

## تغییرات فصلی جریان، دما و شوری در خلیج فارس

\*ارم قاضی<sup>۱</sup>، علی اکبری بیدختی<sup>۲</sup>، مجتبی عظام<sup>۳</sup> و مسعود ترابی آزاد<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران،

<sup>۲</sup> دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

### چکیده

در این مطالعه جریان‌های باقی مانده در خلیج فارس با استفاده از داده‌های گشت دریایی مونت میشل ۱۹۹۲ بررسی شده است. برای این منظور با استفاده از داده‌های موجود، ساختار میدان‌های دما، شوری، چگالی و جهت جریان در نیمه جنوبی خلیج فارس در اعماق مختلف تعیین شد. همین‌طور مقیاس زمانی طیف‌های سرعت و جهت جریان جزر و مدی نیز به دست آمده است. با استفاده از مطالعات میدانی جهت جریان‌های باقی مانده در اواخر زمستان تا اواخر بهار یک جریان سطحی را به درون خلیج و یک جریان به سمت خارج خلیج نشان می‌دهند و گویای این مطلب است که در این منطقه گردش باروکلینیک آنتی سیکلونی همزمان با ایجاد چینه‌بندی دمایی و شکل‌گیری ترموکلاین، تشکیل می‌شود. سرعت جریان باقی مانده حدود ۱۰ سانتی متر بر ثانیه و سرعت جریان جزر و مدی ۵۰ سانتی متر بر ثانیه به دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** ترموکلاین، جریان باقی مانده، جریان جزر و مدی، سری زمانی، گردش

### مقدمه

جریان‌ها در خلیج فارس به صورت جریان باقی مانده، جریان جزر و مدی و اغتشاش بر حرکت آلودگی‌ها اثر می‌گذارند. جریان باقی مانده از برداشتن جزر و مد و تضعیف فرکانس‌های قوی از جریان اصلی به دست می‌آید. این جریان ممکن است کوچک باشد، اما در حرکت آلودگی‌ها و میزان انتقال ذرات معلق و منحل کردن آنها نقش مهمی دارد. 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 (۱۲). نیروهای محرک جریان در خلیج فارس ناشی از نیروی شناوری و تنش باد و فرایندهای اختلاط قائم می‌باشند (۱۱). با مطالعات بر روی گردش، ساگدن پی برد جریان باقی مانده در خلیج فارس از اثر فصلی مونسون شمال شرقی است (۱۵). همچنین الحجری دریافت که نیروی شناوری به تنهایی قادر به ایجاد

گردش نیست و نیروی باد نیز یک مؤلفه لازم برای گردش است (۲). Hunter (۱۹۸۳) وجود اختلاف جریان‌های ورودی از تنگه هرمز و جریان‌های خروجی از خلیج فارس را در سطح و کف، نشان داد. جریان ورودی از اقیانوس هند به تنگه هرمز در اواخر بهار و تابستان قوی‌تر می‌شود و از سواحل ایرانی بالاتر می‌رود و به ساحل امارات متحده عربی نزدیک‌تر می‌شود، این امر سبب پیدایش یک جبهه شور در خلیج فارس می‌شود (۱۲). در زمستان این جبهه عقب‌نشینی می‌کند و به همین علت آب‌های سطحی خلیج فارس در زمستان نسبت به تابستان شورتر هستند (۱۴). امری این پدیده را به تغییرات فصلی نرخ تبخیر نسبت می‌دهد (۴). Swift و Bower (۲۰۰۳) استدلال می‌کنند که جریان چگالی خروجی پایدار است (۱۴). دمای جریان ورودی ۲۲ درجه سانتی‌گراد و شوری ۳۶/۵ psu و چگالی آن ۱۰۲۵/۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در بهار تغییرات قابل مشاهده‌ای در مشخصات توده آب دیده

\* مسئول مکاتبه: eramghazi@yahoo.com



### تغییرات فصلی جریان، دما و شوری در خلیج فارس

ساحلی، مطالعات سازه‌های ساحلی و حرکت آلودگی‌ها در این مناطق مفید باشد. هدف از انجام تحقیق تعیین نیروهای مؤثر در ایجاد جریان‌های گذرا و باقی‌مانده در خلیج فارس و تعیین تغییرات این جریان‌ها و مشخص نمودن تأثیر عواملی از جمله دما و شوری در ایجاد جریان‌های باقی‌مانده و گذرا به‌منظور استفاده در تکنیک‌های مدل سازی است.

### مواد و روش کار

به‌منظور بررسی و مطالعه جریان‌های باقی‌مانده در خلیج فارس از داده‌های سرعت جریان استفاده شده است. این داده‌ها توسط گشت دریایی کشتی مونت میشل با همکاری NOAA<sup>۱</sup> و ROPME<sup>۲</sup> و با هماهنگی کشورهای منطقه خلیج فارس از جمله ایران در سال‌های ۱۹۹۱ الی ۱۹۹۲ جهت برآورد میزان آلودگی ناشی از جنگ بر محیط‌زیست منطقه تهیه شده است. داده‌های مورینگ از ۲ مارس تا ۳۰ می ۱۹۹۲ با فاصله اندازه‌گیری ۲۰ دقیقه به‌دست آمده است. این داده‌ها در ۵ ایستگاه مورینگ با ۱۱ جریان‌سنج Aanderra (Rcm-5) اندازه‌گیری شده است. در شکل ۱ نقشه عمق‌سنجی خلیج فارس با نقاط تعیین شده در ایستگاه‌های مورینگ و جدول ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌ها و جریان‌سنج‌ها ارائه شده است. در این تحقیق از اطلاعات موجود در ایستگاه ۲ در عمق ۱۰ متر نمودارهایی تهیه شده که نشان‌دهنده تغییرات زمانی مولفه‌های سرعت و استخراج طیف از سری زمانی در خلیج فارس می‌باشد.

