

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1400.7.1.5.6](https://doi.org/10.1001.1.24767131.1400.7.1.5.6)

درصد همانندی: ۱۱٪

مطالعه جریان‌های سطحی در دریای عمان با استفاده از داده‌های HYCOM

هاجر کارمی

s_karami8808@kmsu.ac.ir

دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۵

چکیده

جریان‌های سطحی اهمیت زیادی در مطالعات دریایی دارند. این جریان‌ها می‌توانند عامل مهمی در انتقال چگالی، مواد مغذی یا آلاینده‌ها در محیط‌های اقیانوسی محسوب شوند. محدوده آبی خلیج فارس و دریای عمان از مهم‌ترین آبراه‌های دنیا به شمار می‌رود. در این پژوهش، از داده‌های جریان HYCOM، در سال ۲۰۱۹ بهره گرفته شده و جریان‌های دریای عمان به صورت ماهانه در این سال، در محیط GIS، بررسی شد. قوی‌ترین جریان‌های دریای عمان در پاییز و زمستان (ژانویه و مارس)، شکل می‌گیرند. شکل جریان‌ها در زمستان چرخه‌ای و در پاییز مرزی و قدرتمند است. قطر چرخه ماه ژانویه در حدود ۲۳۵ کیلومتر است. مسیر جریان مرزی جنوبی در ماه اکتبر در حدود ۳۹۰ کیلومتر است که در حال خروج از دریای عمان است. بیشترین مقدار سرعت جریان در دریای عمان $1/1 \text{ m/s}$ و کمترین مقدار آن $0/01 \text{ m/s}$ است. جریان ورودی به خلیج فارس شوری کمتر و سرعت بیشتری نسبت به جریان خروجی دارد.

واژه‌های کلیدی: جریان دریایی، دریای عمان، HYCOM، پیچک

۱. مقدمه

شناخت جریان‌های اقیانوس برای درک بهتر محیط طبیعی ما حیاتی است. یک هدف مهم در اقیانوس‌شناسی فیزیکی، مشاهده، بازنمایی و تبیین گردش کلی اقیانوس‌ها و پیش‌بینی تغییرات جریان‌ها و خصوصیات مربوط به آن در محیط فیزیکی-شیمیایی و زیستی است. جریان‌های اقیانوس نشان‌دهنده ترکیب پیچیده‌ای از انواع حرکت‌های ادواری و دوره‌ای است که در مقیاس وسیعی از اندازه، سرعت و زمان متغیر است. تنوع سرعت و جهت جریان‌های اقیانوس از

برجسته‌ترین خصوصیات آن‌هاست [۱]. منابع زیستی در سواحل اقیانوسی (همچون صید ماهی)، یکی از راه‌های اصلی امرارمعاش مردم محسوب می‌شود. گردش جریان‌های اقیانوسی بر فعالیت‌های محلی حاشیه اقیانوسی نیز اثر می‌گذارد. در کنار این تغییرات مشاهده شده در انتقال توده‌های مغذی و نیز انتقال گرما در مسیر جریان، جریان‌های اقیانوسی بر تنوع گونه‌های زیستی در مجاورت جزایر و آب‌های ساحلی این مناطق نیز اثر شگرفی دارد [۲].

