

مطالعه میدانی جریان های شمال تنگه هرمز

مسعود ترابی آزاد^۱

Torabi_us@yahoo.com

صمد حمزه ئی^۲

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۹

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۹

چکیده

زمینه و هدف: تنگه هرمز در قسمت شمال غربی اقیانوس هند قرار گرفته و محل اتصال خلیج فارس به دریای عمان است. رژیم جزر و مدی نیم روزانه و بادهای فصلی در تنگه هرمز به همراه نیروهای شناوری ناشی از اختلاف چگالی آب های خلیج فارس نسبت به دریای عمان باعث شده است که تبادل آب در تنگه هرمز صورت گیرد. جریان های دریایی نیز عامل اصلی و اساسی انتقال آلودگی های زیست محیطی دریاها، حرکت لکه های نفتی و اجسام شناور در تنگه هرمز می باشند. هدف از این تحقیق مطالعه میدانی جریان ها در شمال تنگه هرمز به روش اوپلری، بررسی تغییرات فصلی جریان ها و نقش عوامل به وجود آورنده ی این جریان ها در تنگه هرمز می باشد.

روش بررسی: در این تحقیق، جریان سنجی به وسیله جریان سنج های مکانیکی با دقت $\pm 1 \text{ cm/s}$ در سه نقطه شمالی تنگه هرمز در گذر زمانی دی ماه ۸۵ تا اردیبهشت ماه ۸۶ جمعا به مدت ۸ روز انجام شد. در این اندازه گیری ها از دو جریان سنج مکانیکی، فلومتر و GPS استفاده شد. از جریان سنج مکانیکی مدل A101، ساخت کشور انگلستان استفاده شد. دقت اندازه گیری سرعت این دستگاه 1 cm/s و دقت جهت آن ۵ درجه است. این دستگاه هر ۵ دقیقه اطلاعات را ثبت می کند. فلومتر مدل Z30 دستگاه بسیار ساده ای است که از یک پره، چند میله و سیم و یک نشانگر جریان تشکیل شده است. این دستگاه می تواند تا عمق $3/5$ متر سرعت حرکت آب را اندازه گیری کند. با قرار دادن این دستگاه در جهت حرکت آب می توان سرعت حرکت آب را به دست آورد.

یافته ها: جزر و مد عامل اساسی در حرکت جریان ای شمالی تنگه هرمز می باشد و سرعت جریان های عمقی $30-40 \text{ (cm/s)}$ و سرعت جریان های سطحی 112 cm/s به دست آمد. با حذف فرکانس های روزانه و نیمه روزانه سرعت جریان های ناشی از باد و اختلاف چگالی تا عمق متوسط ۲۵ متر بین $4/5 - 7/6 \text{ (cm/s)}$ حاصل شد. در ایستگاه های مورد مطالعه اندازه سرعت جریان های باقی مانده در فصل زمستان با سرعت 5 cm/s نسبت به فصل بهار با سرعت 8 cm/s کمتر است.

بحث و نتیجه گیری: اثرات جزر و مد در جریان های مکان های جریان سنجی شده در تنگه هرمز مشهود است. با حرکت از مرکز تنگه هرمز به سمت نقاط ساحلی شمال تنگه بر سرعت جریان های جزر و مدی منطقه افزوده می شود. جریان های باقی مانده تحت تاثیر باد و

۱- دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال* (مسوول مکاتبات).

۲- دکترای فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

اختلاف چگالی است و از شمال تنگه هرمز به سوی خلیج فارس حرکت می نمایند. سرعت حرکت این جریان ها در فصل زمستان نسبت به بهار کمتر است.

نتایج به دست آمده با مدل لردنر و همکاران نیز مطابقت دارد که جریان ناشی از رانش میانگین ماهیانه ی باد و گرادیان چگالی را برای سطح و بستر خلیج فارس بررسی و جریان های نزدیک سواحل ایران را برای سطح $0/05$ متر بر ثانیه و برای بستر حدود $0/04$ متر بر ثانیه برآورد کردند.

واژه های کلیدی: جریان سنجی، جزر و مد، جریان های ناشی از باد، اختلاف چگالی، تنگه هرمز، خلیج فارس

Field Study of Currents in the North of Strait Hormuz

Masoud Torabi Azad^{1*}

Torabi_us@yahoo.com

Samad hamzei²

Abstract

Background and Objective: In the northwestern part of the Indian Ocean located Strait of Hormuz and has Connecting the Persian Gulf to the Oman Sea. Semi diurnal tides, seasonal winds, and buoyancy forces due to density differences waters of the Persian Gulf to the Oman Sea has caused water exchange in the Strait of Hormuz. Ocean currents are the major cause of environmental pollution, maritime transport, oil spills, and moving objects are floating in the Strait of Hormuz. The aim of this research was to study the currents in the northern Strait of Hormuz by Eulerian method to investigate the seasonal variation of currents in this Strait.

Method: The current survey by mechanical current meters with an accuracy ± 1 cm /s in the northern part of the Strait of Hormuz at interval time on January to May 2007 with total time duration of 8 days has been done. A mechanical current meter, flow meter and GPS were used in this monitoring. Mechanical current meter model A101 made in England , was used.The device accurately measures speed 1 cm / s with an accuracy of 5 degrees, this system can record data every 5 minutes. Flowmeter Model Z30 is a very simple device that uses a blade, a few bars and wires, and a flow indicator is made. It can measure up to 3.5 meters of water speed. By placing this device in the direction of water motion, water flow rate can be recorded.

Findings: The analysis of current data shows that semi diurnal tide is the main constituent. Hence this component was removed to consider the residual components due to wind and buoyancy typical deep tidal current is about 30-40 cm/s while the surface tidal current can reach 112 cm/s and the residual current range from 4.5-7.6 cm/s. In research Stations residual current magnitude in winter 5 cm /s is smaller than the spring rate 8 cm/s.

Discussion and Conclusion: The effect of tide on currents in the Strait of Hormuz at measurement stations has been shown.By moving from the center towards the north coasts of Strait of Hormuz increasing the speed of tidal currents. Residual currents are influenced by wind and density differences and moves from the north of Strait of Hormuz into the Persian Gulf. This current movement speed is lower in winter than in spring.Lardner and et al the monthly mean wind driven current and density gradient current was investigated for Persian Gulf and speed of currents close to the coast of Iran at surface 0.05 m/s to about 0.04 m/s in bottom was estimated. The results obtained of this reserach with compare the Lardner and eta al model is correspond.

Key words: Current recording, Tide, Wind driving currents, Density difference, Strait of Hormuz, Persian Gulf

1- Associate Prof. Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran*(*Corresponding author*).