همچنین برای بررسی جریان‌های باقی‌مانده در خلیج فارس، با استفاده از داده‌های موجود، جهت جریان‌ها ترسیم گردیده است. با بررسی جهت، شکل گردش در این منطقه به‌دست می‌آید. با توجه به جهت جریان وجود گردش و زمان تشکیل آن نیز تعیین می‌گردد.

می‌شود و در این فصل دما چینه‌بندی می‌شود و شوری کاهش می‌یابد و به‌علت اختلاف چگالی در سطح و عمق چینه‌بندی دمایی ایجاد می‌شود. بین جریان ورودی و خروجی از تنگه هرمز ارتباطی وجود دارد. شوری آب چگال خروجی ۴۱ psu دمای آن ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد و چگالی آن ۱۰۲۸/۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. بین آب‌های با شوری زیاد و آب‌های چگال در عمق ارتباط مستقیم وجود دارد. در بهار دمای آب چگال کف به ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد، زیرا آب‌هایی که این آب‌های چگال کف را تشکیل می‌دهند در زمستان سردتر می‌شوند و در بهار بر آب چگال کف تأثیر می‌گذارند، بنابراین چگالی آب خروجی افزایش می‌یابد. جریان خروجی که از عمق خلیج فارس خارج می‌شود به‌نظر می‌رسد به‌علت اختلاف چگالی بین آب‌های عمیق در رأس خلیج فارس و آب‌های نزدیک کف در سواحل ایران باشد. جریان‌ها در خلیج فارس به‌صورت جریان باقی‌مانده، جریان جزر و مدی و اغتشاش بر حرکت آلودگی‌ها اثر می‌گذارند. جریان باقی‌مانده از برداشتن جزر و مد و تضعیف فرکانس‌های قوی از جریان اصلی به‌دست می‌آید. این جریان ممکن است کوچک باشد اما در حرکت آلودگی‌ها و میزان انتقال ذرات معلق و منحل کردن آنها نقش مهمی دارد. 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 (۱۲).

تغییرات زمانی و مکانی میدان‌های دما، شوری و جریان در خلیج فارس تابعی از نیروهای واداشت هستند که تا حدی شناخته شده‌اند. با مطالعه میدانی این تغییرات، می‌توان به این نیروها پی برد. نیروهای واداشت جهت ایجاد جریان‌های گذرا می‌توانند ناشی از جزر و مد، باد و شکست امواج باشند. پیش‌بینی این جریان‌ها و مشخص نمودن نیروهای واداشت مؤثر بر آنها می‌تواند در مطالعات رسوب‌گذاری مناطق

1- National Oceanic and Atmospheric Administration

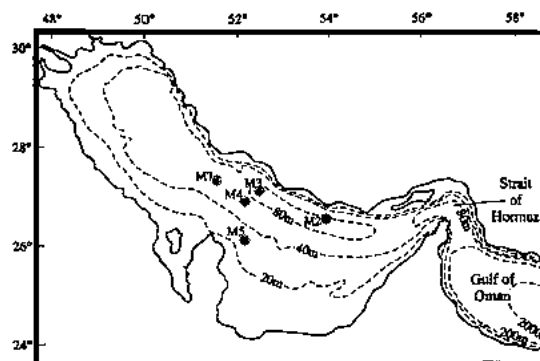
2- Regional Organization for the Protection of the Marine Environment



مد روزانه و نیم روزانه در حد ساعت و جریان‌های ناشی از باد در حد روز و هفته و جریان‌های ناشی از اختلاف چگالی ماه و سال می‌باشد. بنابراین اگر جریان در طول روز را مد نظر باشد، جریان جزر و مدی در مورد بررسی قرار می‌گیرد. دامنه زیاد جزر و مد در خلیج فارس باعث می‌شود جریان‌هایی که سرعتشان به ۵۰ سانتی متر بر ثانیه می‌رسد، وجود داشته باشد.

### نتایج و بحث

کاربرد آنالیز سری زمانی شناخت متغیرها در یک سری از داده‌ها و شکل طیف توابع پرلودیک در پدیده‌های اقیانوسی مانند نیروهای جزر و مدی و پدیده‌های باروکلینیکی و باروتروپیکی و پیش‌بینی حرکات آنها در دریا است. مقیاس زمانی بسیاری از فرآیندهای فیزیکی شامل اغتشاش در حد ثانیه و جزر و

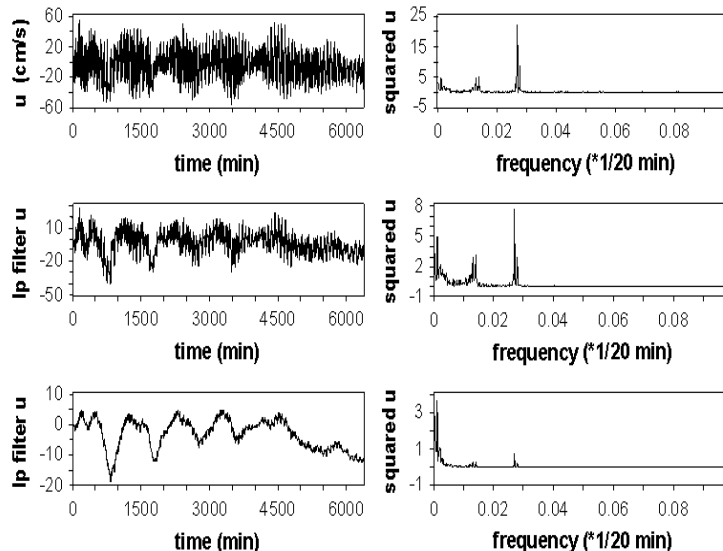


شکل ۱- نقشه عمق‌سنجی خلیج فارس با نقاط تعیین شده در ایستگاه‌های مورینگ ۱۹۹۲ (احمد و عبدالرحمان، ۱۹۹۵)

