری زمانی مؤلفه های u و v سرعت جریان جزرومدی در ایستگاه مورینگ ۲ در عمق ۸۴ متر (الف) و تحلیل و بررسی طیف بسامدی آن (د)، پیک هایی با فرکانس ۰/۰۲۶ هرتز پریود ۱۲/۸۲ ساعت نشان دهنده مؤلفه جزرومدی نیم روزانه و فرکانس ۰/۰۱۲ هرتز پریود ۲۷/۷ ساعت مربوط به مؤلفه جزرومدی روزانه هستند.

سری زمانی مؤلفه های u و v سرعت جریان باقی مانده (ب) با



شکل ۵. سری زمانی مؤلفه V سرعت با فاصله زمانی ۲۰ دقیقه (الف) طیف بسامدی آن (د) و جریان‌های باقی‌مانده با فیلتر پایین گذر $0.1/0.1$ (ب) و $0.009/0$ هرتز (ج) و به ترتیب طیف بسامدی آن‌ها (ه) و (ی) در مورینگک ۲ عمق ۸۴ متر

جدول ۱. مقیاس زمانی جزرومد روزانه و نیم‌روزانه با محاسبه فاصله اندازه‌گیری ۲۰ دقیقه

منشأ	پریود (ساعت)	فرکانس (هرتز)
پریود جزرومد نیم‌روزانه	$T=12/34$	$f=0.027$
پریود جزرومد نیم‌روزانه	$T=12/82$	$f=0.026$
پریود جزرومد روزانه	$T=25/6$	$f=0.01$
پریود جزرومد روزانه	$T=27/7$	$f=0.012$

سرعت جریان جزرومدی حدود 50 cm/s و سرعت جریان باقی‌مانده حدود 10 cm/s نشان داده شده است. فرکانس و پریود جزرومدی مؤلفه‌های روزانه و نیم‌روزانه در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲-۳. تغییرات سرعت جریان باقی‌مانده

تغییرات جریان باقی‌مانده در تمام ایستگاه‌ها برحسب cm/s در مارس و آوریل و می در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. تغییرات جریان باقی‌مانده در تمام ایستگاه‌ها برحسب cm/s در مارس و آوریل و می

جریان سنج		مارس			آوریل			می		
No.	عمق (متر)	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین
M2	۱۰	۰/۱	۳۲/۴	۲۲/۶	۱۳/۵	۳۰/۳	۲۰/۴	۱۵/۷	۲۳/۷	۱۹/۶
M2	۳۰	۰	۲۶/۹	۲۰/۱	۱۲/۵۵	۲۷/۴	۱۹/۲	۱۵/۲	۳۸/۱	۲۸/۹
M2	۸۴	۰/۱	۲۳/۵	۱۷/۲	۱۳/۳	۲۱/۹	۱۷/۷	۷/۵	۱۸/۶	۱۳/۲
M3	۱۰	۰	۲۶/۷	۱۷/۶	۱۱/۵	۲۳/۱	۱۶/۶	۲/۱	۱۷/۶	۹/۳
M3	۲۴	۰	۲۱/۹	۱۵/۱	۷/۶	۱۳/۵	۹/۷	۲/۹	۱۵/۱	۹/۸
M3	۴۰	۰	۱۸/۴	۱۴/۱	۸/۸	۱۱/۹	۹/۸	۵	۱۴/۱	۱۰/۳
M3	۷۱	۰	۳۲/۴	۲۵	۱۸/۶	۳۶/۸	۲۷/۹	۱۴/۴	۳۲/۵	۲۵/۸
M4	۱۵	۰	۲۲/۲	۱۶/۹	۱۴/۱	۲۹/۱	۲۰/۲	۱۳/۷	۳۵/۹	۲۶/۱
M4	۵۹	۰	۱۷/۳	۱۳/۶	۱۰/۵	۱۶/۸	۱۳/۵	۹/۹	۱۵/۲	۱۳
M5	۲۱	۰/۱	۲۵/۴	۱۸/۲	۱۴/۳	۲۱/۵	۱۷/۸	۱۰/۳	۲۳/۱	۱۸/۴
M7	۵۶	۰	۲۰/۳	۱۳/۹	۱۰/۵	۱۹/۹	۱۵/۵	۱۳/۹	۲۱/۴	۱۸/۴