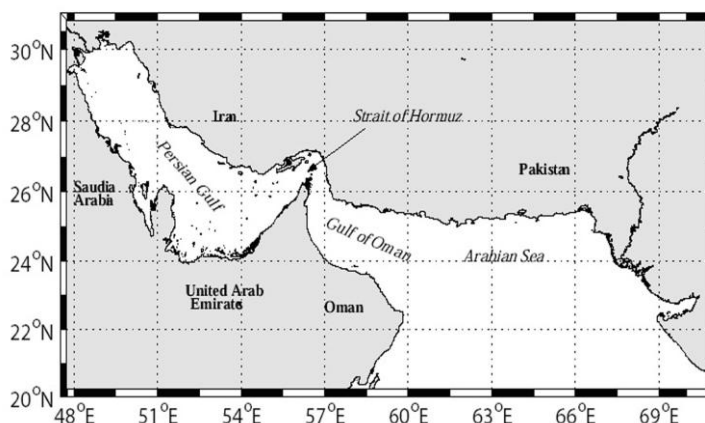
2- Ph.D Physical Oceanography, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

مقدمه

تنگه هرمز در قسمت شمال غربی اقیانوس هند قرار گرفته و محل اتصال خلیج فارس به دریای عمان است. خلیج فارس یک حوضه آبی نیمه بسته است و میانگین عمق آن ۳۵ متر برآورد شده است. دریای عمان نیز در شمال غربی اقیانوس هند و در نزدیکی دریای عرب واقع شده و L شکل می باشد. (شکل ۱) 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، دریای عمان نیز در عرض جغرافیایی ۲۶ تا ۳۲ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ تا ۶۲ درجه شرقی قرار گرفته است. بیشترین عمق خلیج فارس ۹۰ متر است، در حالیکه در تنگه هرمز بیشتر از ۱۰۰ متر هم

دیده می شود. (۱)

تنگه هرمز یک منطقه مهم استراتژیک است و یکی از مهم ترین آبراهه های دنیاست و از نظر تجاری، نظامی و کشتیرانی بسیار مهم است، به گونه ای که روزانه ۱۵ میلیون بشکه نفت معادل ۲۷ درصد نفت جهان از این آبراهه عبور می کند. (۲) جریان های دریایی نیز عامل اصلی و اساسی انتقال آلودگی های زیست محیطی دریاها، حرکت لکه های نفتی و اجسام شناور در تنگه هرمز می باشند. هدف از این تحقیق مطالعه میدانی جریان ها در شمال تنگه هرمز به روش اویلری و بررسی تغییرات فصلی آن ها و نقش عوامل به وجود آورنده این جریان ها در تنگه هرمز می باشد.



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان (۸)

Fig.1- Position of Persian Gulf, Strait of Hormuz and Oman Sea [8]

سطحی در شمال تنگه هرمز و یک جریان خروجی عمیق در جنوب تنگه هرمز را نشان می دهند. (۴)

Sugden یک جریان ورودی در سطح و بالای جریان خروجی به همراه یک گردش پادساعتگرد در خلیج فارس را پیشنهاد کرد و جریان در دریای عمان را تحت تأثیر مونسون جنوب غرب و شمال شرق در فصول مختلف دانست. (۵)

Johns و همکارانش جریان های ورودی و خروجی تنگه هرمز را برای یک مدت طولانی از دسامبر ۱۹۹۶ تا مارس ۱۹۹۸

با آنالیز داده های کشتی شناور مرکز هواشناسی U.K در سال ۱۹۸۱ یک جریان سطحی با سرعت ۰/۱ متر بر ثانیه از سمت شرق تنگه به داخل خلیج فارس در محدوده سواحل ایران نشان داده شد. نتایج این آنالیز برای چهار فصل مشخص می نماید که در تابستان جریان قوی تر (حدود ۰/۲ متر بر ثانیه) و در زمستان و پاییز ضعیف می شود. (۳) با استفاده از مدل عددی یک جریان ورودی قوی در سطح با سرعت ۰/۱ متر بر ثانیه در امتداد سواحل ایران پیش بینی شد، که نتایج یک جریان ورودی

همراه است، در این فصل به دلیل ورود به فصل سرد و سرد شدن آب ها در قسمت های جنوبی آب چگال تری به وجود می آید که چگالی آن به طور محلی از ۱۰۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب بیشتر می شود. در این فصل پیچک های میان مقیاس در عمق ۲۰ متری و در طول جبهه چگال به وجود می آیند. آب چگال از آب های کم عمق قسمت های جنوب خلیج فارس به آرامی به سمت جریان عمقی چگال کشیده می شود و در نهایت تنگه هرمز و خلیج فارس را در بر می گیرد. (۱۲)

در فصل زمستان، گردش سطحی ناشی از حرکت آب به پیچک های میان مقیاس تجزیه می شود. این فرآیند در کل تنگه هرمز و مخصوصاً در خلیج فارس مشاهده می شود. سرمای زمستانی باعث به وجود آمدن یک توده آب چگال تر در نواحی کم عمق جنوبی خلیج فارس با چگالی بیش از ۱۰۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب می شود، که با جریان خروجی عمیق به طرف تنگه هرمز حرکت می کنند. نتیجه این افزایش چگالی در دوره زمانی دی ماه تا خرداد ماه دیده می شود. در نتیجه تأخیر سه ماهه ای بین شکل گیری توده آب چگال در آب های کم عمق و مشاهده ای آن در تنگه هرمز وجود دارد. (۱۳)

در فصل بهار، اختلاف چگالی ها در عرض تنگه مقدار حداکثر خود را دارد. در این فصل جریان های ورودی شروع به شکل گرفتن می کنند و به سمت خلیج فارس حرکت می نمایند و حتی به نواحی سطحی جنوب تنگه هرمز نیز وارد می شوند. نکته مهم این است که آب های سطحی خلیج فارس و تنگه هرمز در زمستان شورتر از تابستان است. افزایش جریان ورودی سطحی به خلیج فارس از دریای عمان می تواند دلیل شوری کمتر آب های سطحی شمال تنگه هرمز و خلیج فارس باشد. (۱۴)

گردش فصلی خلیج فارس با شکل گیری آب چگال عمقی در جنوب خلیج در فصل پاییز و زمستان مرتبط است که در تنگه در اواخر زمستان و اوایل بهار دیده می شود. می توان نتیجه گرفت که به وجود آمدن آب عمقی چگال در خلیج فارس می تواند به دلیل سرد شدن سطحی آبهای شور در فصل پائیز و شروع فصل زمستان باشد. جریان خروجی خلیج فارس در کل

مورد بررسی قرار داده و نشان دادند یک جریان ورودی با دما و شوری پایین از دریای عمان از طریق شمال تنگه هرمز وارد خلیج فارس می شود. (۶، ۷) Pous و همکاران نتایج تحقیقات گشت GOGP99 را در تنگه هرمز بررسی کردند و نتیجه گرفتند آب سطحی اقیانوس هند که سردتر و شیرین تر از آب های منطقه است از طریق سواحل ایران و با عمق ۳۰ تا ۶۰ متر از طریق تنگه وارد خلیج فارس می شود و شورترین آب ها نیز که از قسمت جنوبی تنگه از نزدیکی سواحل امارات متحده عربی و عمان از تنگه خارج می شود در عمق های پایین (۵۰ متر تا ۱۰۰ متر) قرار دارند. Pous و همکاران سرعت جریان های خروجی را کمتر از ۰/۴ متر بر ثانیه نشان دادند و سرعت ژئوستروفیک را نیز در یک سطح مرجع ۳۰ متری ۰/۰۹ متر بر ثانیه برآورد کردند. (۸)

رییس السادات و بنزاده در تحقیقی، مدلی برای گردش آب ها در خلیج فارس ارائه دادند. در این تحقیق تأیید گردید که جریان آرام سطحی که وارد خلیج فارس می شود در امتداد سواحل ایران حرکت کرده و در جهت عکس حرکت عقربه های ساعت گردش می کند. (۹)

جریان ورودی از دریای عمان به تنگه هرمز تحت تأثیر نیروی کوریولی به سمت شمال تنگه در سواحل ایران منحرف می شود. این جریان در حرکت به سمت خلیج فارس در سطح حرکت می کند که این حرکت به دلیل چگالی کمتر آب های این ناحیه نسبت به آب های اطراف در خلیج فارس است. سرعت این جریان در سطح به ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر بر ثانیه می رسد. (۱۰)