جدول ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورینگ و جریان‌سنج‌ها در خلیج فارس از ۲ مارس تا ۳۰ می ۱۹۹۲

(احمد و عبدالرحمان، ۱۹۹۵)

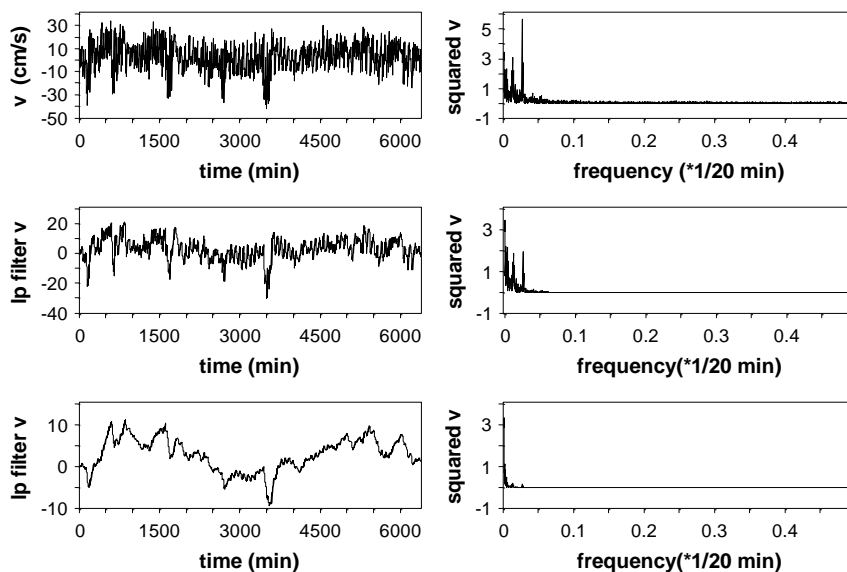
مورینگ	عرض جغرافیایی (N)	طول جغرافیایی (E)	عمق مورینگ (متر)	تعداد جریان‌سنج	عمق (متر)
M2	۲۶° ۲۲,۶۳'	۵۳° ۴۵,۸۷'	۹۴	۳	۱۰-۳۰-۸۴
M3	۲۷° ۰۳,۹۷'	۵۲° ۲۲,۵۷'	۸۱	۴	۱۰-۲۴-۴۰-۷۱
M4	۲۶° ۵۰,۴۰'	۵۱° ۵۸,۷۵'	۶۹	۲	۱۵-۵۹
M5	۲۵° ۵۹,۷۶'	۵۲° ۰۰,۱۳'	۳۳	۱	۲۱
M7	۲۷° ۱۱,۹۰'	۵۱° ۱۹,۶۴'	۷۶	۱	۵۶



شکل ۲- سری زمانی مؤلفه U سرعت و طیف بسامدی آن با فرکانس قطع ۰/۰۱ و ۰/۰۰۰۹ در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر

۲۰ دقیقه مؤلفه‌های جزر و مدی روزانه و نیم روزانه و طیف نیمه ماهانه مربوط به تنش باد مشاهده می‌شود (جدول ۲). مقایسه پیک‌ها نشان می‌دهد که جزر و مد نیم روزانه در این منطقه غالب است.

سری زمانی مؤلفه U سرعت در خلیج فارس در مدت سه ماه در ایستگاه مورینگ شماره ۲ در عمق ۱۰ متر ترسیم شده است (شکل ۲). با توجه به شکل سیگنال‌های سری زمانی مؤلفه U سرعت و استخراج طیف از آن و محاسبه پریود پیک‌ها در فاصله زمانی



شکل ۳- سری زمانی مؤلفه V سرعت و طیف بسامدی آن با فرکانس قطع ۰/۰۱ و ۰/۰۰۰۹ در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر

طیف‌های جزر و مدی در مؤلفه U سرعت، قوی‌تر از مؤلفه V سرعت است. بنابراین جهت جریان جزر و مدی در جهت مؤلفه U و در جهت محور خلیج فارس و به صورت شرقی غربی است.

این فیلتر به ترتیب جزر و مد روزانه ۳۳/۳ ساعت و جزر و مد نیمه ماهانه ۱۵/۴ روز را تضعیف می‌کند. به طور متشابه رسم سری زمانی مؤلفه V سرعت و استخراج طیف از آن بیانگر این مطلب است که

جدول ۲- مقیاس زمانی جزر و مد روزانه و نیمه ماهانه با محاسبه فاصله اندازه‌گیری ۲۰ دقیقه

منشأ	دوره زمانی	فرکانس (۱×دقیقه) (هرتز)
پریود جزر و مد نیم روزانه	۱۲/۳۴ ساعت	۰/۰۲۷
پریود جزر و مد نیم روزانه	۱۲/۸۲ ساعت	۰/۰۲۶
پریود جزر و مد روزانه	۲۵/۶۰ ساعت	۰/۰۱۳
پریود جزر و مد روزانه	۲۷/۷۰ ساعت	۰/۰۲۷
پریود جزر و مد نیمه ماهانه	۱۵/۴۳ روز	۰/۰۰۰۹