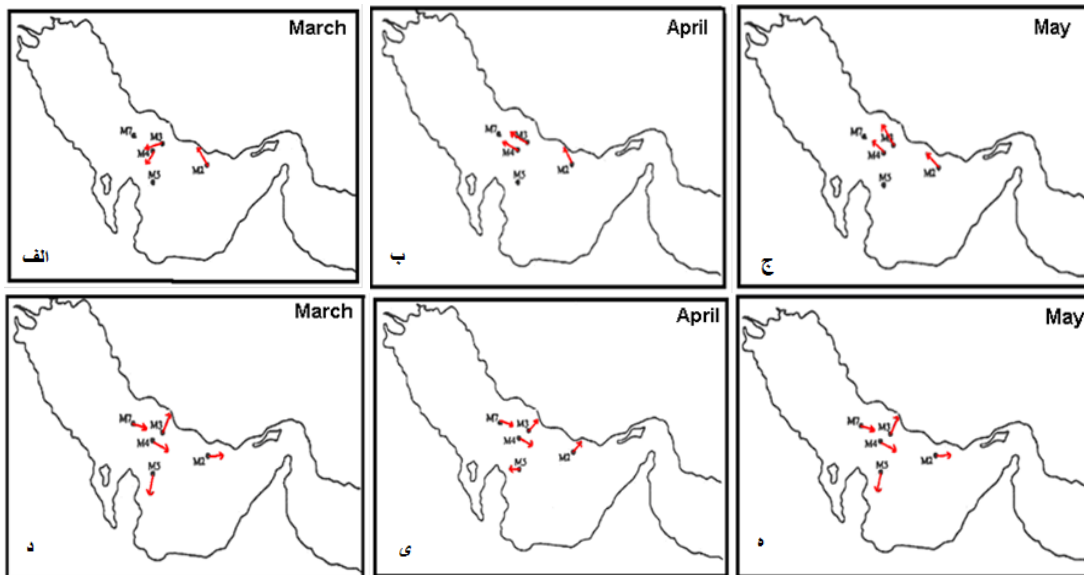
باقی مانده در سطح را به صورت یک جریان به سمت درون خلیج نشان می دهد که یک گردش آنتی سیکلونی با میانگین بزرگی کمتر از 10 cm/s است. با گذار از زمستان به بهار جهت جریان در سطح در ایستگاه مورینگ ۲ ثابت باقی می ماند و در ایستگاه های مورینگ ۳ و ۴ به سمت شمال غربی تغییر می کند و بیانگر این مطلب است که گردش با انتقال از زمستان به بهار تمایل به شکسته شدن دارد و به پیچک های میان مقیاس افقی تجزیه می شود و ایجاد اختلاط افقی می کند.

۳-۳. بررسی جهت جریان باقی مانده در سطح و عمق

جدول ۳ محاسبه زاویه بین مؤلفه های u, v سرعت و جهت جریان باقی مانده را طبق رابطه ۱ نشان می دهد.

$$\theta = \tan^{-1} v/u \quad (1)$$

با توجه به نتایج جدول ۳ جهت جریان باقی مانده در سطح (از ۱۰ تا ۳۰ متر) و عمق (از ۳۰ تا ۸۴ متر) خلیج فارس در شکل ۶ رسم شده است. طول بردارها روی شکل از زمستان تا بهار به طور تقریبی ترسیم شده اند. شکل ۶ جهت جریان



شکل ۶. جریانات باقی مانده در سطح (الف، ب و ج) و در عمق (د، ی و ه) ایستگاه های مورینگ از زمستان تا بهار ۱۹۹۲

سمت خارج نشان می دهد که آب های خلیج فارس را به سمت تنگه هرمز هدایت می کند. الگوی گردش به دست آمده یک گردش بارو کلینیکی و ناشی از اختلاف چگالی بین آب های سطح و عمق است.