تبخیر و تابش باعث افزایش دما و شوری و تشکیل جریان ترموهالینی در این ناحیه می شود. افزایش چگالی باعث عمقی شدن و تولید جریان ترموهالینی و حرکت آن به سمت تنگه هرمز می شود. در این حالت چگال ترین آب در اطراف سواحل بحرین با بیش از ۱۰۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب دیده شده است. این جریان های عمقی به سرعت ۵ تا ۱۰ سانتی متر بر ثانیه در خلیج فارس می رسند ولی در هنگام عبور از تنگه هرمز به حدود سرعت ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر بر ثانیه می رسند. (۱۱)

در فصل پاییز جریان ورودی تنگه هرمز با ناپایداری دینامیکی

فلومتر و GPS استفاده شد. جریان سنج مکانیکی مورد استفاده مدل A101، ساخت کشور انگلستان سال ۱۹۷۹ می باشد. دقت اندازه‌گیری های سرعت این دستگاه ۱ cm/s و دقت جهت آن ۵ درجه است. این دستگاه هر ۵ دقیقه اطلاعات را ثبت می کند. (شکل ۲) GPS مورد استفاده در این تحقیق etrex مدل Garmin بود. این GPS ساخت کشور مالزی است و با دقت ۰/۰۰۱ دقیقه جغرافیای مکان را نشان می‌دهد. فلومتر مدل Z30 دستگاه بسیار ساده ای است که از یک پره، چند میله و سیم و یک نشانگر جریان تشکیل شده است. این دستگاه می‌تواند تا عمق ۳/۵ متر سرعت حرکت آب را اندازه‌گیری کند. با قرار دادن این دستگاه در جهت حرکت آب می‌توان سرعت حرکت آب را به دست آورد. (شکل ۳)

ابتدا با استفاده از نقشه سه نقطه به عنوان نقاط اصلی جریان سنجی در منطقه انتخاب گردید. نقطه‌ی A به فاصله تقریبی ۷ کیلومتر از جزیره هرمز قرار دارد، در این نقطه در ۳ مرحله جریان های منطقه در عمق ۲۵ متری اندازه‌گیری شد. نقطه‌ی B به فاصله‌ی تقریبی ۱۲ کیلومتری از جنوب جزیره هرمز است. در این نقطه ۲ مرحله اندازه‌گیری جریان ها انجام گرفت که در عمق ۳۰ متری جریان ها ثبت شده است. نقطه‌ی C به فاصله‌ی تقریبی ۱۷ کیلومتر از جنوب جزیره هرمز است. در این نقطه یک مرحله اندازه‌گیری جریان ها در عمق ۳۵ متری آب دریا انجام شده است. (شکل ۴)

سال نسبتاً پایدار است و می‌توان انتقال 0.3 ± 0.15 / سال سوردراپ و شوری متوسط 39.5 psu را برای آن در نظر گرفت. شوری این جریان خروجی در فصول مختلف تغییر قابل ملاحظه‌ای دارد و بیشترین تغییرات را در فصل زمستان نشان می‌دهد که جریان خروجی دارای شوری 39.5 psu تا 40.8 psu است. (۱۵)

چگالی، باد و شناوری اساسی ترین عوامل ایجاد جریان در تنگه هرمز می‌باشند. در حالیکه بارندگی سالیانه در خلیج فارس از 7 cm کمتر است، تبخیر سالیانه آن برابر با 146 cm برآورد شده است (۱۶).

Hasan و Meshal دوره تبخیری برابر با 200 cm در سال را برای مناطق ساحلی تنگه هرمز و خلیج فارس گزارش نمودند. (۱۷) Sultan و Ahmad میانگین سالیانه شارش گرمایی سطحی در خلیج فارس و خالص گرمایی انتقال داده شده به تنگه هرمز را معادل $168 \frac{W}{m^2}$ تخمین زدند. دوره طولانی تبخیر و دمای پایین تر دهانه خلیج فارس مخصوصاً در زمستان باعث اختلاف چگالی و گرادیان افقی فشار در شرق و غرب خلیج فارس می‌شود. در نهایت یک جریان سطحی ورودی در تنگه هرمز که چگالی کمتری دارد و یک جریان خروجی چگال تر در جهت معکوس و عمیق تر ایجاد می‌گردد. (۱۸)

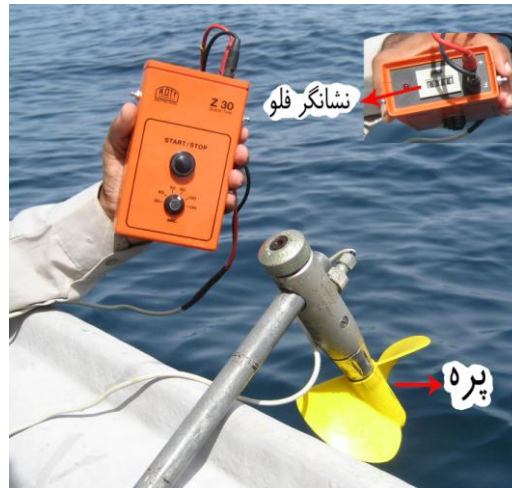
مواد و روش ها

در اندازه گیری های انجام شده از دو جریان سنج مکانیکی،



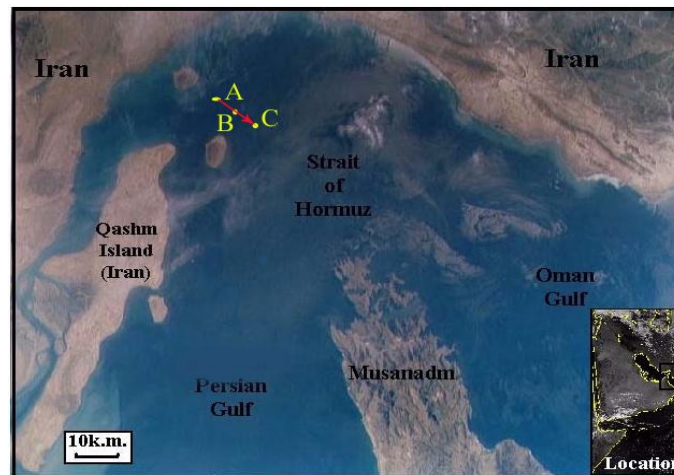
شکل ۲- جریان سنج مکانیکی مورد استفاده در اندازه گیری های جریان در تنگه هرمز

Fig.2- Mechanical currentmeter used in current recording in the Strait of Hormuz



شکل ۳- فلومتر مدل Z30 مورد استفاده در تحقیق

Fig.3- Flowmeter Z30 model used in the study



شکل ۴- موقعیت ایستگاه های جریان سنجی شده

Fig.4- Location of current recording stations

اطلاعات هواشناسی ثبت گردید. پردازش داده های جریان سنجی توسط برنامه های Surfer, Excel انجام شد. ابتدا در برنامه Excel نمودارهای سرعت و جهت جریان، تغییرات سرعت جریان با زمان و تغییرات جهت جریان با زمان رسم شد. سپس با استفاده از زبان برنامه نویسی Basic برنامه ی ماکرو مورد استفاده تهیه و جهت رسم گل جریان از آن استفاده شد. برنامه ای برای تقسیم بندی سرعت ها و جهت ها (Current rose) انتخاب و سپس با استفاده از برنامه ی Rose Draw خروجی Current rose نوشته شد و با استفاده از برنامه ی Auto CAD گل جریان مورد نظر رسم گردید.

