

# تغییرات ماهانه میانگین تراز سطح آب در خلیج فارس، دریای عمان و شمال دریای عرب در ۱۹۹۴

سیدعلی آزرمس<sup>۱\*</sup>، سیامک شفیعی<sup>۲</sup> و رجبعلی کامیابی گل<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانش‌آموخته فیزیک دریا، گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار گروه ریاضی محض، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

(دریافت: ۸۵/۱۱/۲۴، پذیرش نهایی: ۸۶/۱۰/۲۵)

## چکیده

در این مقاله نحوه تغییرات میانگین ماهانه و فصلی تراز سطح آب در خلیج فارس، دریای عمان و شمال دریای عرب در طی سال ۱۹۹۴ مورد تحقیق و بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور ۳۶۵ تصویر روزانه که از ارتفاع‌سنجی‌های روزبه‌روز که با ماهواره‌های تاپکس/پوزیدون و جیسون-۱ در این منطقه، تهیه شده و مورد پردازش قرار گرفته است. بیشترین تغییرات مشاهده شده در منطقه در طول سال ۱۹۹۴ برابر  $5/5\text{ cm} +$  و  $5/5\text{ cm} -$  است که هر دو مربوط به جنوب شرقی قطر است. بیشترین تغییر تراز آب به ترتیب در ماه‌های اکتبر و ژانویه و کمترین تغییر تراز آب در ماه‌های ژوئن و اوت مشاهده شده است. ولیکن مقدار میانگین سالانه این تغییرات در طی سال ۱۹۹۴ میلادی صفر است. به علاوه، در اغلب سواحل ایران و به‌خصوص در تنگه هرمز میانگین ماهانه تغییرات تراز آب همواره کمتر از ۱۵ cm و فقط در حوالی دهانه اروندرود مقدار قدر مطلق این تغییرات تا حدود ۲۰-۳۰ cm نیز رسیده است.

واژه‌های کلیدی: خلیج فارس، دریای عمان، دریای عرب، ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، تغییرات تراز سطح آب

## Sea level mean monthly variations in the Persian Gulf, Oman Sea and the North of the Arabian Sea, in 1994

Azarmsa, A<sup>1.</sup>, Shafiee, S<sup>2.</sup> and Kamyabi Gol, R<sup>3.</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor, Department of Marine Physics, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Graduate student, Department of Marine Physics, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of Pure Mathematics, School of Mathematical Sciences, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran

(Received: 13 Feb 2007, Accepted: 15 Jan 2008)

## Abstract

Sea level variations in the Persian Gulf, the Oman Sea and the north of the Arabian Sea have been investigated. For this purpose, 365 daily satellite images provided by the TOPEX/Poseidon (T/P) and Jason-1 satellites were processed. Programming in Matlab software environment was also carried out for some parts of image processing.

The results of this research reveal that water level fluctuations are effectively observed

only in the southern parts of the Persian Gulf; the southern region of Bahrain and Qatar, sometimes in the central and northern parts of the Persian Gulf; along the Bushehr Coasts, near the Arvandrood and Karoon rivers mouths in Abadan, and in the central parts of the northern Arabian Sea including; the eastern part of Muscat and Soor and also near the Chabahar coast of the Oman Sea. In other regions, water level fluctuations were very small and approximately about the average water level in the oceans in 1994.

These regions are important not only from the viewpoint of water level fluctuations, but also for other oceanographic and climatic parameters. Therefore, the characteristics of the water level fluctuations in the Persian Gulf, Oman Sea and the north of the Arabian Sea can be studied better by classifying and breaking these regions into the following main areas:

1. Bushehr coast to Arvandrood river mouth:

Southward currents resulting from northwesterly and westerly winds cause the water level to decrease on the Bushehr coast and thus to increase in the central region of the Persian Gulf.

2. Arvandrood river mouth and Kuwait and Saudi Arabia coasts:

Obtained results for this region indicate that water level in this area is relatively low and freshwater river runoff has a small impact on it, too.

3. Southern coasts of Bahrain and Qatar:

The large evaporation over the Persian Gulf and the shallowness of the water depth results in a high saline water (to a maximum value of about 50 psu) in this area. The dense water formed leaves this area through the deep part of the Strait of Hormuz and results in a decreasing water level in January, April, July, September and November. In February, March, May and October, thermal mixing causes density currents initiated from this area to weaken, a situation which leads to an increase in the water level along the southern coasts of Bahrain and Qatar during these months.

4. Central area of the Persian Gulf:

This region is separated from the North by a temperature and salinity front. Inflow from the Hormuz Strait in conjunction with down welling and areas of intense evaporation ( $> 40$ psu) create a cyclonic gyre in the center of the Persian Gulf. This gyre causes the water level to increase in this area in January, April, July, September and November.

5. The north of the Arabian Sea:

The northward flowing Somali current and the Oman coastal current are the most important and powerful currents in the Arabian Sea. The water level near  $23^{\circ}$ N is usually lower than the mean water level in the ocean.

6. Southern coasts of the Oman Sea:

The outflow from the Persian Gulf mainly goes toward this area. The water level has a weak fluctuation and is usually around zero in this area.

7. The line connecting Muscat to Chabahar and eastern coast of Chabahar:

The upwelling usually occurs in this area and the water level is usually greater than the mean water level in the ocean.

8. Rasal Hadd Area:

At the easternmost point of Oman (Rasal Hadd), interaction between the northward flowing Somali Current and Oman Coastal Current leads to forming the Rasal Hadd jet (also termed the Rasal Hadd front).

Moreover, a study of water level variations in 1994 results in distinguishing 3 different temporal patterns as; January pattern, October pattern and Calm pattern.

The results reveal that both of the maximum and minimum water levels observed in the south-east of Qatar were  $+57.5$  cm and  $-47.5$  cm, respectively. Water level

fluctuations were intensified in October and January and were weakened in June and August. Moreover, the monthly average of the water level fluctuations were usually less than 15 cm near the Iranian coast, except near the mouth of Arvandrood where the amplitude of fluctuations sometimes even reached about 20~30 cm. However, the yearly average of these fluctuations was about zero in 1994.

**Key words:** Sea level variations, Satellite, TOPEX/Poseidon, Persian Gulf, Oman Sea

## ۱ مقدمه

و اقیانوس‌ها می‌تواند بشر را از بروز چنین پدیده‌هایی باخبر سازد تا آمادگی مقابله با آنها را به دست آورد و خود را از خطرات احتمالی نجات بخشد. در سال‌های اخیر دانشمندان در سراسر دنیا توجه خاصی به این امر مبذول داشته‌اند و در این راه از وسایل گوناگونی برای کنترل و دیده‌بانی مداوم و پیوسته سطح آب‌های اقیانوس‌ها استفاده کرده‌اند و هر روز نیز بر دقت این وسایل افزوده‌اند تا مطالعات خود را کامل‌تر و دقیق‌تر سازند.

این پیشرفت‌ها موجب شده تا دید محدود ما از اقیانوس در طی سی سال گذشته بسیار واضح‌تر شود. در گذشته فقط داده‌های اندک و متفرق در دسترس بودند. اکنون ماهواره‌ها با پرواز بر سطح کامل سیاره در طی فقط چند روز و با دقت بی‌نظیر، ارتفاع موج، دمای سطح آب، رنگ اقیانوس، سرعت باد و جهت آن را اندازه می‌گیرند و توپوگرافی سطح آب را برداشت می‌کنند (منارد و همکاران، ۲۰۰۰).