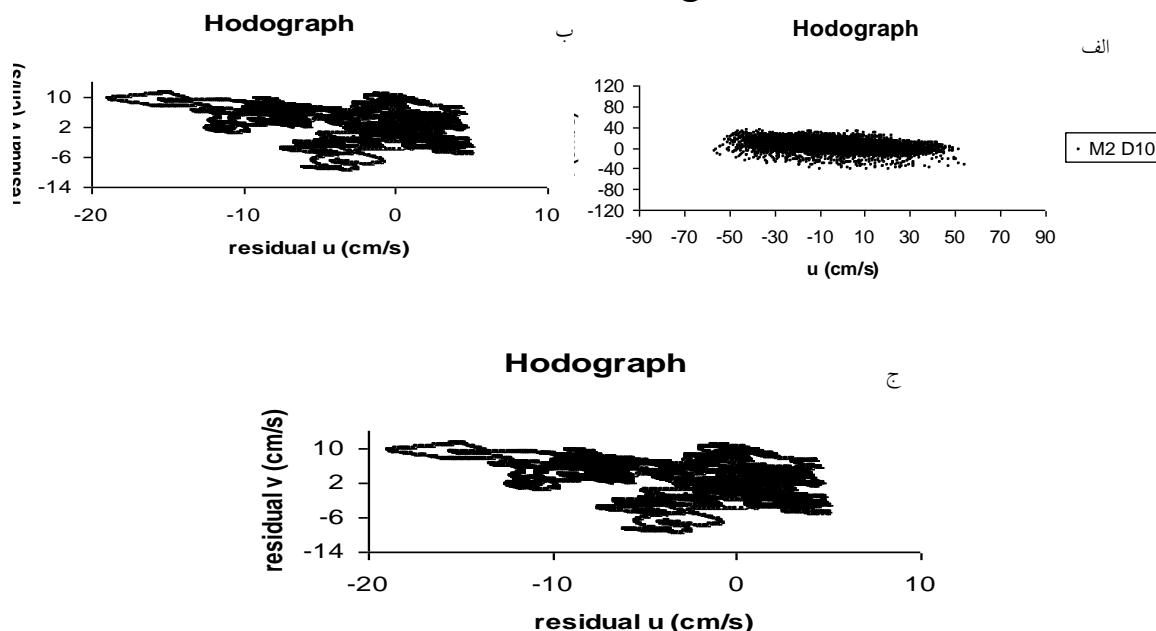
در شکل ۴ نشان می‌دهد که جهت جریان جزر و مدی در جهت مؤلفه U سرعت و جهت که شرقی غربی

هدوگراف مؤلفه‌های سرعت جریان: هدوگراف مؤلفه‌های V و U سرعت در جریان اصلی و باقی مانده



سرعت جریان اصلی حدود ۱۰ سانتی متر بر ثانیه می باشد و با وجود تضعیف جزر و مد، در سرعت جریان باقی مانده وجود جزر و مد مشاهده می شود.

است. سرعت آن در جریان اصلی حدود ۵۰ سانتی متر بر ثانیه (شکل ۴-الف) و در جریان باقی مانده با تضعیف جزر و مد روزانه ۳۳/۳ ساعت (شکل ۴-ب) و جزر و مد نیمه ماهانه ۱۵/۴ روز (شکل ۴-ج) و



شکل ۴- هیدوگراف مؤلفه های سرعت جریان اصلی (الف) و سرعت جریان باقی مانده با فرکانس قطع ۰/۰۱ (ب) و سرعت جریان باقی مانده با فرکانس قطع ۰/۰۰۰۹ (ج) در مورینگ ۲ عمق ۱۰ متر

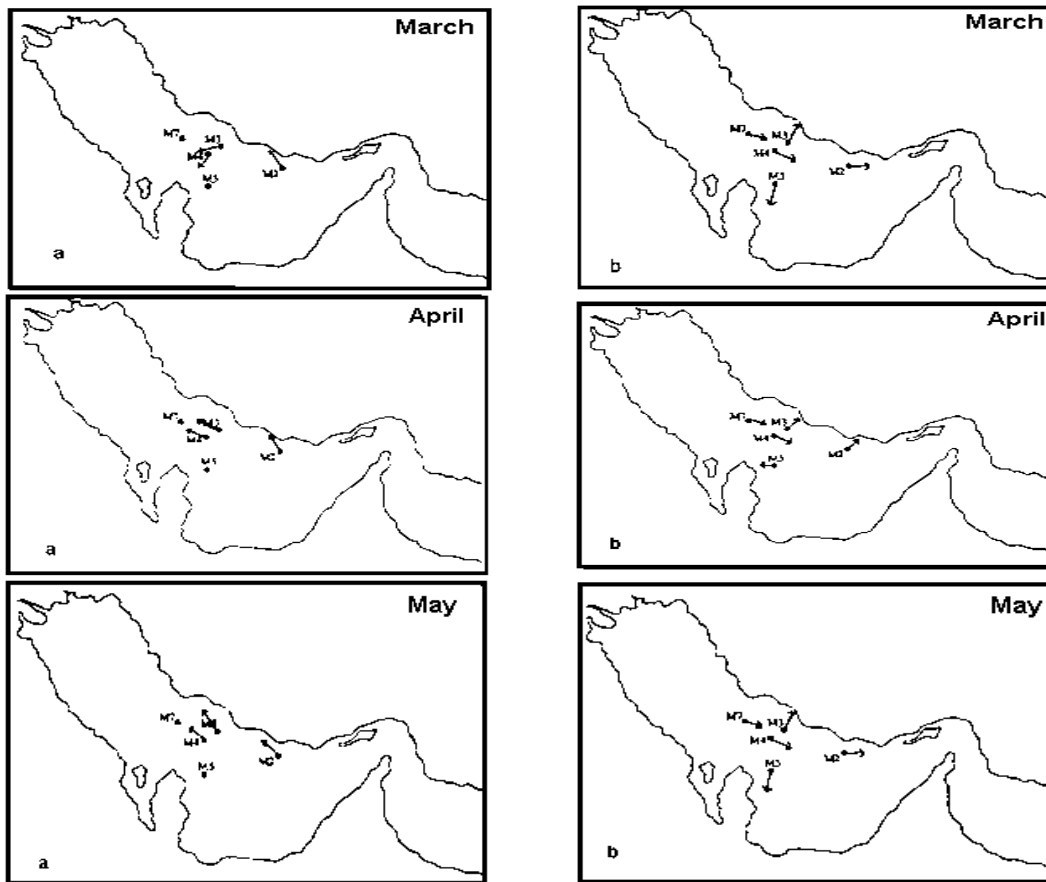
بردارها یک گردش آنتی سیکلونی را در نیمه جنوبی خلیج نشان می دهند. با گذار از زمستان به بهار جهت جریان در سطح در ایستگاه مورینگ شماره ۲ ثابت باقی می ماند و در مورینگ ۳ و ۴ به سمت شمال غربی تغییر می کند و بیانگر این مطلب است که گردش با انتقال از زمستان به بهار تمایل به شکسته شدن دارد و به پیچک های میان مقیاس افقی تجزیه می شود و اختلاط افقی ایجاد می کند که با تحقیقات صدری نسب ۲۰۰۵ مطابقت دارد. جهت جریان باقی مانده در عمق شکل گیری یک جریان را به سمت خارج نشان می دهد که آب را از خلیج فارس به سمت تنگه هرمز هدایت می کند. گردش باروکلینیکی، ناشی از اختلاف چگالی بین