زمان های اندازه گیری جریان در ایستگاه A، ۱۹ دی ماه ۸۵ و ۲۳ اسفند ۸۵ به مدت ۸ ساعت و ۱۱ اردیبهشت ۸۶ به مدت ۲۴ ساعت بوده است. زمان های اندازه گیری جریان در ایستگاه B، ۱۶ بهمن ماه ۸۵ و ۲۳ اسفند ۸۵ به مدت ۲۵ ساعت بوده است. زمان اندازه گیری جریان در ایستگاه C، ۱۱ اردیبهشت ۸۶ بود که جریان سنجی نیز ۲۴ ساعت ادامه داشت. (جدول ۱) برای حذف داده های خطا، ابتدا نمودار همبستگی آن ها رسم گردید و توسط برنامه Excel داده های خطا حذف و داده هایی که به اصلاح نیاز داشتند تصحیح گردیدند. در تمامی ایستگاه ها علاوه بر ثبت اطلاعات جریان، مشخصات فیزیکی آب دریا و

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های جریان سنجی شده

Table.1- Specification of current measurement in study area

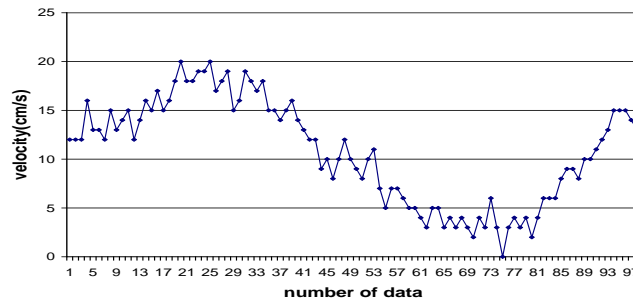
ایستگاه	محدوده نصب	نوع دستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق ایستگاه (m)	عمق نصب (m)	تاریخ نصب	تاریخ بازیابی
A1	جنوب	جریان	۵۶ ۲۶/۴۲	۲۶ ۵۹/۳۲	۳۴	۲۵	۸۵ دی ۱۹	۸۵ دی ۱۹
B1	جزیره	سنج	۵۶ ۲۶/۵۲	۲۶ ۵۴/۱۶	۴۰	۳۰	۸۵ بهمن ۱۶	۸۵ بهمن ۱۷
A2	هرمز	مکانیکی	۵۶ ۲۶/۴۲	۲۶ ۵۹/۳۲	۳۴	۲۵	۸۵ اسفند ۲۳	۸۵ اسفند ۲۳
B2			۵۶ ۲۶/۵۲	۲۶ ۵۴/۱۶	۴۰	۳۰	۸۵ اسفند ۲۳	۸۵ اسفند ۲۴
A3			۵۶ ۲۶/۴۲	۲۶ ۵۹/۳۲	۳۴	۲۵	۸۶ اردیبهشت ۱۱	۸۶ اردیبهشت ۱۲
C3	شرق لارک		۵۵ ۲۶/۴۸	۲۶ ۴۹/۲۲	۴۶	۳۵	۸۶ اردیبهشت ۱۱	۸۶ اردیبهشت ۱۲

بحث

آب در جهت جنوب شرقی می‌باشد. شکل گل جریان (شکل ۸) برای مدت ۲۵ ساعت نشان می‌دهد که حجم آبی که وارد تنگه می‌شود بیشتر از حجم آبی است که از تنگه خارج می‌شود. جهت شکل گل جریان نیز نشان می‌دهد پراکندگی جهت آب ورودی به تنگه بیشتر از آب خروجی است، در حالیکه عمده جریان خروجی با زاویه ۹۰ تا ۱۲۰ درجه می‌باشد و عمده جریان ورودی زاویه‌ای بین ۲۷۰ تا ۳۶۰ درجه دارد. حداکثر سرعت جریان جزری در این دوره جریان سنجی 46 cm/s می‌باشد که نشان دهنده سرعت بالای حرکت آب در عمق ۳۰ متری می‌باشد. این سرعت بالا نشان دهنده جریان جزری قوی است زیرا جریان سنجی در ۱۶ ماه قمری صورت گرفته است. بیشترین سرعت جریان در حالت مد نیز 40 cm/s اندازه‌گیری شده است.

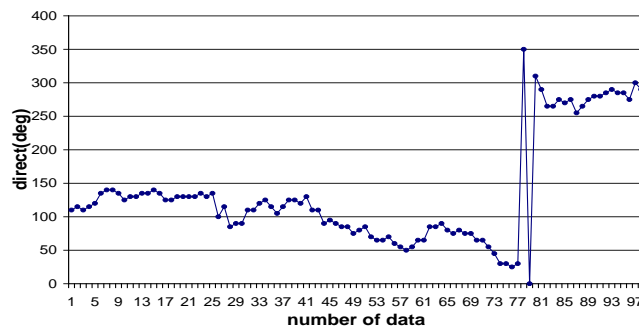
سرعت جریان در ایستگاه A در تاریخ ۱۹ دی ماه نشان از یک جریان جزری خروجی در ساعت ابتدایی جریان سنجی دارد. سرعت نهایی حرکت آب در این حالت 20 cm/s است (شکل ۵) و آب با جهت ۱۰۰ درجه در حال خروج از تنگه می‌باشد (شکل ۶). این اندازه‌گیری جریان در عمق ۲۵ متری انجام شده است و عمق ایستگاه مورینگ نیز ۳۴ متر می‌باشد. شکل گل جریان (شکل ۷) نشان می‌دهد حجم عمده‌ی آب در جهتی قرار گرفته است که خروج آب از تنگه هرمز را نشان می‌دهد. به دلیل این که ایستگاه A به فاصله ۷ کیلومتری جزیره هرمز قرار گرفته است، تأثیر سواحل این جزیره بر جریان های تنگه هرمز محسوس نمی‌باشد.

جریان سنجی انجام شده در ۱۶ بهمن ماه ۸۵ در ایستگاه B نشان می‌دهد که جریان حالت جزر را به پایان رسانده و شروع مد را نشان می‌دهد. سرعت جریان مد شروع شده به 38 cm/s می‌رسد و جهت آن نیز ۳۲۰ درجه می‌باشد. حرکت جریان جزری زاویه‌ای حدود ۱۱۰ درجه دارد که نشان می‌دهد حرکت



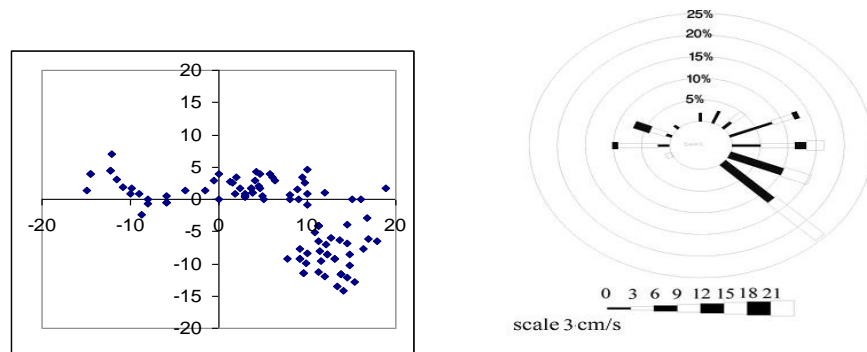
شکل ۵- مقادیر سرعت جریان در ایستگاه A در ۱۹ دی ۸۵