خلیج فارس و دریای عمان که در جنوب کشور ایران قرار دارند، به لحاظ گوناگون از جمله اقتصادی و سیاسی برای ما حائز اهمیت‌اند. ولی متأسفانه، اطلاعات ما در مورد شرایط فیزیکی این منابع عظیم و حیاتی بسیار کم و ناچیز است. لذا در این مقاله سعی شده تا با تحقیق در مورد میزان تغییرات تراز سطح آب و بررسی چگونگی آن تغییرات در کل خلیج فارس، دریای عمان و شمال دریای عرب در دوره‌ای یک‌ساله تا حدی بر اطلاعات موجود بیافزاییم و گامی در جهت پیشرفت و ترقی در این زمینه برداریم.

زمین سیاره آب است. تقریباً ۷۱ درصد از سطح زمین با آب اقیانوس‌ها پوشیده شده است. اقیانوس انرژی عظیم خورشیدی را که موجب تقویت جریان‌های جوی، پدایش و تغییر آب و هوا می‌شود در خود ذخیره و سپس آزاد می‌کند. برخلاف تغییرات شدید دمای روزانه در صحراها و بیابان‌ها، اقیانوس‌ها و دریاها و در مقیاس کوچک‌تر دریاچه‌ها و حتی رودها موجب تعدیل و کنترل میزان تغییرات دمای روزانه می‌شوند. بدین ترتیب، می‌توان به اهمیت نقش اقیانوس در تغییرات آب و هوا پی برد (کرباسی، ۱۳۷۷).

تراز آب در نقاط متفاوت دریاها و اقیانوس‌ها متغیر و دارای پستی و بلندی‌هایی است. این تغییرات به دلیل عوامل گوناگونی نظیر جزر و مد، وجود جریان‌های دریایی در منطقه، تغییرات جاذبه زمین، باد و یا تغییرات در فشار هوا است. همچنین، سطح دریا شواهدی از گرمای محلی ایجاد شده توسط تابش خورشیدی، مانند افزایش تراز آب در اقیانوس‌ها بر اثر ذوب شدن کوه‌های یخ یا یخچال‌ها، را فراهم می‌کند. تغییرات سطح دریا ناشی از عوامل متفاوتی است که بعضی از آن‌ها نظیر ال نینو و لانینا می‌توانند اثرات مهمی بر آب و هوای کره زمین و شرایط زیست‌محیطی آن بگذارند و سبب بروز خشکسالی‌ها، توفان‌های شدید، باران‌های سیل‌آسا و یا طغیان رودخانه‌ها در مناطق گوناگون شوند. این پدیده‌ها به نوبه خود زندگی مردم را به شدت تهدید می‌کنند. توفان کاترینا نمونه‌ای از این پدیده‌ها و تأثیرات مخرب آنها بر حیات و محیط زیست انسان‌ها است. لذا دیده‌بانی سطح آب دریاها

روشی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته، استخراج و پردازش داده‌های ارتفاع‌سنجی زمان-حقیقی است که در ۱۹۹۴ با ماهواره تاپکس / پوزیدون از این منطقه صورت گرفته و به ثبت رسیده است. بخشی از پردازش‌های روی این داده‌ها با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب-۷ (Mathlab-7) به انجام رسیده است.

## ۲ مواد و روش‌ها

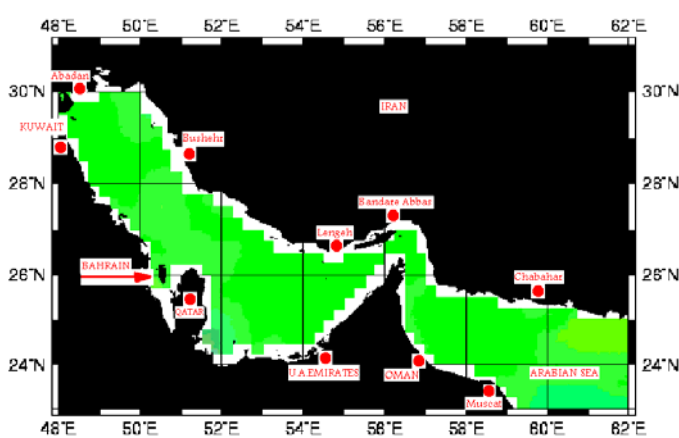
### ۱-۲ منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی شمال دریای عرب، دریای عمان و خلیج فارس است که نواحی متفاوت آن در شکل ۱ معرفی شده‌اند.

خلیج فارس با مساحتی حدود ۲۳۵۰۰۰ کیلومتر مربع (حدود ۹۰۰۰۰ مایل مربع)، بین کشورهای ایران، عراق، کویت، شبه جزیره عربستان، بحرین، قطر و امارات متحد عربی قرار دارد. طول متوسط این خلیج از دهانه اروندرود تا تنگه هرمز که آن را به دریای عمان مربوط می‌سازد، حدود ۹۷۰ کیلومتر (حدود ۶۰۰ مایل) است.

خلیج فارس، مانند دریای مدیترانه دریایی تبخیر شونده است. این خلیج با صحراهای کویری وسیعی محاصره شده است و در مسیر بادهای خشک نیز قرار دارد. در نتیجه، آب غلیظی با درجه شوری بیشتر از

۴۱PSU در مناطق کم‌عمق این دریا شکل می‌گیرد و از راه تنگه هرمز به دریای عمان و دریای عرب وارد می‌شود. خلیج فارس با میانگین عمقی حدود ۲۵ متر و حداکثر عمق یک صد متر، دریای کم‌عمقی در نزدیکی تنگه هرمز است. این خلیج از راه تنگه هرمز که تنگه‌ای است عریض و عمیق با دریای عمان ارتباط دارد و برخلاف دریای مدیترانه و دریای سرخ هیچ‌گونه مانعی باعث محدودیت در تبادل آب آن با دریاهای مجاور نمی‌شود. در نتیجه، همواره امکان تبادل آب بدون هرگونه محدودیتی بین خلیج فارس و دریای عمان وجود دارد. یکی از مهم‌ترین موارد گردش آب در خلیج فارس ناشی از آب جریان یافته با شوری نسبتاً کمتر (۳۷-۳۶ PSU) از طرف دریای عمان در قسمت شرقی در طول سواحل ایران است که جانشین آب‌های غلیظ با شوری زیاد (برای نمونه ۴۱-۴۰ PSU) می‌شود و از مناطق وسیع کم‌عمق سواحل کشورهای عربی حاشیه جنوبی خلیج به سمت تنگه هرمز و دریای عمان در حال جریان است، (جان و همکاران، ۱۹۹۰). مناطق مجاور بحرین و قطر بسیار کم‌عمق‌اند و اغلب عمقی در حد چند متر دارند. در این مناطق است که درجه شوری آب می‌تواند تا حد ۵۰PSU نیز افزایش یابد (جان و همکاران، ۱۹۹۰).



شکل ۱. منطقه مطالعاتی.