بررسی جهت جریان باقی مانده در سطح و عمق: محاسبه زاویه بین مؤلفه های  $u$  و  $v$  سرعت و ترسیم تقریبی طول بردارها از زمستان تا بهار جهت جریان در سطح و عمق خلیج فارس را نشان می دهد (شکل ۵). جهت جریان باقی مانده سطحی در زمستان در ایستگاه مورینگ شماره ۲ در جهت شمال غربی و در ایستگاه ۳ در جهت غرب و در ایستگاه ۴ در جهت جنوب غربی نشان داده شده است. این جهت ها نشان دهنده یک جریان در سطح به سمت درون خلیج شکل (۵-الف) و یک جریان در عمق به سمت خارج خلیج فارس شکل (۵-ب) می باشند. این



عبدالرحمن (۱۹۹۵) مطابق است.

آب‌های سطح و عمق می‌باشند و با تحقیقات احمد و



شکل ۵- جریان باقی‌مانده در سطح a و در عمق b ایستگاه‌های مورینگ از زمستان تا بهار ۱۹۹۲

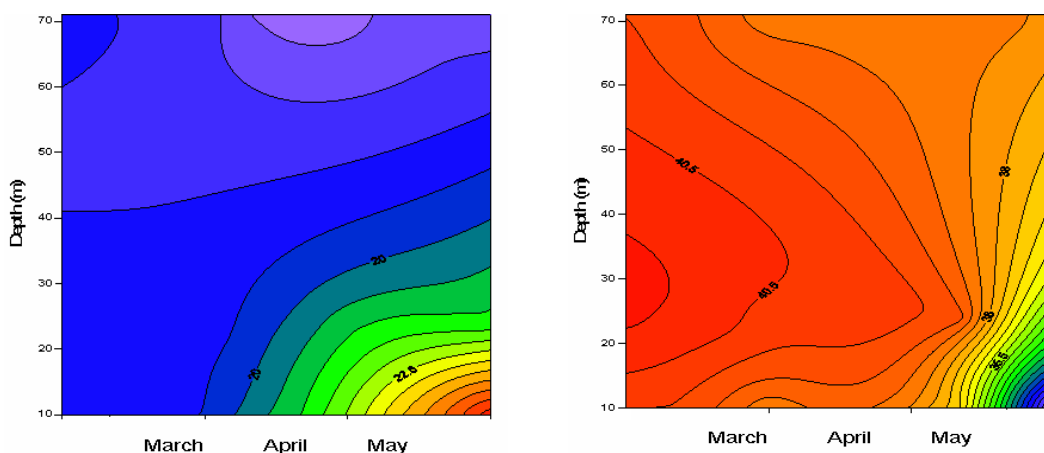
زیاد می‌شوند و به سمت ساحل ایرانی و نزدیک به امارات عربی حرکت می‌کنند و سبب پیدایش یک جبهه شوری تابستانی با کتتور شوری ۳۹ psu در خلیج فارس می‌شود (شکل ۶). شوری سراسر این جبهه ۲ psu تغییر می‌کند. این جبهه نمایانگر یک ناحیه اختلاط بین توده‌های ورودی و خروجی آب است نه فقط یک مرز بین جریان‌هایی که در جهات مختلف حرکت می‌کنند. در زمستان این جبهه در حدود ۲۰۰ کیلومتر به سمت تنگه هرمز عقب‌نشینی می‌کند و به همین علت آب‌های سطحی خلیج فارس در زمستان نسبت به تابستان شورتر هستند (۱۴). مقایسه سری زمانی شوری در شکل‌های ۷ و ۸ نشان می‌دهد که در خلیج فارس آب‌هایی که از طریق

تحلیل تغییرات ساختار دما و شوری و چگالی: خلیج فارس را می‌توان به‌عنوان حوضه تقریباً بسته و محدود به حساب آورد که ورود آب اقیانوس هند فقط از میان تنگه هرمز می‌باشد. شوری سطحی در قسمت‌های میانی خلیج فارس به‌طور متوسط بین ۳۷-۴۰ درصد می‌باشد. میزان شوری به‌شدت تحت تأثیر دمای هوا و میزان تبخیر می‌باشد. رطوبت و بارندگی و آب‌های جاری شده از رودخانه اثر ناچیزی بر تغییرات شوری در خلیج فارس می‌گذارند. بنابراین کاهش شوری می‌تواند مربوط به آب‌های ورودی از اقیانوس هند باشد. توزیع شوری در خلیج فارس از تغییرات فصلی پیروی می‌کند و به‌علت ناشناخته‌ای، آب‌های ورودی از اقیانوس هند در بهار و تابستان