Fig.5- The current speed value at station A in 4 January 2007



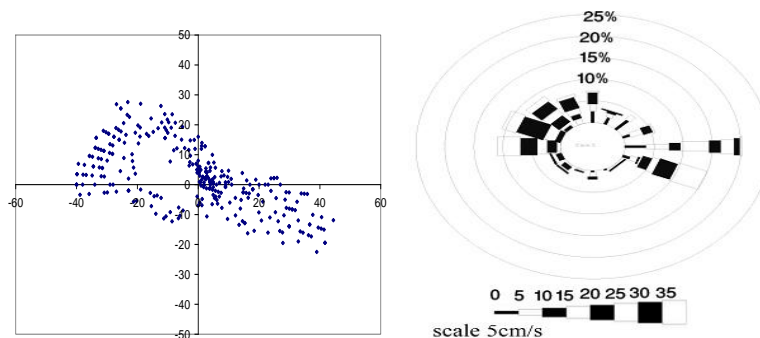
شکل ۶- مقادیر جهت جریان در ایستگاه A در ۱۹ دی ۸۵

Fig.6- The current direction value at station A in 4 January 2007



شکل ۷- گل جریان و شکل قطبی سرعت و جهت جریان در ایستگاه A در ۱۹ دی ۸۵

Fig.7- The current rose and polar form of current speed and direction at station A in 4 January 2007

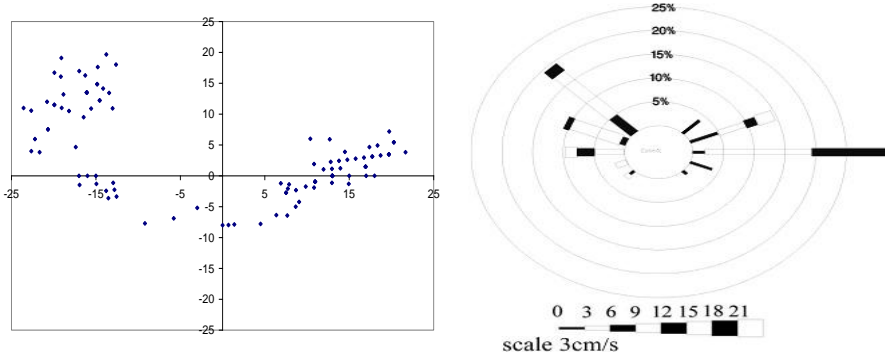


شکل ۸- گل جریان و شکل قطبی سرعت و جهت جریان در ایستگاه B در ۱۶ بهمن ۸۵

Fig.8- The current rose and polar form of current speed and direction at station B in 2 February 2007

۲۳ اسفند ۸۵ نشان می‌دهد که سرعت جریان در این ایستگاه نسبت به ایستگاه A کمتر است. در این ایستگاه شکل جریان ها در ابتدای جریان سنجی یک جریان ورودی با سرعت 19cm/s و یک جریان خروجی با سرعت 15cm/s را نشان می‌دهد. (شکل ۹) جریان ورودی زاویه‌ای حدود 300° درجه و جریان خروجی زاویه‌ای حدود 100° درجه دارد. در این دوره، جریان سنجی برای مدت ۲۴ ساعت انجام شد. این جریان سنجی زمانی انجام شد که کمترین جزر و مد در منطقه حاکم بوده است. در این مدت حجم آب انتقالی به درون تنگه کمتر از دوره‌هایی بوده که جزر و مد قوی ترمی باشد.

شروع جریان سنجی در ایستگاه A در ۲۳ اسفند ۸۵ در محدوده‌ی کامل شدن یک جریان مدی قرار گرفته است و ماکزیمم سرعت این جریان مدی 27cm/s می‌باشد. این جریان ورودی به تنگه هرمز دارای جهتی معادل 300° درجه می‌باشد. این جریان سنجی در مدت زمانی حدود ۹ ساعت و در یک دوره‌ی جزر و مدی اندازه‌گیری شده است. در این جریان سنجی نیز مشخص شده است که حجم آب ورودی به تنگه از حجم آب خروجی آن بیشتر است. عمده‌ی جریان های خروجی زاویه‌ای بین 70° تا 100° درجه دارند، در حالیکه عمده‌ی جریان های ورودی به تنگه هرمز زاویه‌ای بین 270° تا 330° درجه دارند. جریان سنجی در ایستگاه مورینگ B در تاریخ



شکل ۹- گل جریان و شکل قطبی سرعت و جهت جریان در ایستگاه A در ۲۳ اسفند ماه ۸۵

Fig.9- The current rose and polar form of current speed and direction at station A in 8 March 2007

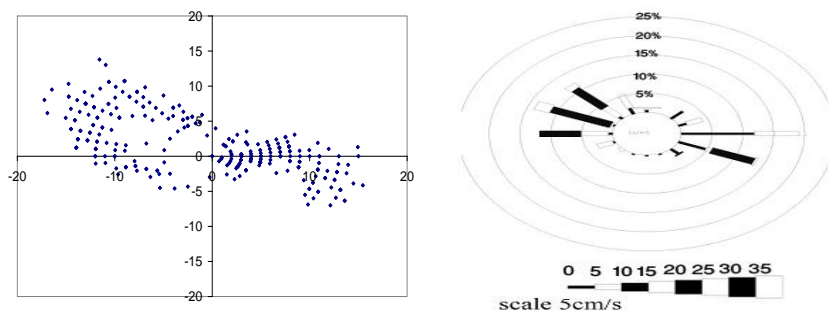
تر سرعت جریان ها کاهش می‌یابد، با این همه اثرات جریان های جزری و مدی در عمق های بیشتر نیز قابل مشاهده است.

با مقایسه‌ی جریان های ایستگاه A و B در این دوره این نتیجه حاصل شد که با حرکت از سمت ساحل به سمت مناطق عمیق

جریانهای جزری بیشتر است، بطوریکه بیشینهی سرعت جریان در این ایستگاه در اولین مد 38cm/s می باشد، در حالیکه سرعت جریان در اولین جزر 32cm/s بوده است. در دومین مد بیشینه سرعت جریان ورودی به تنگه 40cm/s و در دومین جزر سرعت جریان خروجی از تنگه 34cm/s اندازه گیری شده است (شکل ۱۲). جهت جریان های خروجی از تنگه در اولین جزر حدود 110° درجه و در دومین جزر حدود 120° درجه می باشد که نشان می دهد جریان خروجی تمایل دارد در مسیر جنوب شرقی از تنگه خارج شود. (شکل ۱۳) با توجه به شکل گل جریان (شکل ۱۴) می توان مشاهده نمود حجم عمده توده آب در حال ورود به تنگه می باشد و تنها جزء کمی از آب توسط جریان جزر از تنگه خارج می شود. تفاوت در حجم و جهت جریان در ایستگاه های A و C نشان دهنده کاهش سرعت جریان ها با دور شدن از نواحی ساحلی و حرکت به عمق می باشد. همچنین جهت جریان ورودی به تنگه هرگز نیز با دور شدن از سواحل شمالی تنگه و حرکت به درون تنگه از شمال غرب به سمت غرب تغییر جهت پیدا می کند. این عامل با حرکت به سمت بستر و عمیق شدن آب، کاهش سرعت جریان ها را نیز دربردارد.