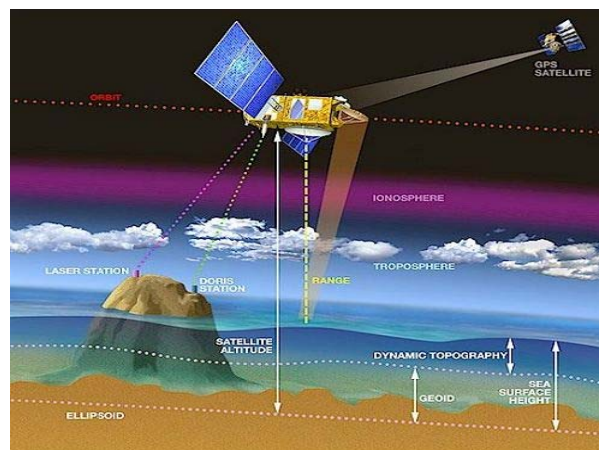
است که در تاریخ ۱۰ اوت ۱۹۹۲ به ارتفاع ۱۳۳۵ کیلومتری سطح زمین پرتاب شد. تناوب گردش این ماهواره در مدارش ۹/۹۷ روز و زاویه انحراف مدار آن از استوا حدود ۶۶ درجه است. این ماهواره پس از ۱۲۷ دور، سطح جهان را پوشش می‌دهد. لذا، فاصله هر دو مدار آن در استوا ۳۰۰ کیلومتر است. این ماهواره که حاصل اقدام مشترک سازمان ناسا (NASA)، National Aeronautics and Space Administration و مرکز ملی فضایی اتود فرانسه است دو ارتفاعسنج جداگانه دارد. این ماهواره، هنگام مشاهده تغییرات سطح آب در مقیاس متوسط (meso scale) و در اجزای متحرک توپوگرافی سطح دریا، عالی‌ترین تفکیک زمانی را به اقیانوس‌شناسان ارائه می‌دهد (جولی، ۲۰۰۰).

با استفاده از فناوری قدرتمند ارتفاعسنجی راداری، چشمان تیزبین این ماهواره جزئی‌ترین تغییرات در سطح دریا را آشکار کرد و امکان اندازه‌گیری‌های سریع، همزمان، گسترده و منظم توپوگرافی سطح دریا را در سطح جهان فراهم ساخت (منارد و همکاران، ۲۰۰۰).

به خاطر وضعیت طبیعی باز تنگه هرمز (عرض ۷۰ کیلومتر، عمق یک صد متر و بدون گرفتگی)، خلیج فارس و دریای عمان به‌طور هماهنگ به نیروهای باد واکنش نشان می‌دهند. در نتیجه به خاطر بادهای متفاوت می‌توان انتظار تغییرات شدیدی در سطح آب خلیج را داشت. این امر با جریانات ورودی و خروجی تنگه مرتبط است. این تغییرات به خصوص در انتهای غربی خلیج و در حوالی اروندرود بسیار قوی‌اند. میزان این تغییرات باید با ارتفاعسنجی مورد بررسی قرار گیرد. نیروهای جزر و مدی در خلیج فارس بسیار قوی‌اند، به‌خصوص در مجاورت دهانه اروندرود، که جزر و مد می‌تواند تغییرات بیشتر از ۱/۵ متر داشته باشد (کانتا و همکاران، ۱۹۹۴). در نتیجه، حذف دقیق تغییرات جزر و مدی از اطلاعات سطحی تراز آب (SSH) برای درک و شناخت گردش جریانات شبه جزر و مدی بسیار ضروری است.

## ۲-۲ ماهواره تاپکس/پوزیدون

اولین ماهواره اختصاصی برای اجرای عملیات ارتفاعسنجی ماهواره تاپکس / پوزیدون (شکل ۲)



شکل ۲. ارتفاعسنجی ماهواره‌ای.

موضوع مأموریت ماهواره تاپکس/پوزیدون این است که تغییرات ارتفاع سطح دریا را با دقت چند سانتی‌متر برای مقیاس‌های زمانی یک ماه یا بیشتر و مقیاس‌های مکانی (spatial) از صدها تا هزاران کیلومتر اندازه بگیرد. برپایه مقایسه با اطلاعات موج‌نگارها و مشاهدات محلی (in situ) از ارتفاع دینامیکی، روشن شده است که متوسط ماهانه سطح دریا که در مقیاس‌های مکانی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر میانگین‌گیری شده است را می‌توان با ماهواره تاپکس/پوزیدون با دقت ۲ سانتی‌متر تعیین کرد (چنی و همکاران، ۱۹۹۴).

### ۳-۲ پردازش داده‌ها

تصاویر ماهواره‌ای ابتدا مورد پردازش‌های اولیه قرار می‌گیرد و تصحیحات جوئی و ژئوفیزیکی شامل اصلاح تأخیرات احتمالی ایجاد شده حین عبور سیگنال‌های ارسالی از ماهواره به زمین و برعکس به صورت اصلاح تأخیر راه گشت‌سپهر (تروپوسفر) خشک، تأخیر راه گشت‌سپهر مرطوب و تأخیر راه گشت‌سپهر یون‌سپهر (یونوسفر)، انحراف الکترومغناطیسی، و تصحیح بارومتر معکوس ساکن به اطلاعات ارتفاع‌سنجی اعمال شده است. سپس، خطای مداری و تأثیرات جزر و مد بر اطلاعات ارتفاع‌سنجی حذف شده‌اند. برای مورد اخیر از مدل جزر و مدی گرنوبل ۱. ۲. ۹۵ که مدل عددی جهانی برای تحلیل دینامیکی جزر و مد و پیش‌بینی جزر و مدهای دارای دوره تناوب طولانی است، استفاده شده است.

### ۴-۲ تعداد تصویرها و داده‌ها

برای اجرای تحقیق ۳۶۵ تصویر به صورت روز به روز مربوط به سال ۱۹۹۴ مورد استفاده و پردازش قرار گرفته است. هر یک از این تصویرها شامل ۴۲۱ نقطه نمونه‌برداری شده، ماهواره تاپکس/پوزیدون هستند. بنابراین حجم اطلاعات پایه برابر است با:

یک سال اطلاعات روزانه در منطقه مطالعاتی روی شبکه ۴۲۱ نقطه‌ای  
تعداد داده‌ها:  $N = 365 \times 421 = 153665$

### ۵-۲ سطح مینا

میانگین درازمدت تراز آب از میانگین‌گیری کل اطلاعات ثبت شده با ماهواره تاپکس/پوزیدون در طی دوره زمانی ۱ ژانویه ۱۹۹۳ تا ۱ ژانویه ۱۹۹۸ (اولین ۵ سال کامل مأموریت تاپکس/پوزیدون) محاسبه شد و درحکم سطح مینا و مرجع برای داده‌های ارتفاع‌سنجی و نیز تعیین میزان تغییرات روزانه سطح آب در نقاط گوناگون منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت.