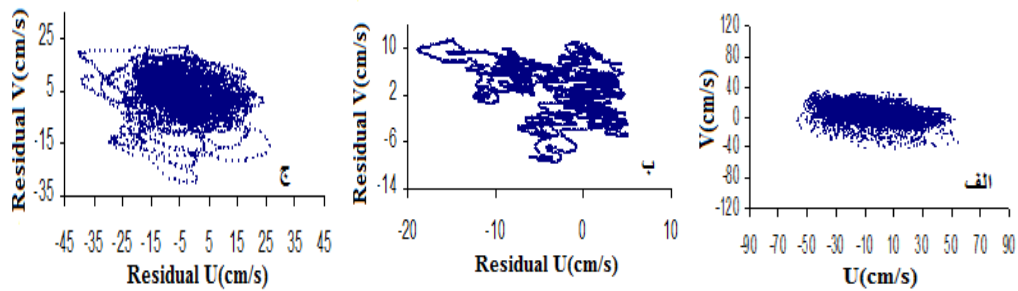
۴. هیدوگراف مؤلفه های سرعت جریان

شکل ۷ هیدوگراف مؤلفه های سرعت u و v را در جریان جزرومدی و جریانات باقی مانده نشان می دهد. جهت جریان جزرومدی شرقی غربی، در جهت مؤلفه u سرعت و حدود 50 cm/s است. سرعت جریان در جریان باقی مانده با تضعیف جزرومد روزانه و نیمه ماهانه حدود 10 cm/s است. جزرومد در سرعت جریان باقی مانده با وجود تضعیف قابل مشاهده است.

جدول ۳. جهت و زاویه بین دو مؤلفه u, v سرعت جریان باقی مانده

ایستگاه	عمق (متر)	θ°	جهت
M2	۱۰	$42/9^\circ$	شمال غربی
M2	۳۰	$75/9^\circ$	شمال غربی
M2	۸۴	$15/1^\circ$	شرق
M3	۱۰	$1/6^\circ$	شمال غربی
M3	۲۴	4°	شمال غربی
M3	۴۰	$8/5^\circ$	شمال غربی
M3	۷۱	$85/4^\circ$	شمال شرقی
M4	۱۵	$10/7^\circ$	جنوب غربی
M4	۵۹	$25/6^\circ$	جنوب شرقی
M5	۲۱	$80/2^\circ$	جنوب غربی
M7	۵۶	$22/7^\circ$	جنوب شرقی