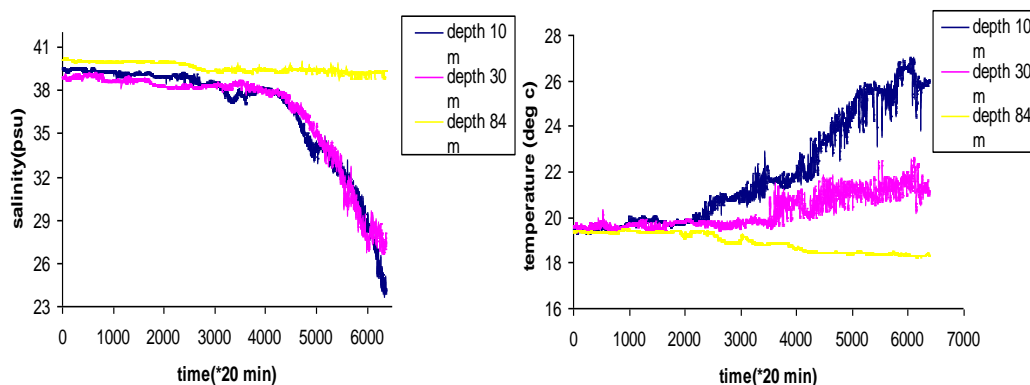


سانتی‌گراد افزایش و شوری  $psu$  ۳۶/۵-۳۷ کاهش می‌یابد. با توجه به تغییرات در مشخصات توده آب در سطح و عمق اختلاف چگالی نیز به علت چینه‌بندی دمایی در آب‌های ورودی، افزایش می‌یابد. در بهار دمای آب چگال در عمق به ۲۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. زیرا آب‌هایی که این آب‌های چگال عمق را تشکیل می‌دهند در زمستان سردتر می‌شوند و چگالی آب خروجی افزایش می‌یابد. کنتورهای دما در شکل ۵ بیان می‌کنند که انرژی خورشیدی یا تشعشعات خورشیدی رسیده به شیب‌های عرضی دمای آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با گرم شدن هوا دمای آب نیز رو به گرم شدن رفته و به بیش از ۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.

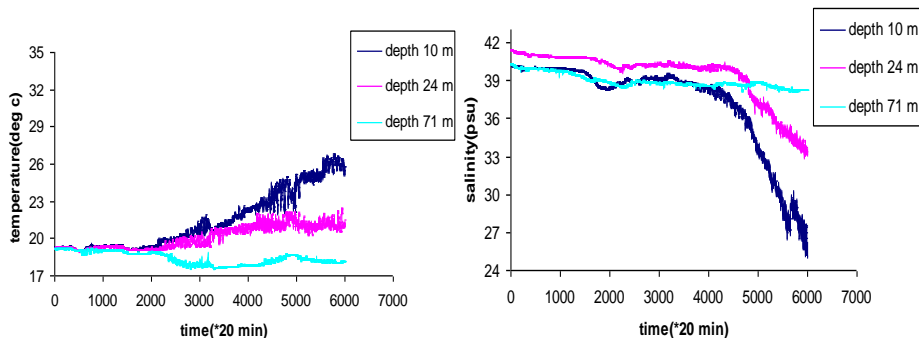
تنگه‌هرمز وارد می‌شوند شوری کمتری داشته و موجب کاهش شوری در قسمت شرقی دریا می‌شوند و این تبادل آب موجب تعدیل و کاهش شوری می‌شود. در نزدیکی تنگه‌هرمز به علت آب‌های ورودی اختلاط آب دیده می‌شود و آب‌های تا عمق ۳۰ متر را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ولی پس از آن مجدداً لایه‌بندی شوری برقرار می‌شود. هم‌زمان با شکل‌گیری لایه ترموکلاین، لایه هالوکلاین نیز شکل می‌گیرد و با کم و زیاد شدن لایه ترموکلاین شیب لایه هالوکلاین تغییر می‌کند. در بهار تغییرات قابل مشاهده‌ای در مشخصات توده آب دیده می‌شود در شکل ۶ در این فصل آب‌های ورودی از تنگه‌هرمز از نظر دمایی چینه‌بندی می‌شوند و دما از ۲۰ به ۲۸ درجه



شکل ۶- نمودار دما و عمق و زمان در ایستگاه مورینگ ۳ عمق ۱۰-۲۴-۷۱ متر از زمستان تا بهار ۱۹۹۲



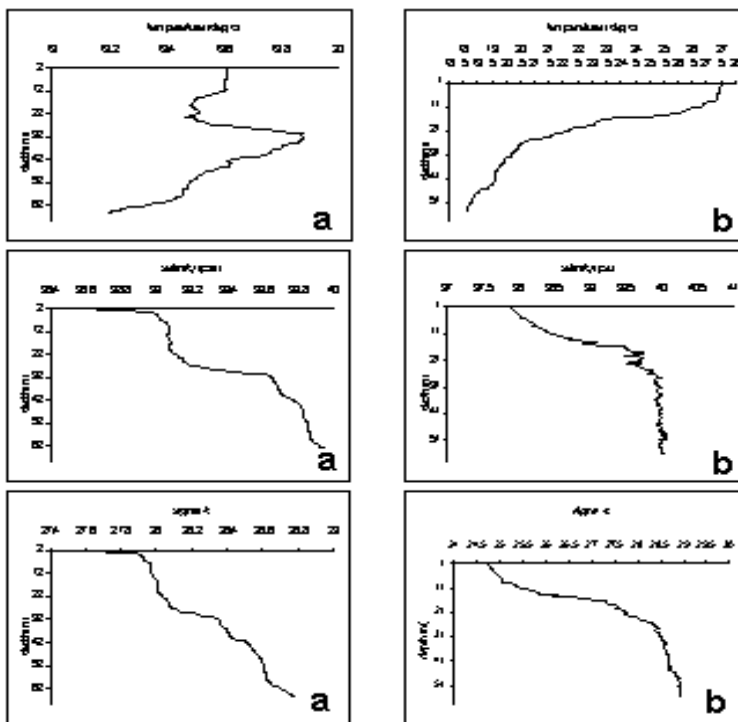
شکل ۷- سری زمانی دما و شوری در ایستگاه مورینگ ۲ عمق ۱۰-۳۰-۸۴ متر از زمستان تا بهار ۱۹۹۲