### ۶-۲ میانگین ماهانه

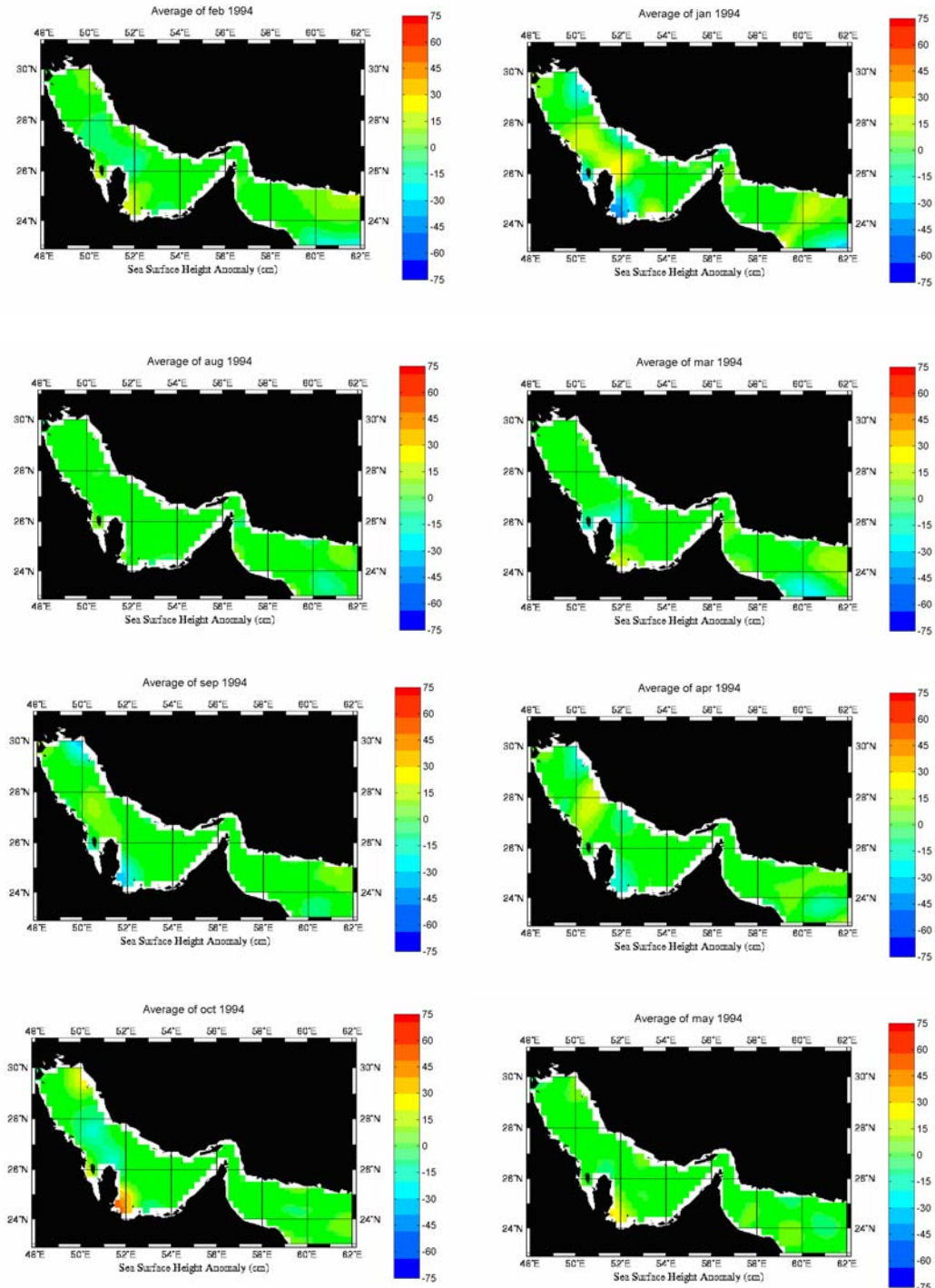
تهیه نقشه‌هایی که مبین میانگین‌های ماهانه تراز آب در منطقه مورد بررسی‌اند در محیط نرم‌افزار متلب-۷ (Mathlab-7) تهیه و اجرا شد. عمل میانگین‌گیری برای تمام پیکسل‌های تصاویر روزانه در مدت یک ماه صورت گرفته و در نهایت میانگین‌های عددی حاصل برای پیکسل‌ها در محیط نرم‌افزار متلب بار دیگر به یک طیف رنگی تبدیل شده است. نتایج به صورت نقشه‌های رنگی به همراه کالر بارهای (color bars) مربوطه ارائه شد. به‌طور مشابه، با میانگین‌گیری از نتایج ماهانه، نقشه میانگین‌های فصلی و سالانه میزان تغییرات تراز آب در منطقه خلیج فارس و دریای عمان برای سال ۱۹۹۴ تهیه و ارائه شدند.

### ۳ نتایج

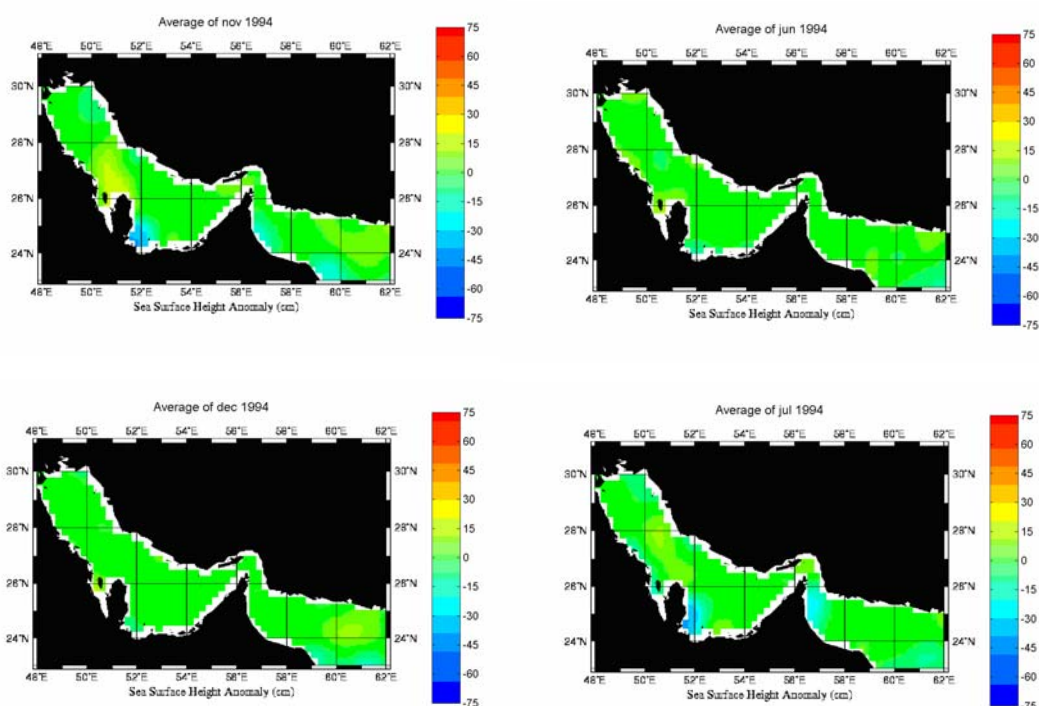
۱-۳ میانگین‌های ماهانه تغییرات تراز آب در سال ۱۹۹۴  
همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، به‌طور متوسط در ماه ژانویه میزان تغییرات تراز آب در سواحل بوشهر حدود ۲۰ cm، در جنوب بحرین و در حوالی منطقه

منطقه حد فاصل مسقط و چابهار در ناحیه شمالی دریای عرب و نیز در ناحیه شمالی قطر و بحرین حدود ۲۰~۳۰ cm بیشتر از سطح مبنا است.