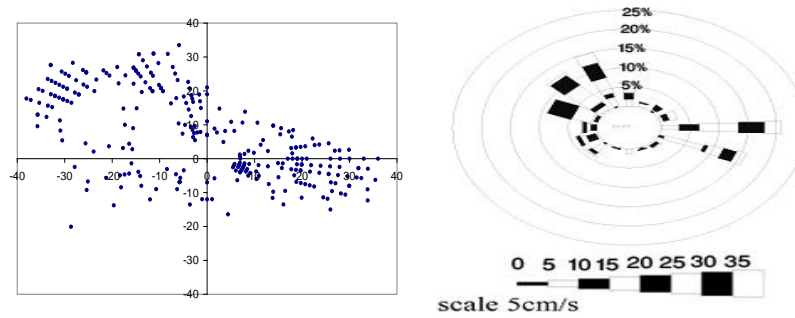
جهت جریان های مدی در ایستگاه B متمایل به غرب می باشد، در حالیکه در ایستگاه A جهت جریان های مدی به سمت شمال غرب متمایل است. (شکل ۱۰) جریان سنجی در ایستگاه مورینگ B در ۱۱ اردیبهشت ماه ۸۶ نشان می دهد سرعت جریان های مدی در این ایستگاه از سرعت جریان های جزری بیشتر است. در این ایستگاه اندازه گیری به مدت ۲۴ ساعت انجام شد و بیشینهی سرعت جریان ورودی به تنگه در اولین مد 41cm/s و جهت این جریان 310° درجه می باشد. بیشینهی جریان خروجی از تنگه هرگز نیز در اولین جزر 36cm/s و جهت آن 110° درجه اندازه گیری شد. همچنین بیشینهی سرعت جریان در دومین مد 43cm/s و جهت این جریان 320° درجه می باشد بیشینهی سرعت جریان خروجی در دومین جزر 28cm/s و جهت آن 110° درجه است.

این اندازه گیری جریان در ۱۳ ماه قمری یعنی زمانی که ماه تقریباً کامل است و بیشترین اثر را بر جریان های جزر و مدی دارد، انجام شد. شکل گل جریان (شکل ۱۱) نشان دهندهی زاویه ای در حد 90° درجه برای جریان های خروجی تنگه هرگز است که ناشی از حرکت جزری آب می باشد و زاویه ای بین 250° تا 360° درجه برای جریان های ورودی به این تنگه دارد. جریان سنجی در ایستگاه مورینگ C در ۱۱ اردیبهشت ماه ۸۶ نشان می دهد سرعت جریان های مدی نسبت به سرعت



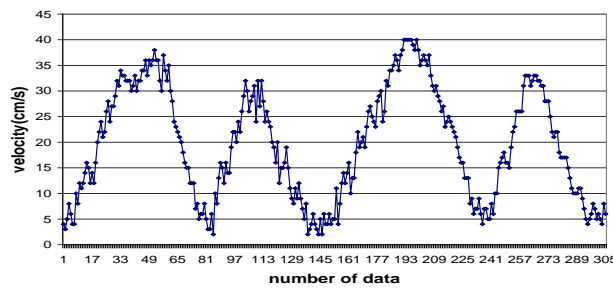
شکل ۱۰- گل جریان و شکل قطبی سرعت و جهت جریان در ایستگاه B در ۲۳ اسفند ماه ۸۵

Fig.10- The current rose and polar form of current speed and direction at station B in 8 March 2007



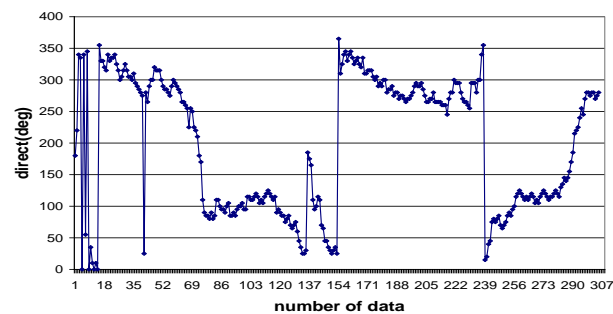
شکل ۱۱- گل جریان و شکل قطبی سرعت و جهت جریان در ایستگاه A در ۱۱ اردیبهشت ماه ۸۶

Fig.11- The current rose and polar form of current speed and direction at station A in 1 May 2007



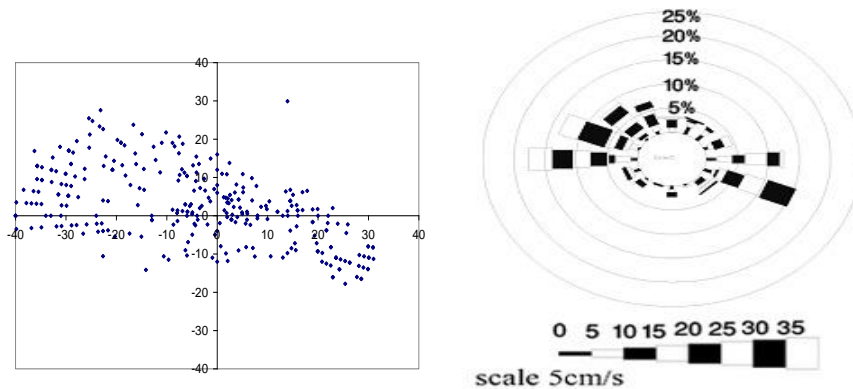
شکل ۱۲- مقادیر سرعت جریان در ایستگاه C در ۱۱ اردیبهشت ماه ۸۶

Fig.12- The current speed value at station C in 1 May 2007



شکل ۱۳- مقادیر جهت جریان در ایستگاه C در ۱۱ اردیبهشت ماه ۸۶

Fig.13- The current direction value at station C in 1 May 2007



شکل ۱۴- گل جریان و شکل قطبی سرعت و جهت جریان در ایستگاه C در ۱۱ اردیبهشت ماه ۸۶

Fig.14- The current rose and polar form of current speed and direction at station C in 1 May 2007

و جهت جریان 170° درجه به دست آمده است که نسبت به جریان عمق 30 متر تفاوت زیادی دارد سرعت جریان عمقی در این زمان 5 تا 6 cm/s و جهت آن 110° درجه می باشد این تفاوت نشان می دهد که جهت حرکت بین جریان های سطحی و عمقی بیشتر است. جریان های سطحی اندازه گیری شده در ۱۱ اردیبهشت ماه ۸۶ نشان می دهد سرعت این جریان ها نسبت به عمق 35 متر تفاوت زیادی دارد. در حالیکه سرعت جریان های عمقی در حالت شروع مد 8 cm/s برای عمق 35 متر است، سرعت حرکت سطحی آب در زمان $9:15$ صبح 30 cm/s می باشد. در زمان $12:15$ صبح سرعت جریان های سطحی به 112 cm/s می رسد، در حالیکه سرعت جریان های عمقی 34 cm/s است. این تفاوت خیلی زیاد است و حرکت تندتر جریان های سطحی نسبت به جریان های عمقی را بیان می نماید. این تفاوت معنادار می تواند ناشی از عامل اصطکاک لایه ها در حرکت کندتر آب های عمقی، نقش لایه بندی آب و کاهش نیروهای شناوری در اعماق بیشتر باشد. نتایج به دست آمده از جریان های باقی مانده در جدول ۳ نشان می دهد که در قسمت شمالی تنگه هرمز، حجم آب ورودی به ایستگاه ها از حجم آب خروجی از ایستگاه ها بیشتر است. مقادیر اندازه گیری شده در بهمن ۸۵ و ایستگاه B نشان می دهد سرعت جریان های باقی مانده برای یک دوره پریودیک 25 ساعته در عمق 30 متری $4/8$ cm/s به دست آمده است که این مقدار 23 درصد میانگین سرعت جریان های ورودی و خروجی این