شکل ۸- سری زمانی دما و شوری در ایستگاه مورینگ ۳ عمق ۱۰-۲۴-۷۱ متر از زمستان تا بهار ۱۹۹۲

عمیق خلیج فارس ترموکلاین تابستانه تشکیل می‌شود که لایه اختلاط سطحی را از آب‌های داخلی جدا می‌کند. در این حالت اختلاف دمای عمق و سطح آب زیاد شده و با سرد شدن هوا دمای آب نیز رو به کاهش نهاده و در فصل زمستان به کمترین میزان خود می‌رسد. شکل ۹ تغییرات دما و شوری و سیگماتی را از داده‌های CTD در منطقه ایستگاه مورینگ ۲ را نشان می‌دهند. دما تا عمق مشخصی در لایه اختلاط ثابت می‌ماند.

در بهار اثر گرمایش محلی آب‌های ورودی گرم، حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد باعث به وجود آمدن یک چینه‌بندی دمایی از سطح تا عمق با اختلاف دمایی به اندازه ۶-۷ درجه سانتی‌گراد می‌شود. دما در سطح حدود ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش و در عمق ۱ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد که این تغییرات با گذار از زمستان به بهار اتفاق می‌افتد. افزایش دمای آب سطحی در اواخر بهار نشان می‌دهد که در مناطق





شکل ۹- پروفایل دما و شوری و سیگماتی داده‌های CTD در مورینگ ۲ در زمستان (a) و بهار (b) در LAG1 ۱۹۹۲

آب موجب تعدیل و کاهش شوری می‌شود. در نزدیکی تنگه هرمز اختلاط آب به‌علت ورود آب‌های ورودی از تنگه هرمز است و آب‌های تا عمق ۳۰ متر را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ولی پس از آن مجدداً لایه‌بندی شوری برقرار می‌شود و هر چه ایستگاه‌ها به تنگه‌هرمز نزدیک‌تر باشند، دامنه تغییرات شوری بیشتر است و آب شوری کمتری دارد. شوری با عمق افزایش می‌یابد. در بهار به‌علت آب‌های ورودی از اقیانوس هند به تنگه‌هرمز شوری حدود ۱۴ psu کاهش می‌یابد. چگالی نیز تابعی از شوری بوده و از روند تغییرات شوری پیروی می‌کند و با افزایش عمق در لایه‌های زیرین افزایش می‌یابد. تغییرات دمایی در سطح و در عمق‌های ۱۰، ۱۵، ۲۱، ۲۴ و ۳۰ متر در تمام ایستگاه‌های مورینگ از زمستان تا بهار روند رو به افزایشی داشته است. در اواخر زمستان دما حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده و تقریباً ثابت است و با تابش خورشید در ماه‌های گرم، دما افزایش می‌یابد و در بهار افزایشی حدود ۸ درجه سانتی‌گراد داشته است و در عمق‌های پایین‌تر ۵۶، ۵۹، ۷۱ و ۸۴ متر از زمستان تا بهار ۱ درجه سانتی‌گراد کاهش دما دیده می‌شود. با افزایش عمق، اثر تابش خورشید کمتر شده و آب سردتر می‌شود و به ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در فصل بهار افزایش دما باعث تشکیل طبقه‌بندی لایه‌های دمایی یا گرادیان دما می‌شود. از عمق ۳۰ متر به بعد تأثیر لایه‌های سطحی کم شده و از روند تغییرات دمایی سطح تبعیت نمی‌کند، بلکه توده آبی جدیدی تشکیل می‌شود و آبی که از تنگه‌هرمز به سطح خلیج فارس وارد می‌شود بر میزان دمای آب‌های عمیق اثر نمی‌گذارد. دما تا عمق مشخصی تغییر می‌کند و از آن به بعد با افزایش عمق چون میزان جذب نور کمتر می‌شود و میزان پراکندگی کدورت آب بیشتر می‌شود، دما کاهش می‌یابد.

این لایه به‌طور میانگین بین عمق ۱۵ تا ۲۰ متر عمق دارد و در بهار و تابستان گرما را جذب می‌کند و یک حالت همگنی و پایداری شدید در ستون عمودی آب به‌وجود می‌آورد. به‌علت حرکت سریع آب‌ها اختلاط ایجاد می‌شود. در عمق پایین‌تر به‌دلیل کاهش میزان جذب نور و کدورت آب و پراکندگی بیشتر، دما کاهش می‌یابد در این لایه‌گذار سریع دما اتفاق می‌افتد این لایه ترموکلاین نامیده می‌شود. در این لایه آب کمتر تحت تأثیر باد می‌باشد و کاهش درجه حرارت تا بستر ادامه دارد. بیشترین تغییرات شوری در مناطقی که شوری به سرعت با عمق افزایش می‌یابد در لایه هالوکلاین دیده می‌شود. تغییرات چگالی نیز تابعی از شوری بوده و با افزایش عمق چگالی نیز افزایش می‌یابد.