جغرافیایی با طول جغرافیایی ۶۲ درجه شرقی و ۲۳ درجه شمالی در دریای عرب حدود ۲۸~۳۰ cm و در ناحیه جنوب شرقی قطر حدود ۴۵ cm کمتر از سطح مبنا و در



شکل ۳. میانگین تغییرات تراز آب در ماه‌های متفاوت سال ۱۹۹۴.



ادامه شکل ۳.

می‌یابد. این امر احتمالاً نشان‌دهنده و همخوان با گردش عمومی آب در خلیج فارس است (سویفت و باور، ۲۰۰۳). در بقیه مناطق عمدتاً میزان تغییرات تراز آب کمتر از ۷ cm است.

در ماه فوریه به‌طور متوسط در ناحیه شرقی مسقط و سور در دریای عرب تراز آب حدود ۱۷ cm کمتر از سطح مینا و در حوالی چابهار تراز آب حدود ۱۷ cm بیشتر از سطح مینا است. به همین ترتیب در ناحیه شمال شرقی قطر تراز آب حدود ۱۵~۲۰ cm کمتر از سطح مینا و در حوالی جنوب غربی بحرین و جنوب شرقی قطر تراز آب حدود ۱۵~۲۰ cm بیشتر از سطح مینا است. در بقیه مناطق عمدتاً میزان تغییرات تراز آب کمتر از ۷ cm است.

در ماه مارس، به‌طور متوسط در ناحیه شرقی سور در شمال دریای عرب تراز آب حدود ۲۰~۲۵ cm کمتر از

به عبارت دیگر در ماه ژانویه وضعیت تراز آب به‌طور متوسط در منطقه میانی خلیج فارس به گونه‌ای است که تراز آب در حوالی خط‌القعر این منطقه به مراتب بیشتر از مقدار آن در سواحل شمالی (سواحل بوشهر) و مناطق کم‌عمق جنوبی (جنوب بحرین و جنوب شرقی قطر) است. به نحوی که گرادیان تراز آب از ناحیه خط‌القعر به سمت سواحل شمالی (سواحل ایران) و سواحل جنوبی خلیج فارس به ترتیب حدود ۴۵- در ۲ درجه و ۷۵- در ۱٫۵ درجه است. همچنین در دریای عمان در ناحیه شرقی مسقط و سور، در حوالی ناحیه‌ای با مختصات جغرافیایی ۶۲ درجه شرقی و ۲۳ درجه شمالی واقع در دریای عرب تراز آب حدود ۲۵ cm کمتر از سطح مینا و در امتداد خط متصل‌کننده جنوب شرقی مسقط به چابهار حدود ۲۰ cm بیشتر از سطح مینا است که این مقدار در نواحی عمیق مرکزی واقع در نیمه‌راه این مسیر کاهش



در ماه ژوئن دریا تقریباً آرام و میزان تغییرات تراز آب در نواحی گوناگون ناحیه شمالی دریای عرب، دریای عمان و خلیج فارس کمتر از ۷ cm است.

در ماه ژوئیه بیشترین تغییرات در حوالی انتهای غربی دریای عمان با تراز آب حدود ۲۵ cm کمتر از سطح مبنا و ناحیه جنوب شرقی قطر با تراز آب حدود ۲۵-۴۰ cm کمتر از سطح مبنا مشاهده می‌شود. ضمناً، تراز آب در ناحیه جنوبی بحرین حدود ۱۵ cm کمتر و در ناحیه مرکزی خلیج فارس (در نواحی عمیق منطقه دریایی بوشهر) حدود ۱۵ cm بیشتر از سطح مبنا است. در بقیه مناطق عمدتاً میزان تغییرات تراز آب کمتر از ۵ cm است.

در ماه اوت تقریباً مشابه آنچه در ماه ژوئن مشاهده شد، دریا نسبت به دیگر ماه‌های سال آرام‌تر و میزان تغییرات تراز آب در نواحی گوناگون ناحیه شمالی دریای عرب، دریای عمان و خلیج فارس کمتر از ۷ cm است. فقط در ناحیه کوچکی در شرق مسقط در دریای شمال میزان متوسط این تغییرات در حدود ۱۰ cm کمتر از سطح مبنا و در حوالی چابهار حدود ۱۰ cm بیشتر از سطح مبنا است.

در ماه سپتامبر تغییرات قابل توجهی در شمال دریای عرب و دریای عمان مشاهده نمی‌شود. فقط در شرق مسقط و سور تراز آب به طور متوسط در حدود ۸-۱۰ cm کمتر و در حوالی چابهار در حدود ۸-۱۰ cm بیشتر از سطح مبنا است. ولیکن، در خلیج فارس کاهش تراز آب تا حدود ۲۵-۳۰ cm در حوالی آبادان، جنوب شرقی قطر و جنوب بحرین مشهود است. همچنین، در ناحیه مرکزی خلیج فارس در شمال بحرین تراز آب در حدود ۱۰-۱۵ cm بیشتر از سطح مبنا در منطقه است.

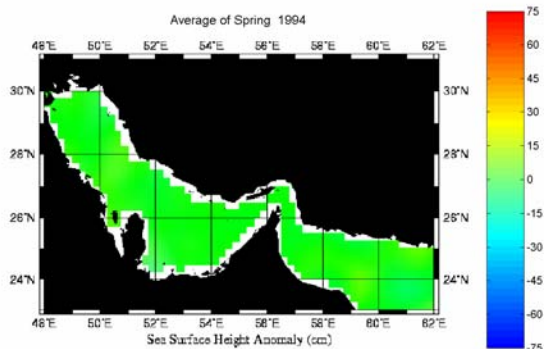
در ماه اکتبر وضعیت تراز آب و تغییرات آن در منطقه در مقایسه با دیگر ایام سال بسیار جالب توجه

سطح مبنا و در حوالی چابهار تراز آب حدود ۲۵-۲۰ cm بیشتر از سطح مبنا است. در خلیج فارس وضعیت متفاوت است. به‌طوری که در ناحیه شمال شرقی قطر میزان تغییرات تراز آب شدیدتر و در حدود ۲۵-۲۰ cm کمتر از سطح مبنا است. در ناحیه جنوب غربی بحرین وضعیت کاملاً متفاوت با وضعیت مشاهده شده در این منطقه در ماه فوریه است. در این ماه به طور متوسط تراز آب در حدود ۱۵-۲۰ cm کمتر از سطح مبنا است. در ناحیه جنوب شرقی قطر نیز میزان تغییرات تراز آب نسبت به آنچه در ماه فوریه مشاهده شد کمی کاهش یافته و تراز آب حدود ۱۰-۱۵ cm بیشتر از سطح مبنا است. در بقیه مناطق عمدتاً میزان تغییرات تراز آب کمتر از ۷ cm است.

در ماه آوریل وضعیت نواحی با تغییرات مثبت یا منفی تراز آب در هر دو منطقه دریای عمان و خلیج فارس شبیه وضعیت مشاهده شده در ماه ژانویه است. ولیکن، میزان تغییرات مشاهده شده در ماه آوریل به مراتب خفیف‌تر است. به‌طوری که، در شرق مسقط در دریای عرب با حرکت از غرب به شرق به ترتیب یک ناحیه با تغییرات حدود ۱۰ cm بیشتر و سپس ناحیه‌ای با تغییرات حدود ۱۰ cm کمتر از سطح مبنا منطقه مشاهده می‌شود. همچنین، در خلیج فارس در نواحی کم‌عمق‌تر منطقه دریایی بوشهر (در حوالی بندر لنگه) و در ناحیه جنوب شرقی قطر، تراز آب به‌طور متوسط حدود ۲۰ cm کمتر از سطح مبنا و در ناحیه مرکزی خلیج فارس (در نواحی عمیق منطقه دریایی بوشهر) حدود ۲۰ cm بیشتر از سطح مبنا است. در بقیه مناطق عمدتاً میزان تغییرات تراز آب کمتر از ۵ cm است.