جهت جریان باقی مانده در عمق، شکل گیری یک جریان را به

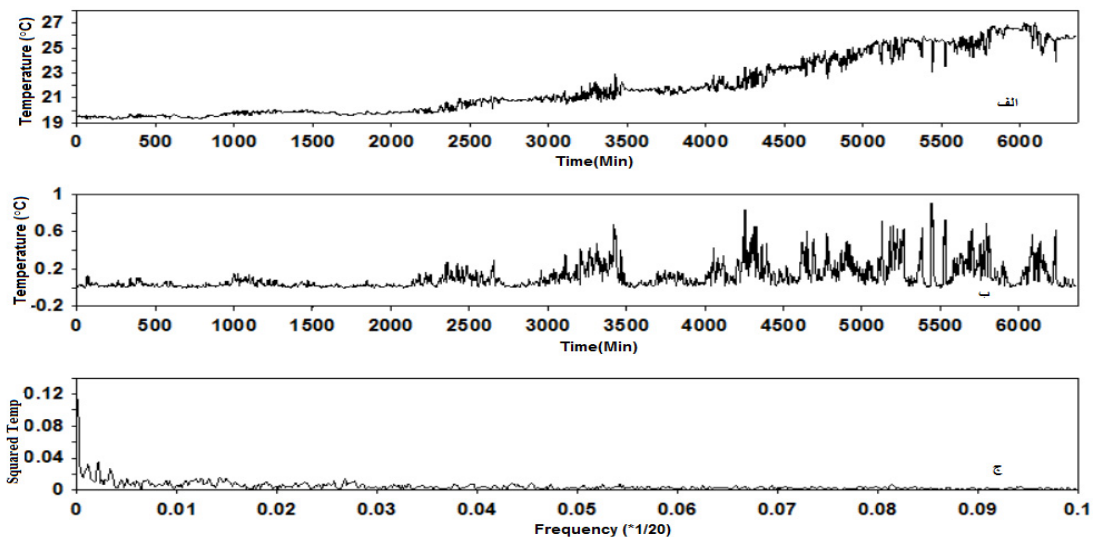


شکل ۷. نمودار هیدروگراف مؤلفه‌های سرعت اصلی و نمودارهای سرعت باقی‌مانده فیلتر شده با فرکانس قطع ۰/۰۱ و ۰/۰۰۹ در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر

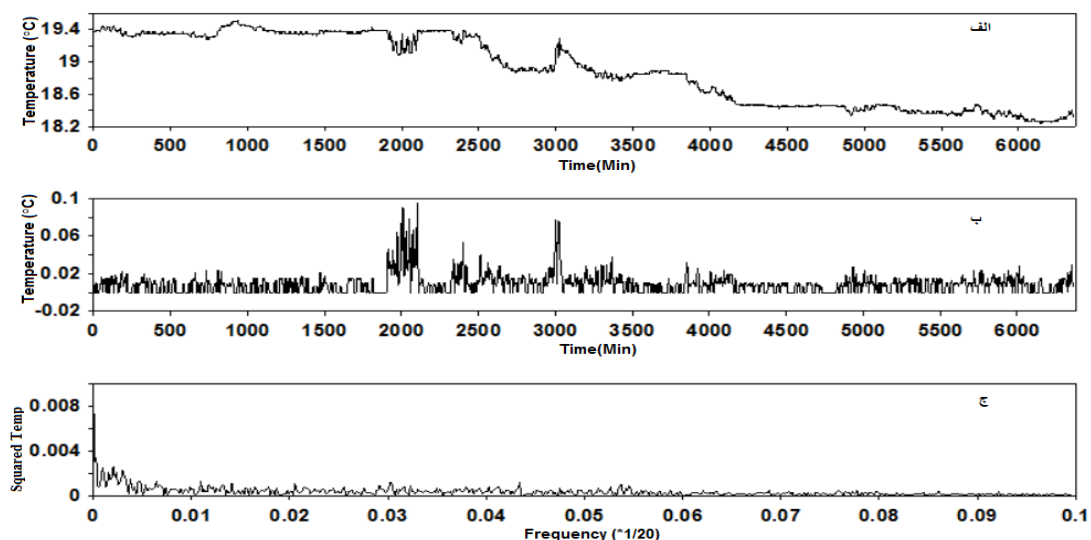
۵. بررسی تغییرات طیفی اثر جزرومد بر دما و شوری

خلیج فارس مورد مطالعه قرار گرفت. به علت نتایج مشابه نمودارهای مورینگ ۲ نشان داده شده است. شکل‌های ۸ و ۹ سری زمانی و تحلیل طیفی تغییرات دما را در سطح و عمق

آنالیز سری زمانی و تحلیل طیفی دما و شوری از ماه مارس تا می از سطح تا عمق در تمامی ایستگاه‌های مورینگ در