### نتیجه‌گیری

از آنجایی که خلیج فارس یک دریای نیمه بسته با انواع فرآیندهای هیدرودینامیکی از بزرگ تا کوچک مقیاس می‌باشد و با توجه به جریان‌هایی که به داخل آب‌های خلیج فارس نفوذ می‌کنند، تغییراتی در خواص جرم آب رخ می‌دهد. در زمستان در ساختار خلیج یک حالت همگنی و پایداری شدید دیده می‌شود و شوری به بیشترین مقدار خود می‌رسد. تغییرات شوری نشان می‌دهند که در زمستان آب شورترین مقدار خود را دارد و یک محرک قوی برای گردش باروکلینیکی است شوری در زمستان ثابت بوده و حدود ۴۰ psu می‌باشد و از زمستان به بهار ۱۲ psu تا ۱۵ کاهش یافته است. بنابراین کاهش شوری می‌تواند مربوط به آب‌های ورودی از اقیانوس هند باشد. در خلیج فارس آب‌هایی که از طریق تنگه‌هرمز وارد می‌شوند شوری کمتری داشته و موجب کاهش شوری در قسمت شرقی دریا می‌شوند و این تبادل



گذار از زمستان به بهار تمایل به شکسته شدن دارد. در عمق نیز موجب می شود تا آب از خلیج فارس به سمت تنگه هرمز هدایت شود. با داشتن ابزار اندازه گیری بهتر و با دقت اندازه گیری در مکان های مختلف با فاصله زمانی اندازه گیری کمتر، آنالیز بهتری صورت می گیرد. همچنین با داشتن داده های سری زمانی باد سطحی می توان همبستگی بین جریان ناشی از باد و سرعت باد را تحلیل کرده و نقش باد را در جریان های باقی مانده تعیین کرد.

افزایش دمای آب های سطحی در اواخر بهار در مناطق عمیق خلیج فارس ترموکلاین تابستانه را نشان می دهد که با اختلاف زیاد دمای عمق و سطح آب همراه است. هم زمان با شکل گیری چینه بندی دمایی و شروع ترموکلاین، جریان های باقی مانده با سرعتی حدود ۱۰ سانتی متر بر ثانیه یک جریان را در سطح به سمت داخل و یک جریان را در عمق به سمت خارج نشان می دهند و یک گردش آنتی سیکلونی را در نیمه جنوبی خلیج به وجود می آورند. گردش آنتی سیکلونی در اواخر زمستان در آب های سطحی شکل گرفته و با

### منابع

1. Bidokhti, A.A. and Ezam, M., 2008. The structure of the Persian Gulf outflow subjected to density variations. *Ocean Sci. Discuss.* 5, 135-161.
2. Al-Hajri K.R., 1990. The Circulation of the (Persian) Gulf: A model study of its dynamics, Ph.D. dissertation, The Catholic University of America, 1990.
3. Australian Bureau of Statistics. 2005. An Introductory Course on Time Series Analysis—Electronic Delivery. <http://www.abs.gov.au/websitedbs/1346.0.55.001>.
4. Emery W.R. Thomson, 1998. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Elsevier Science Pub Co. Second and Revised Edition.
5. Hunter J.R. 1983. Aspects of the dynamics of the residual circulation of the Persian Gulf. In: *Coastal oceanography*, M.G. Gade, A. Edward and H. Svendsen, editors. Plenum Press, New York, pp. 31-12.
6. Johns, W.A., Jacobs, J., Kindle, S. and Murray, M.C., 2001. Arabian Marginal Seas and Gulfs. Report of a Workshop Held at Stennis Space Center, Mississippi. May 11-13.
7. Kaempf, J., 2006. Technical Report Adelaide Coastal Waters Study. South Australian Environment Protection Authority, Technical Report (7).
8. Kampf, J.M. Sadrinasab. 2006. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Sci.* 2, 27-41.
9. Norton, J.C., Moore, F., Schwing, D., Husby, K., Baltz, H., Parker-Hall, D. and VenTresca, D., Fernandez. 1999. Continuous High Resolution Shore Station Temperature and Salinity Data from Granite canyon, California. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-285.
10. Reynolds, R.M. 1993. Overview of physical oceanographic measurement taken during the Mt. Mitchell Cruise to the ROPME Sea Area, March 31.
11. Saad. M., Abdelrahman, and Ahmad, F., 1995. A note on the residual current in the Persian Gulf. *Continental Shelf Research* 15(8), 1015-1022.
12. Sadrinasab Kampf, J.M., 2005. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Sci.* 2, 129-164.
13. Stephen. A., Swift, and Bower, A.S., 2000. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf. Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543.
14. Swift, S.A. and Bower, A.S., 2003. Formation and circulation of dense water in the Persian/Arabian Gulf, *J. Geophys. Res.*, 108 (C1), surface drift in the Arabian Gulf—Application to the Gulf oil spill, 3004, doi: 10.1029/2002JC001360.
15. Sugden W., 1963. The hydrology of the Persian Gulf and its significance in respect to evaporite deposition. *American Journal of Science* 26i, 741-755.



16. Edward J. Wegman. 1998. Time Sries Aalysis: 16-Theory, Data Analysis and Computation. Center for Computational Statistics George Mason University Fairfax, VA 22030.



## Variation of seasonal current, temperature and salinity in the Persian Gulf

\*A. Ghazi<sup>1</sup>, A.A. Bidokhti<sup>2</sup>, M. Azam<sup>3</sup> and M. Torabi Azad<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.S Graduated in Physical Oceanography, Islamic Azad University, Sciences and Researches Branch,

<sup>2</sup>Geophysics Institute, Tehran University, <sup>3</sup>Islamic Azad University, Sciences and Researches Branch,

<sup>4</sup>Dept. of Physical Oceanography, Islamic Azad University, North Tehran Branch

### Abstract

The present study investigates residual currents in the Persian Gulf using field data measurement of Mt. Mitchell 1992. For this order temperature, salinity, density and direct velocity of currentmeter were obtained in southern Persian Gulf. Velocity spectrum time scale and tidal currents were obtained too. The residual currents during March-May indicate a surface flow into and a deep flow out of the Gulf through the Strait of Hormuz. Establishment of the Gulf-wide circulation coincides with establishment of thermal stratification and thermocline and strengthening of the baroclinic exchange circulation through the Persian Gulf. The velocity of the surface residual is about 10 cm/s and the tidal current is 50 cm/s.

**Keywords:** Thermocline; Residual current; Tidal current; Time series; Circulation

\* Corresponding Author; Email: eramghazi@yahoo.com