در ماه مه حداکثر تراز آب در غالب مناطق حدود ۲۰ cm بیشتر از سطح مبنا است و فقط در منطقه جنوب شرق قطر مقداری افزایش یافته و به حدود ۲۵ cm بیشتر از سطح مبنا رسیده است.

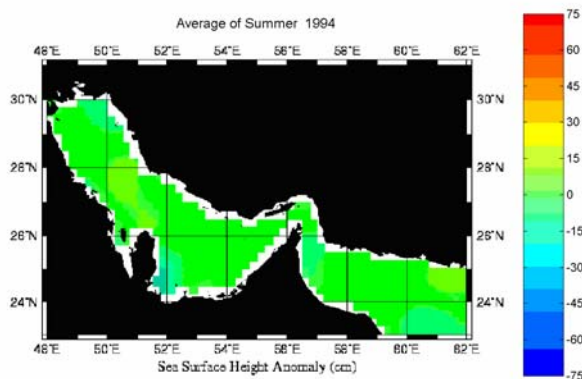
در بهار، تغییرات تراز آب در سطح منطقه بسیار کم و نامحسوس است (شکل ۴).



شکل ۴. میانگین فصلی تراز آب در بهار ۱۹۹۴.

• میانگین تراز آب در فصل تابستان

در تابستان سال ۱۹۹۴ میانگین تغییرات تراز آب در سواحل جنوبی خلیج فارس؛ در جنوب بحرین و قطر، بیشتر از نقاط دیگر و در حدود  $17 \sim -5$  cm است (شکل ۵).



شکل ۵. میانگین فصلی تراز آب در تابستان ۱۹۹۴.

• میانگین تراز آب در فصل پاییز

در فصل پاییز نیز متوسط فصلی میزان تغییرات تراز آب در نواحی گوناگون ناچیز و فقط در ناحیه جنوب شرقی قطر این مقدار در حدود  $10 \sim 8$  cm است (شکل ۶).

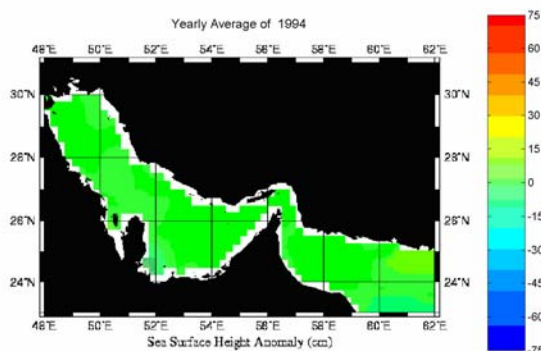
است. در این ماه میزان تغییرات تراز آب در مناطق شمال دریای عرب و در دریای عمان به حداقل مقادیر مشاهداتی در طول سال می‌رسد. در عوض، میزان تغییرات تراز آب در منطقه خلیج فارس در این ماه حداکثر است. به طوری که در ناحیه جنوب شرقی قطر تراز آب تا حدود  $40 \sim 60$  cm بیشتر از سطح مبنا نیز مشاهده می‌شود. همچنین در مناطق شمال غربی خلیج فارس در حوالی آبادان، جنوب غربی بحرین و در ناحیه مرکزی خلیج فارس و شمال قطر میزان تغییرات تراز آب به ترتیب تا حدود  $30$  cm بیشتر،  $15$  cm بیشتر و  $15$  cm کمتر از سطح مبنا نیز می‌رسد.

در ماه نوامبر وضعیت تراز آب تا حدودی متفاوت و متضاد با شرایطی است که در ماه اکتبر در منطقه مشاهده شد. در ناحیه جنوب شرقی قطر تراز آب تا حد  $45$  cm- نیز کاهش می‌یابد و میزان تغییرات تراز آب در مناطق شمال غربی خلیج فارس در حوالی لنگه و در منطقه شمال قطر و بحرین به ترتیب در حدود  $17$  cm-  $15 \sim -20$  cm و  $17 \sim 20$  cm است. در سواحل جنوب غربی دریای عمان و سواحل مسقط و سور در شمال غربی دریای عرب نیز برای اولین بار کاهش تراز آب تا حدود  $17 \sim 20$  cm- مشاهده می‌شود. در بقیه مناطق عمدتاً میزان تغییرات تراز آب کمتر از  $7$  cm است.

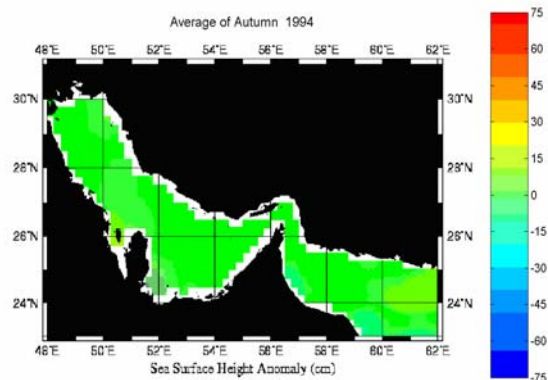
در ماه دسامبر میزان تغییرات تراز آب به طور چشمگیری کاهش یافته است، به صورتی که تراز آب در مناطق جنوب غربی بحرین، ناحیه مرکزی در شمال دریای عرب و در نزدیکی چابهار و نهایتاً در سواحل مسقط و سور و در نواحی شرقی آنها به ترتیب در حد  $10$  cm،  $10$  cm و  $15$  cm- است و در بقیه مناطق عمدتاً میزان تغییرات تراز آب کمتر از  $2$  cm است.

۳-۲ میانگین‌های فصلی تراز آب در سال ۱۹۹۴:

- میانگین تراز آب در فصل بهار



شکل ۸. میانگین سالانه تراز آب در سال ۱۹۹۴.



شکل ۶. میانگین فصلی تراز آب در پاییز ۱۹۹۴.

#### ۴ بحث و نتیجه گیری

##### ۴-۱ تغییرات مکانی

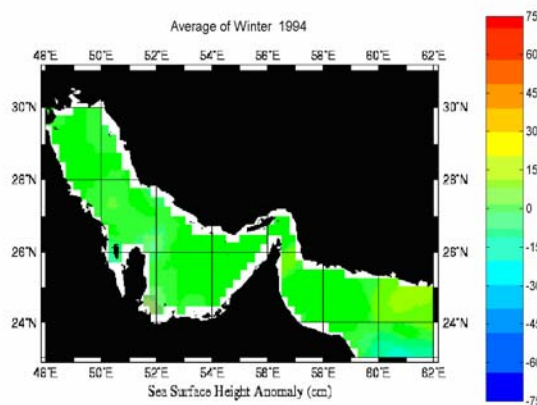
نتایج تحقیقات بیانگر آن است که فقط در قسمت‌های جنوبی خلیج فارس، در ناحیه جنوب بحرین و قطر و گاهی در مناطق مرکزی و شمالی خلیج فارس؛ در سواحل بوشهر، دهانه رودهای اروند و کارون و در حوالی آبادان و در مناطق مرکزی ناحیه شمالی دریای عرب؛ در شرق مسقط و سور و در دریای عمان در حوالی چابهار تغییرات تراز آب به طور مؤثر مشاهده می‌شود و در سایر قسمت‌ها تغییرات تراز آب تقریباً در حد صفر و برابر تراز متوسط آب در اقیانوس‌ها است.