جدول ۲ داده های اندازه گیری جریان سطحی با استفاده از فلومتر نشان می دهد که اندازه گیری جریان سطحی آب در 16 بهمن ۸۵ در زمان اول ($10:10$ صبح) دارای سرعتی کمتر از زمان دوم ($13:00$) می باشد که با توجه به داده های جریان سنجی اندازه گیری شده در همان روز تأیید می کند که در این زمان جریان سطحی نیز مانند جریان عمقی در دوره مد قرار گرفته است. سرعت جریان سطحی اندازه گیری شده در این حالت 32 cm/s و جهت آن 340° درجه می باشد، سرعت جریان در زمان دوم 63 cm/s و جهت آن 310° درجه می باشد. اندازه گیری حرکت آب به وسیله فلومتر در 23 اسفند ۸۵ نشان می دهد که در زمان $9:30$ صبح آب با سرعت 25 cm/s و با جهت 340° درجه وارد تنگه می شود در همین زمان جریان عمقی با سرعت 10 cm/s و با جهت 320° درجه وارد تنگه می شود. تفاوت سرعت و جهت جریان در سطح و عمق 30 متری ناشی از تأثیر لایه بندی آب و اثرات بستر بر جریانها می تواند باشد. همچنین اثرات عوامل محرک خارجی مانند باد و پایداری آبهای عمیق تر از دیگر عوامل کاهش سرعت جریان در نزدیک بستر می تواند باشد. اندازه گیری جریان سطحی در زمان $12:30$ بعد از ظهر نشان می دهد سرعت جریان به 27 cm/s و جهت آن به 320° درجه رسیده است. در همین زمان سرعت جریان در عمق 30 متر 12 cm/s و جهت آن 290° درجه می باشد که باز همان تفاوت معنادار در سرعت و جهت جریان ها دیده می شود. در زمان $13:45$ نیز سرعت جریان 12 cm/s

عمق متوسط ۲۵ متر که با حذف فرکانس های جزر و مد به دست آمد بین ۴/۵ تا ۷/۶ (cm/s) است.

نتایج این تحقیق نشان می دهد که در یک دوره جزر و مدی جریان وروی در ناحیه شمال تنگه هرمز قوی تر از جریان خروجی است. این موضوع با نتایج Hunter که با آنالیز داده های گشت مرکز هواشناسی انگلیس از سرعت جریان های سطحی به سمت غرب در شمال تنگه هرمز به دست آمد، هم خوانی دارد.

همچنین نتایج حاصل از اندازه گیری جریان های تنگه هرمز نشان می دهد که میانگین جریان های ورودی و خروجی این تنگه در دی، بهمن و اسفند از میانگین جریان های ورودی و خروجی در اردیبهشت ماه که در نهایت یک جریان ورودی را نشان می دهد ضعیف تر است. این موضوع نیز با نتایج هانتر هم خوانی دارد، که نتایج آنالیز برای چهار فصل را به دست آورد و پیش بینی کرد که جریان های ورودی در تابستان قوی تر از پاییز و زمستان می شوند (۳،۴).

نتایج به دست آمده از تأثیر نیروی باد بر جریان های تنگه هرمز در این تحقیق نشان می دهد که باد نقش قابل توجهی در حرکت جریان ورودی به تنگه دارد. این موضوع با یافته های چائو و همکاران هم خوانی دارد، که باد را یک بخش اساسی از الگوی گردش در خلیج فارس دانسته اند و دریافتند که آغاز مونسون جنوب غرب در منطقه باعث افزایش سرعت جریانهای ورودی در فصل بهار و تابستان می شود. (۱۳)

نتایج به دست آمده با مدل لردنر و همکاران مطابقت دارد، که جریان ناشی از رانش میانگین ماهیانه ی باد و گرادیان چگالی را برای سطح و بستر خلیج فارس بررسی نمودند و جریان های نزدیک سواحل ایران را برای سطح ۰/۰۵ متر بر ثانیه و برای بستر حدود ۰/۰۴ متر بر ثانیه برآورد کردند (۱۹). این نتایج با مدل رییس السادات و بنازاده برای گردش آب ها در خلیج فارس همخوانی دارد که گردش در منطقه را تحت تأثیر عامل باد، تبخیر، اختلاف شوری، اختلاف دما، اثر چگالی، اصطکاک بستر، جزر و مد و تخلیه رودخانه ها دانستند و وجود جریان آرام

ایستگاه را دارد. مقادیر به دست آمده برای ۲۳ اسفند ۸۵ در ایستگاه A و عمق ۳۰ متری ۳/۷ cm/s برابر با ۴۰/۹ درصد میانگین سرعت جریان در ایستگاه و برای عمق ۲۵ متری در ۱۱ اردیبهشت ۸۶ در ایستگاه A و عمق ۲۵ متری ۷/۶ cm/s معادل ۳۴/۶ میانگین سرعت جریان در این ایستگاه است و در ایستگاه C و عمق ۳۵ متری ۶/۴ cm/s و معادل ۳۲/۴ درصد میانگین جریان های ورودی و خروجی به ایستگاه می باشد. داده های محاسبه شده نشان می دهد که سرعت جریان های باقی مانده شمال تنگه هرمز در گذر از فصل سرد به گرم در حال افزایش است. اما سرعت جریان های عمقی نسبت به جریان های اندازه گیری شده به وسیله فلومتر در سطح کاهش نشان می دهد. این پدیده می تواند به دلیل افزایش چینه بندی و پایداری آب در فصل گرم باشد.

نتیجه گیری

جریان های سطحی اندازه گیری شده در شمال تنگه هرمز با حداکثر سرعت ۱۱۲ cm/s دارای سرعت بیشتری نسبت به جریان های عمقی تنگه هرمز است. مقایسه سرعت جریان های اندازه گیری شده در ایستگاه های A، B و C در عمق متوسط ۲۵ متر نشان می دهد که در این ایستگاه ها با حرکت از مرکز به سمت شمال تنگه هرمز سرعت جریان ها افزایش می یابد. جریان های باقی مانده تحت تاثیر باد و اختلاف چگالی می باشند و از شمال تنگه هرمز در حرکت به سوی خلیج فارس است. در ایستگاه های مورد مطالعه اندازه سرعت جریان های باقی مانده در فصل زمستان با سرعت ۵ cm/s نسبت به فصل بهار با سرعت ۸ cm/s کمتر است. مسیر حرکت جریان ها در شمال تنگه هرمز به گونه ای است که جریان های ورودی از مسیر غربی وارد خلیج فارس شده و در مسیر جنوب شرقی از خلیج فارس وارد دریای عمان می شوند. جریان های عمقی خلیج فارس تحت تاثیر لایه بندی آب و اثرات بستر دارای سرعت کمتری نسبت به جریان های سطحی می باشند. محدوده سرعت های اندازه گیری شده در شمال تنگه هرمز با

- سطحی در شمال تنگه هرمز و امتداد سواحل شمالی خلیج فارس را پیشنهاد کردند. (۹)
- نتایج کلی**
- باد و جزر و مد بیشترین تأثیر را بر جریان های تنگه هرمز دارند.
- جریان های سطحی تنگه هرمز دارای سرعت بیشتری نسبت به جریان های عمقی تنگه هرمز است.
 - اثرات جزر و مد بر جریان های مکان های جریان سنجی شده در تنگه هرمز مشهود است.
 - با حرکت از مرکز تنگه هرمز به سمت نقاط ساحلی شمال تنگه بر سرعت جریان های جزر و مدی منطقه افزوده می شود.
 - پارامتر جزر و مدی M_2 (نیمه روزانه ناشی از ماه) بیشترین اثر را بر جریان های نقاط جریان سنجی شده دارد.
- با توجه به دما و شوری نقاط جریان سنجی شده مشخص شد که آب ورودی از دریای عمان به تنگه هرمز با آب های محلی مخلوط شده است، زیرا دما و شوری آب های منطقه با آب های دریای عمان کمی تفاوت دارد.
- تأثیر باد بر حرکت جریان های دریایی و سرعت آن ها در فصل های مختلف سال مشهود است.
- جریان های باقیمانده تحت تأثیر باد و اختلاف چگالی است و از شمال تنگه هرمز به سوی خلیج فارس حرکت می نمایند، سرعت حرکت این جریان ها در فصل زمستان نسبت به بهار کمتر است.