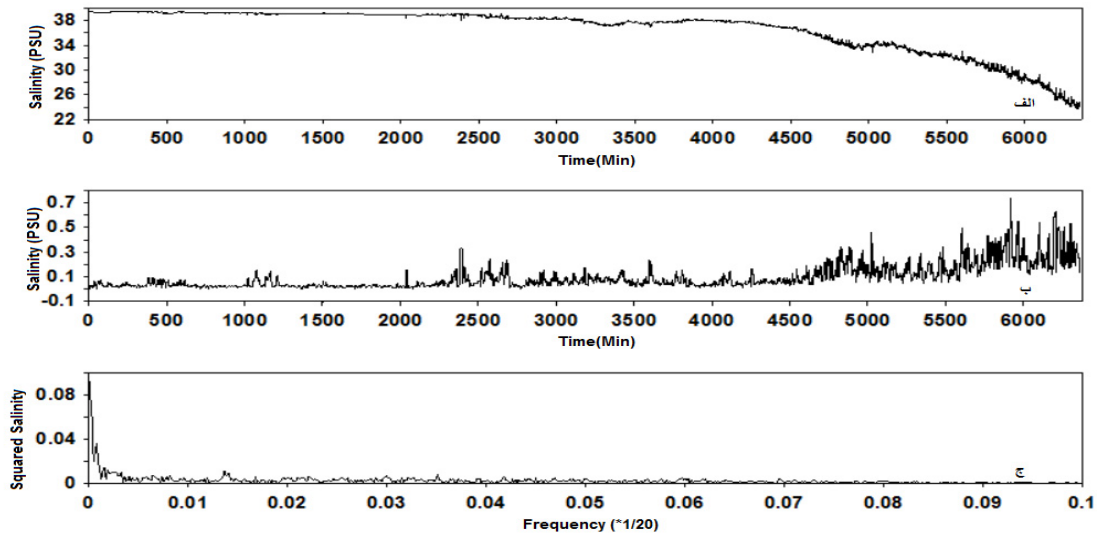
شکل ۸. سری زمانی دما (الف) خط روند دما (ب) طیف بسامدی آن (ج) در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر



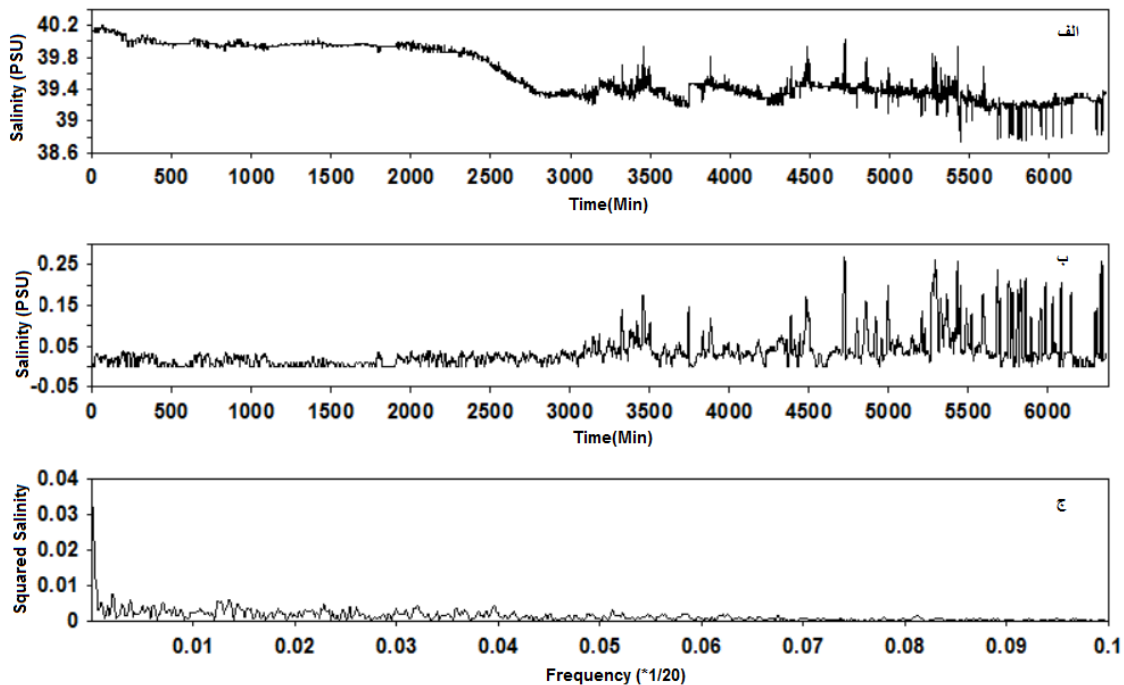
شکل ۹. سری زمانی دما (الف) خط روند دما (ب) طیف بسامدی آن (ج) در مورینگ ۲ عمق ۸۴ متر

مناطق عمیق خلیج فارس است که لایه اختلاط سطحی را از آب های داخلی جدا می کند. در این حالت اختلاف دمای آب های سطحی و عمیق زیاد شده و با سرد شدن هوا دمای آب نیز رو به کاهش نهاده و در فصل زمستان به کمترین مقدار خود می رسد.