بررسی‌های به عمل آمده نشان‌دهنده آن است که مناطق فوق نه فقط از نظر میزان تراز آب، بلکه از نظر دیگر پارامترهای اقیانوسی و اقلیمی نیز حائز اهمیت است. با طبقه‌بندی این مناطق و بررسی ویژگی‌های مهم آنها، علل و سازوکار تغییر تراز آب در منطقه خلیج فارس، دریای عمان و شمال دریای عرب را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱. سواحل بوشهر تا دهانه اروندرود: که در بسیاری از اوقات جریان‌های رو به جنوب ناشی از بادهای شمال غربی و غربی در منطقه موجب افزایش تراز آب در منطقه میانی خلیج فارس (منطقه ۳ ذکر شده در پایین)، کاهش تراز آب در سواحل بوشهر و بروز آپ‌لینگ

##### • میانگین تراز آب در فصل زمستان

در زمستان هم سطح آب در منطقه تحقیقاتی تقریباً آرام است و فقط در نواحی جنوب بحرین و قطر در خلیج فارس و نیز در حوالی چابهار و منطقه شرق سور در شمال دریای عرب تلاطم کمی در حد  $\pm 15$  cm مشاهده می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷. میانگین فصلی تراز آب در زمستان ۱۹۹۴.

##### ۳-۳ میانگین سالانه

میانگین سالانه میزان تغییرات تراز آب در مناطق گوناگون خلیج فارس، دریای عمان و شمال دریای عرب مطابق انتظار تقریباً صفر است (شکل ۸).

(upwelling) (جانز و همکاران، ۱۹۹۹) در این سواحل می‌شود.

۲. دهانه اروندرود و سواحل کویت و عربستان: نتایج به‌دست آمده برای این منطقه بیانگر آن است که تراز آب نسبت به سطح مبنا در این منطقه بسیار کم و روان‌آب وارده به منطقه از طریق اروندرود که در امتداد سواحل کویت و عربستان به سمت جنوب جریان می‌یابد نیز تأثیر قابل توجهی بر گردش آب و تغییر تراز آب در این مناطق ندارد.

۳. سواحل جنوبی بحرین و قطر: شوری زیاد آب در این مناطق که تا حد ۵۰ PSU نیز می‌رسد (جان و همکاران، ۱۹۹۰) و نتیجتاً چگالی زیاد آب در این مناطق بسیار کم عمق خلیج فارس در ماه‌های ژانویه، آوریل، ژوئیه، سپتامبر و نوامبر موجب شکل‌گیری جریان‌های ناشی از گرادیان چگالی از این مناطق به سمت تنگه هرمز و کاهش تراز آب می‌شود. در ماه‌های فوریه، مارس، مه و اکتبر تضعیف بادهای منطقه و از بین رفتن لایه‌بندی حرارتی، موجب تضعیف جریان‌های چگال و نتیجتاً، افزایش تراز آب در این منطقه می‌شود.

۴. ناحیه مرکزی: که از سمت شمال و غرب محدود به جبهه حرارتی-شوری (جانز و همکاران، ۱۹۹۹) و از جنوب به آب‌های کم‌عمق و چگال حوالی جنوب بحرین و قطر (منطقه ۳) است. جریان‌های ورودی از دریای عمان به داخل خلیج فارس موجب تشکیل گردابه پاد ساعت‌گرد در این ناحیه می‌شوند که در ماه‌های ژانویه، آوریل، ژوئیه، سپتامبر و نوامبر موجب افزایش تراز آب در این منطقه می‌شود.

۵. شمال دریای عرب؛ جریان‌های رو به شمال سومالی (Somali current) و سواحل عمان (Oman coastal current) از مهم‌ترین پدیده‌های مطرح در این منطقه‌اند. در حوالی مدار ۲۳ درجه شمالی در اغلب

اوقات کاهش تراز آب مشاهده می‌شود.

۶. سواحل جنوبی دریای عمان، مسقط تا راس‌الحد؛ که جریان خروجی از خلیج فارس عمدتاً به سمت این ناحیه هدایت و جریان می‌یابد، تراز آب در این ناحیه معمولاً نزدیک به صفر است.

۷. خط واصل بین مسقط (راس‌الحد) تا چابهار و از چابهار تا سواحل شرقی آن: در این مناطق اغلب اوقات آپ‌ولینگ رخ می‌دهد و تراز آب نیز معمولاً در این نواحی مثبت است.

۸. منطقه راس‌الحد؛ برهم‌کنش بین جریان رو به شمال در سواحل عمان و جریان خروجی از خلیج فارس موجب تشکیل یک جت (یا جبهه تیز) موسوم به جت راس‌الحد و گردابه‌های مربوطه در این ناحیه می‌شود.

#### ۴-۲ تغییرات زمانی

بررسی نتایج به‌دست آمده برای مناطق گوناگون خلیج فارس منجر به شناسایی و پیشنهاد سه الگوی متفاوت برای وضعیت تراز آب در ماه‌های متفاوت به شرح زیر است:

#### ۱- الگوی ژانویه

این الگو به روشنی در ماه ژانویه و به طور مشابه و یا با شدت کمتر در ماه‌های آوریل، ژوئیه، سپتامبر و نوامبر مشاهده می‌شود. بنابر بررسی‌های صورت گرفته گردش آب در خلیج فارس از سمت سواحل ایران در شمال خلیج فارس به سمت انتهای غربی خلیج فارس (حوالی دهانه اروندرود و سواحل کویت) است که سپس از سمت سواحل جنوبی (سمت بحرین و قطر) مجدداً به سمت تنگه هرمز باز می‌گردد (سویفت و باور، ۲۰۰۳). با توجه به نحوه گردش آب در خلیج فارس از یک طرف و نتایج این تحقیق در خصوص تراز آب از طرف دیگر، چنین به نظر می‌رسد که سرعت زیاد جریان آب وارده از سمت دریای عرب به سمت تنگه در الگوی ژانویه و

مقادیر مشاهداتی در طول سال می‌رسد. در عوض، میزان تغییرات تراز آب در منطقه خلیج فارس در این ماه حداکثر است. به طوری که در ناحیه جنوب شرقی قطر تراز آب نه تنها مشابه آنچه که در الگوی ژانویه در این منطقه مشاهده شد کمتر از سطح مبنا نیست، بلکه به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و به میزان حداکثر تراز آب مشاهده شده در کل منطقه می‌رسد. همچنین در مناطق شمال غربی خلیج فارس در حوالی آبادان، جنوب غربی بحرین نیز بر خلاف وضعیت مشاهده شده برای این مناطق در الگوی ژانویه، تراز آب به میزانی قابل توجه افزایش می‌یابد و از مقادیر منفی به مقادیر مثبت رسیده است. بر عکس، در ناحیه مرکزی خلیج فارس در محدوده شمال قطر تراز آب به شدت کاهش پیدا می‌کند و به مقادیر کمتر از سطح مبنا (منفی) نیز می‌رسد. در ماه اکتبر، حداقل تراز آب منطقه در این ناحیه مشاهده می‌شود. در ماه مارس تغییرات تراز آب در دریای عمان در مناطقی محدودتر ولی به صورت شدیدتر نسبت به میزان تغییرات در ماه فوریه مشاهده می‌شود.