جدول ۲- اندازه گیری مشخصات جریان با استفاده از فلومتر

Tabl-e2 Current measurement results using Flowmeter

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق (m)	روزاندازه گیری	ساعت اندازه گیری	سرعت جریان (cm/s)	جهت جریان Degree
B	۵۶° ۲۶/۵۲'	۲۶° ۵۴/۱۶'	۳	۸۵/۱۱/۱۶	۱۰:۳۰	۳۲	۲۶۰
					۱۳:۰۰	۶۳	۳۱۰
				۸۵/۱۲/۲۳	۹:۳۰	۲۵	۳۴۰
					۱۲:۳۰	۲۷	۳۲۰
				۱۳:۴۵	۱۲	۱۷۰	
C	۵۶° ۲۶/۴۸'	۲۶° ۴۹/۲۲'		۸۶/۲/۱۱	۹:۱۵	۳۰	۳۴۰
					۱۱:۱۰	۷۲	۳۳۰
					۱۲:۱۵	۱۱۲	۳۲۰

جدول ۳- مقادیر جریان های باقی مانده و نسبت جریان های باقی مانده به میانگین جریان های ورودی و خروجی

Table 3- Residual currents value and ratio of this currents to average of input and output currents

تاریخ جریان سنجی	شماره ایستگاه	میانگین سرعت جریان های ورودی و خروجی (cm/s)	ماکزیمم سرعت جریان ورودی (cm/s)	ماکزیمم سرعت جریان خروجی (cm/s)	مولفه افقی سرعت جریان های باقی مانده (cm/s)	مولفه عمودی سرعت جریان های باقی مانده (cm/s)
۸۵/۱۱/۱۶	B	۲۰/۶	۴۰	۴۶	-۱/۶	+۲/۴
۸۵/۱۲/۲۳	B	۹/۰۳	۱۹	۱۵	-۱/۰	+۱/۶
۸۶/۲/۱۳	A	۲۱/۹۳	۴۳	۳۶	-۱/۳	+۶/۸
۸۶/۲/۱۳	C	۱۹/۷	۴۰	۳۳	-۳/۹	+۲/۵

منابع

۱. سهرابی قمی، و، ۱۳۸۵، مطالعه ساختار جریان ترموهالاینی در تنگه هرمز، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
۲. حافظ نیا، م، ۱۳۷۹، خلیج فارس و نقش استراتژیک تنگه هرمز، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی.
3. Hunter J. R. 1982. The physical oceanography of the Persian Gulf: a review and theoretical interpretations of previous observations. Paper presented at the First Gulf Conference on Environment and Pollution. Kuwait, 7-9 February 1982.
4. 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.
5. Sugden W. ,1963. The hydrology of the Persian Gulf and its significance in respect to evaporite deposition. American Journal of Science, 26i, 741-755.
6. Johns W.E., F. Yao, D.B. Olson, S.A. Josey, J.P. Grist and D.A.

با توجه به اهمیت تنگه هرمز در منطقه و برای ادامه مطالعات پیشنهاد های زیر ارائه می گردد:

- ۱- نصب جریان سنج هایی در مرکز تنگه در اعماق مختلف در فصول متفاوت و برای مدت زمان های طولانی با هدف مطالعه و بررسی تبادل آب در تنگه هرمز
- ۲- اندازه گیری پارامترهای فیزیکی (دما، شوری، چگالی و ...) در فصول مختلف سال با ایستگاه های بیشتر در منطقه
- ۳- راه اندازی ایستگاه های خودکار هواشناسی دریایی و نصب بویه های اندازه گیری پارامترهای فیزیکی در شمال تنگه هرمز
- ۴- استفاده از پیشنهادات محققین و افراد صاحب نظر و حضور موثر این افراد در گشت های تحقیقاتی به منظور بالا بردن اثرات علمی و کاربردی مطالعات تحقیقاتی دریایی
- ۵- تهیه ی تجهیزات مدرن اندازه گیری پارامترهای دریایی توسط موسسات مرتبط و به روز رسانی روش های اندازه گیری جهت رقابت علمی با دیگر کشورها به خصوص کشورهای حوزه ی خلیج فارس

14. Matsuyama M., T. Senjyu, T. Ishimaru, Y. Kitade, Y. Koike, A. Kitazawa, T. Miyazaki and H. Hamada. 1994. Density front in the Strait of Hormuz, *J. Tokyo Univ. Fisheries*, 81, 85-92.
15. Matsuyama M., Y. Kitade, T. Senjyu, Y. Koike and T. Ishimaru. 1998. Vertical structure of a current and density front in the Strait of Hormuz, in it Offshore Environment of the ROPME Sea Area after the war-related oil spill, edited by A. Otsuki, M.Y. Abdulraheem and R.M. Reynolds, Terra Sci. Publ. Co., Tokyo, 23-34.
16. Privett .D.W. 1959. Monthly charts of evaporation from the North Indian Ocean, including the Red Sea and the Persian Gulf, *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 85, 424-428.
17. Meshal A.M. and H.M. Hassan. 1986. Evaporation from the coastal waters of the central part of the Gulf, *Arab J. Sci. Res.*, 4, 649-655.
18. Ahmad F. and S.A.R. Sultan. 1990. Annual mean surface heat fluxes in the Persian Gulf and the net heat transport through the Strait of Hormuz", *Atmosphere-Ocean*, 29, 54-61.
19. Lardner. R. W, A. H. Al- Rabeh, N. Gunay, M. Hossain, R. M. Reynolds and W. J. Lehr. 1993. Computation of the Residual Flow in the ROPME Sea Area using the Mt-Mitchell data and the KFUPM/RI hydrogradynamical modeas, Final report of the Mt-Mitchell cruise the ROPME Sea Area, pp.116-150
- Smeed. 2003. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *J. Geophys. Res.*, 108, C12, 3391.
7. Johns W.E. and D.B. Olson. 1998. Observations of Seasonal Exchange through the Strait of Hormuz, *Oceanography*, 11, 58.
8. Pous.S.P. X. Carton, P. Lazure ,2004, Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and Gulf of Oman — Results from the GOGP99 ,*Geophys.Res.*,109,c12037
۹. رییس السادات. م، ۱۳۸۰، مدل سه بعدی گردش آب ها در خلیج فارس، پایان نامه دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران.
10. Reynolds R.M. 1993. Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman- Results from the Mt- Mitchell Expedition, *Mar Pollution Bull.*, 27, 35-59.
11. Swift S.A. and A.S. Bower. 2003. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf, *J. Geophys. Res.*, 108(C1), doi:10.1029/2002JC001360
12. Bower A.S., H.D. Hunt and J.F. Price. 2000. Character and dynamics of the Red Sea and Persian Gulf outflows, *J. Geophys. Res.*, 105(C3), 6387-6414.
13. Chao, S. Y., T.W. Kao, and K. R. Al-Hajri .1992. A numerical investigation of circulation in the Persian Gulf, *J. Geophys. Res.*, 97(C7), 11,219–11,236.