خلیج فارس نشان می دهند. سری زمانی دما در سطح در عمق ۱۰ متر حدود ۷ درجه سانتی گراد افزایش و در عمق ۸۴ متر ۱ درجه سانتی گراد کاهش را نشان می دهد که این تغییرات با گذار از زمستان به بهار رخ می دهد. افزایش دمای آب های سطحی در اواخر بهار نشان دهنده ترموکلاین تابستانه در



شکل ۱۰. سری زمانی شوری (الف) انحراف استاندارد شوری (ب) طیف بسامدی آن (ج) در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر



شکل ۱۱. سری زمانی شوری (الف) انحراف استاندارد شوری (ب) طیف بسامدی آن (ج) در مورینگ ۲ عمق ۸۴ متر

روبرتسون و فیلد [۴] مطابقت دارد. جزرومد نیم‌روزانه در منطقه خلیج فارس غالب است. همچنین جهت شرقی-غربی و شمالی-جنوبی جریان، یک گردش باروکلینیکی پادساعت گرد را در این منطقه نشان داد. نتایج آنالیز سری زمانی دما و شوری نشان داد که در خلیج فارس از زمستان تا بهار تغییرات فصلی شدیدی وجود دارد. افزایش دمای آب‌های سطحی در اواخر بهار در مناطق عمیق خلیج فارس ترموکلاین تابستانه را نشان می‌دهد، هم‌زمان با شکل‌گیری چینه‌بندی دمایی و شروع ترموکلاین جریان‌های باقی‌مانده با سرعتی حدود 10 cm/s یک جریان را در سطح به سمت داخل و یک جریان را در عمق به سمت خارج نشان می‌دهند و یک گردش آنتی‌سیکلونی را در خلیج به وجود می‌آورند. این مطلب با نتایج مطالعه نوپیل وهوگن مطابقت دارد [۱۰].

نیروهای محرک گردش در این منطقه نیروی باد و چگالی و فرایندهای اختلاط عمودی هستند و گردش به وجود آمده ناشی از شدت باد و اختلاف چگالی است. بررسی طیف‌های دما و شوری نشان داد که جزرومد در سطح بر دما اثر گذاشته و در عمق‌های پایین‌تر تأثیر آن ضعیف است و شدت آن در بهار بیشتر از زمستان است؛ بنابراین از سطح به عمق با سرد شدن آب، اثر جزرومد بر دما کاهش می‌یابد که علت آن می‌تواند مربوط به تشکیل گرادیان دمایی و ترموکلاین در بهار باشد یا اثر رفت و برگشتی جزرومد که ایجاد موج می‌کند و باعث افزایش دما و کاهش شوری می‌شود. در قسمت‌هایی با چینه‌بندی قوی‌تر گرادیان شدیدتر بوده و اثر جزرومد نیز قوی‌تر است. تأثیر جزرومد بر شوری نیز در سطح بسیار ضعیف بوده و در برخی از اعماق قوی‌تر است که احتمال دارد به علت توپوگرافی منطقه و اثر رفت و برگشتی موج باشد.

مراجع

- [1] 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 Jan 1;27:35-59.
- [2] Johns W, Yao F, Olson D, Josey S, Grist J, Smeed D. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred

رسم طیف در نمودار دما به منظور آشکار شدن دو مؤلفه جزرومدی روزانه و نیم‌روزانه با استفاده از روش حذف روند و انحراف استاندارد انجام شده است. با محاسبه فرکانس و در نظر گرفتن فاصله زمانی ۲۰ دقیقه، پیوند آن به دست آمده است. پیوندهای حدود ۱۲ ساعت مربوط به مؤلفه نیم‌روزانه و پیوندهای حدود ۲۴ ساعت مربوط به مؤلفه روزانه هستند. اثر جزرومد بر دما در سطح بیشتر از عمق است و در ماه‌های آوریل و می بیشتر از مارس مشاهده می‌شود. تحلیل طیفی شوری در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ در ایستگاه مورینگ ۲ در سطح و عمق نشان داده شده است. نتایج آنالیز سری زمانی شوری بیان می‌کند که در سطح و عمق تغییرات شوری از ماه مارس تا می کاهش می‌یابد. علت آن می‌تواند ورود آب‌های ورودی از اقیانوس هند باشد. اختلاف شوری باعث لایه‌بندی شدن ستون آب شده و افزایش چگالی موجب می‌شود آب شور در عمق قرار گیرد. شوری در آب‌های عمیق از زمستان به بهار حدود $1-2 \text{ psu}$ کاهش می‌یابد. اثر جزرومد بر شوری در عمق بیشتر از سطح است. تغییرات نوسانات جزرومدی در می بیشتر از ماه‌های مارس و آوریل است. جزرومد در عمق باعث می‌شود آب شور به سمت تنگه هرمز هدایت شود.

۶. نتیجه‌گیری

آنالیز سری زمانی بر روی داده‌های به دست آمده از گشت دریایی مونت میشل ۱۹۹۲ در ایستگاه مورینگ با ۱۱ جریان سنج انجام شده است. داده‌ها شامل دما، شوری، هدایت الکتریکی، سرعت و جهت جریان آب هستند که با فاصله زمانی ۲۰ دقیقه اندازه‌گیری شده‌اند. استخراج طیف از سری زمانی سرعت‌های جزرومدی v و u و محاسبه فرکانس آن‌ها، پیوند مؤلفه‌های جزرومدی روزانه و نیم‌روزانه را نشان داد. با استفاده از فیلتر پایین‌گذر با فرکانس قطع $0.1/0.009$ هر تری، جریان باقی‌مانده و جهت آن به دست آمد.

نتایج تحلیل طیفی جریان جزرومدی و جریان باقی‌مانده نشان داد که جهت جریان جزرومدی شرقی-غربی و در راستای مؤلفه u است. سرعت جریان جزرومدی 50 cm/s و سرعت جریان باقی‌مانده 10 cm/s است این مطلب با یافته‌های

10. Cutoff Frequency
11. Low Pass Filter

- heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research*. 2003 08(C12); 3391. doi:10.1029/2003JC001881.
- [3] Bower AS, Hunt HD, Price JF. Character and dynamics of the Red Sea and Persian Gulf outflows. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2000 Mar 15;105(C3):6387-414.
- [4] Robertson R, Field A. BAROCLINIC. *Oceanography*. 2005 Dec;18(4):62.
- [5] Stephen A, Swift, and Bower AS. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf. Woods Hole Oceanographic Institution Woods Hole. 2000 MA 02543.
- [6] Kämpf J, Sadrinasab M. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Science Discussions*. 2005 May 12;2(3):129-64.
- [7] Babu MT, Vethamony P, Desa E. Modelling tide-driven currents and residual eddies in the Gulf of Kachchh and their seasonal variability: A marine environmental planning perspective. *Ecological modelling*. 2005 Jun 1;184(2-4):299-312.
- [8] Hughes P, Hunter JR. Physical oceanography and numerical modelling of the Kuwait Action Plan Region. UNESCO Division of Marine Sciences report ;1979:278.
- [9] 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 Jan 1;27:35-59.
- [10] Thoppil PG, Hogan PJ. A modeling study of circulation and eddies in the Persian Gulf. *Journal of Physical Oceanography*. 2010 Sep;40(9):2122-34.
- [11] Hunter JR. Aspects of the dynamics of the residual circulation of the Persian Gulf. In: Gade MG, Edward A, Svendsen H, editors. *Coastal oceanography*. Boston: Springer; 1983. p. 31-42.
- [12] Bidokhti AA, Ezam M. The structure of the Persian Gulf outflow subjected to density variations. *Ocean Science*. 2009 Jan 12;5(1):1-2.

پی نوشت

1. Tidal Current
2. Semidiurnal
3. Diurnal
4. Residual Current
5. Mt Mitchell Expedition to the ROPME Sea Area
6. Matrix Laboratory
7. Data Analysis and Display
8. Time Series Analysis
9. Spectral Analysis