### ۳- الگوی آرامش

در ماه‌های ژوئن، اوت و دسامبر، دریا نسبت به دیگر ماه‌های سال آرام‌تر و و میزان تغییرات تراز آب در نواحی گوناگون ناحیه شمالی دریای عرب، دریای عمان و خلیج فارس کمتر از ۷ cm است.

### ۳-۴ متوسط‌های فصلی و سالانه

متوسط فصلی میزان تغییرات تراز آب در فصول متفاوت و نواحی گوناگون منطقه تحقیقاتی ناچیز است و فقط در ناحیه جنوب شرقی قطر این مقدار گاهی از اوقات قابل توجه می‌شود. وقوع الگوهای متضاد (الگوی ژانویه و الگوی اکتبر) در ماه‌های متوالی و در یک فصل موجب می‌شود تا متوسط‌های فصلی تراز آب به سمت صفر

تنگ‌شدگی مسیر موجب ممکن نشدن انتقال یکنواخت آب به درون خلیج، بازگشت بخشی از جریان به سمت دریای عرب و افزایش تراز نسبی آب در امتداد خط متصل‌کننده جنوب شرقی مسقط به چابهار می‌شود. آب جریان یافته به درون خلیج نیز تقریباً به موازات سواحل ایران حرکت می‌کند. در این مسیر، آب جریان یافته از سمت سواحل بوشهر به سمت آبادان، عراق و کویت موجب کاهش تراز آب در این سواحل می‌شود و بازگشت این آب به سمت منطقه مرکزی خلیج فارس به خصوص در جایی که عمق آب به ناگهان زیاد می‌شود، موجب افزایش تراز آب نسبت به سطح مبنا می‌شود. در ادامه مسیر با توجه به هیدروگرافی منطقه، احتمالاً به دلیل سرعت زیاد جریان آب برگشتی و نیز کوچک و بسته بودن مناطق اطراف بحرین و قطر به لحاظ هندسی، جریان به جای انحراف به سمت این مناطق مسیر اصلی خود را که در امتداد سواحل کویت و عربستان است طی می‌کند. این مسئله در ادامه موجب جریان یافتن آب نواحی بحرین و قطر به سمت تنگه هرمز می‌شود که با توجه به شیب و عمق کم این مناطق، کاهش قابل توجه تراز آب در این مناطق را نیز به همراه دارد. شکل‌گیری جریان‌های چگال و حرکت آنها از حوالی جنوب بحرین و قطر به سمت تنگه هرمز نیز موجب تشدید کاهش تراز آب در این منطقه می‌شود.

### ۲- الگوی اکتبر

این الگو به روشنی در ماه اکتبر و به طور مشابه و یا با شدت کمتر در ماه‌های فوریه، مارس و مه مشاهده می‌شود. در این الگو وضعیت تراز آب و تغییرات آن به خصوص در منطقه خلیج فارس در تضاد و تفاوت آشکار با چیزی است که در الگوی ژانویه مشاهده شد. در این الگو میزان تغییرات تراز آب در مناطق شمال دریای عرب و در دریای عمان کاهش یافته و در ماه اکتبر به حداقل

## منابع

- کرباسی، ع.، ۱۳۷۷، اقیانوس‌شناسی، چاپ دوم، انتشارات فراز انرژی پایدار، ۲۷۳ ص. تهران.
- Cheney, B., Miller, L., Agreen, R., Doyle, N., and Lillibridge, J., 1994, Topex / Poseidon: The 2-cm solution, National Ocean Service, NOAA, Silver Spring MD 20910, J. Geophys. Res., **99**(C12). 24555-24564.
- John, V., Coles, S., and Abozed, A., 1990, Seasonal cycles of temperature, salinity and water masses of the western Arabian gulf, *Oceanol. Acta.*, **13**, 273-281.
- Johns, W. E., Jacobs, G. A., Kindle, J. C., Murray, S. P., and Carron, M., 1999, Arabian Marginal Seas and Gulfs, Univ. of Miami RSMAS Technical Report.
- Jolly, G., 2000, Altimetry: Misson Profiles, Satellite Observing Systems Ltd. Available in [www.satobsys.co.uk/Altimetry/lentil.html](http://www.satobsys.co.uk/Altimetry/lentil.html).
- Kantha, L. H., Pontius P. E., and Anantharaj, V., 1994, Tides in marginal, semi-enclosed and coastal seas. Part I: Sea surface height. Univ. of Colorado, Colorado Center for Astrodynamics, Research Report.
- Menard, Y., Escudier, P., Fu L. and Kunstmann, G., 2000, Cruising the Ocean from Space with Jason-1, in EOS, T. Am. Geophys. Uni., **81**(34).
- Swift, S. A., and Bower, A. S., 2003, Formation and circulation of dense water in the Persian/Arabian Gulf, *J. Geophys. Res.*, **108**, C1, 3004, doi:10.1029/2002JC001360.

نزدیک شود و تفاوت چشمگیری بین وضعیت متوسط تراز آب در فصول متفاوت مشاهده نشود. مطابق انتظار، میانگین سالانه تراز آب در خلیج فارس، دریای عمان و شمال دریای عرب در حد صفر است. این مسئله نشان‌دهنده کفایت طول دوره یک‌ساله برای بررسی تغییرات تراز آب در منطقه است.

## ۴-۴ نتیجه‌گیری کلی

در اغلب سواحل ایران و به‌خصوص در تنگه هرمز میانگین ماهانه تغییرات تراز آب همواره کمتر از ۱۵ cm و فقط در بعضی از اوقات در سواحل چابهار، بوشهر، لنگه، دهانه اروندرود و حوالی آبادان مقدار قدر مطلق این تغییرات تا حدود ۲۰~۳۰ cm نیز رسیده است.

بیشترین تغییرات مشاهده شده در منطقه در طول سال ۱۹۹۴ برابر ۵۷/۵ cm و ۴۷/۵ cm- است که هر دو مربوط به جنوب شرقی قطر است. بیشترین و کمترین تراز آب به ترتیب در ماه‌های اکتبر و ژانویه و کمترین تغییر تراز آب در ماه‌های ژوئن و اوت مشاهده شده است.

تغییرات قابل توجه تراز آب با زمان و مکان، لزوم توجه بیشتر به این پارامتر محیطی و کاربرد مقدار مناسب‌تری برای آن به هنگام مدل‌سازی پدیده‌های دریایی در منطقه را ضروری می‌سازد.

در این تحقیق، وضعیت تراز آب در کل منطقه بررسی و مناطق مهم و حساس و نحوه تغییرات زمانی وضعیت تراز آب در این مناطق در طی ماه‌های متفاوت سال تعیین شد. ضروری است تا با اجرای تحقیقات تکمیلی در مورد دیگر پارامترهای اقیانوسی و اقلیمی نظیر وضعیت جریان‌ها و گردش آب منطقه، توزیع حرارت و شوری و جریان‌های ناشی از آنها، بادهای و تأثیرات آنها و مانند آن، وضعیت اقیانوسی منطقه در نگاهی جامع مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.