دریای عمان تا نزدیکی اقیانوس هند می‌شود. این جریان‌ها تبدلی در تنگه هرمز باعث شکل‌گیری جبهه‌های کوچکی در این منطقه می‌شود [۸]. خلیل آبادی، به مدل‌سازی سه‌بعدی گردش آب در دریای عمان با استفاده از مدل MITgcm پرداخت و به الگوی جریان چگال خروجی خلیج فارس و جبهه‌های آب دریای عمان دست یافت. نتایج این مدل‌سازی یک گردش آب ساعت‌گرد را در لایه سطحی دریای عمان نشان می‌دهد. در غرب این چرخه ساعت‌گرد، دو چرخه کوچک پادساعت‌گرد شکل گرفته است. یکی از این دو چرخه که در گوشه جنوب غربی قرار دارد تا عمق امتداد می‌یابد. در عمق بیش از ۵۰۰ متر، گردش آب پادساعت‌گرد می‌شود. نتایج این مدل‌سازی همچنین تبادل دولایه آب بین خلیج فارس و دریای عمان را نشان می‌دهد [۹]. ون سویترون و همکاران، به مطالعه گردش اقیانوس در چهار سال از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ با استفاده از داده‌های جریان مدل جهانی HYCOM^۲ پرداختند. در این تحقیق از تخمین متوسط شار انرژی جنبشی و تنوع جهت جریان در هشت منطقه با تراکم قدرت متوسط $500 W/m^2$ استفاده شد. سپس مقایسه مستقیمی بین مدل جریان HYCOM و جریان آماری محاسبه شده از داده‌های پروفایل جریان داپلر صوتی در آفریقای جنوبی و جنوب شرقی ایالات متحده انجام شد [۱۰]. جَسینت و همکاران، به شبیه‌سازی جریان‌های اقیانوس اطلس شمالی با استفاده از داده‌های جریان مدل جهانی HYCOM پرداختند [۱۱]. ترابی آزاد و همکاران، به مطالعه میدانی جریان‌ها در شمال تنگه هرمز به روش اوپلری، بررسی تغییرات فصلی جریان‌ها و نقش عوامل به وجود آورنده این جریان‌ها در تنگه هرمز پرداختند. در این تحقیق، جریان‌سنجی به‌وسیله جریان‌سنج‌های مکانیکی با دقت $\pm 1 \text{ cm/s}$ در سه نقطه شمالی تنگه هرمز در گذر زمانی دی‌ماه ۱۳۸۵ تا اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۶ جمعاً به مدت ۸ روز انجام شد. در این اندازه‌گیری‌ها از دو جریان‌سنج مکانیکی، دبی‌سنج و GPS استفاده شد [۱۲]. پاخیزه‌زن و همکاران، رژیم گردش آب و جریان‌های دریایی در قسمت شمال غرب دریای عمان و شرق تنگه هرمز را با مدل عددی مایک بررسی کردند. نتایج مدل نشان می‌دهد که در ابتدای تنگه هرمز آب‌های سطحی دریای عمان به سمت

به‌عنوان مثال این جریان‌ها نقش مهمی را در تغییرات ناشی از شوری و دما در اقیانوس اطلس شمالی ایفا می‌کنند. این جریان‌ها به شدت بر نظام‌های بومی اثر می‌گذارند و جبهه‌های آب مختلف را ایجاد می‌کنند، بنابراین محیط‌زیست این منطقه به این جبهه‌ها بستگی دارد [۳]. محدوده آبی متشکل از خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان یکی از مهم‌ترین آبراه‌ها در دنیا محسوب می‌شود که به دلایل اقتصادی و سیاسی اهمیت دارد. اطلاع از ویژگی‌های آب‌نگاری در الگوی جریان‌ها در این منطقه اهمیت ویژه‌ای دارد [۴]. در لایه سطحی خلیج فارس و دریای عمان، گرداب‌هایی تشکیل شده است که مشخصاً گردش آب در جهت عقربه‌های ساعت یا خلاف جهت عقربه‌های ساعت را نشان می‌دهند. در قسمت‌های داخلی دریای عمان، به‌ویژه منطقه جاسک و عمان، جریان پیچیده‌ای با دو گردش مخالف وجود دارد. در مناطق بین این دو چرخه که در امتداد سواحل ایران قرار دارند، جریان‌های پیچیده‌ای^۱ رخ می‌دهد [۵]. تغییرات فصلی جبهه ترموهالاینی، گرادیان‌های دما و شوری را در زمستان به صورت یک زبانه باریک در ساحل جنوبی عمان و در تابستان به صورت یک جریان جداشده از ساحل نشان می‌دهد که تا میانه دریای عمان پیشروی می‌کند. جبهه ترموهالاینی در تمام طول سال در این منطقه مشاهده شده و در تابستان، به صورت یکپارچه و در زمستان به شکل تکه‌ای است. الگوهای پیچیده جریان‌ات اقیانوسی نتیجه‌ای از مونسون‌های متناوب خلیج فارس و دریای عمان هستند [۶]. جداری عطاری و همکاران، به شبیه‌سازی جریان‌های اقیانوسی در امتداد خط ساحلی ایران در دریای عمان و شمال اقیانوس هند با استفاده از مدل سه‌بعدی غیرساختار پرداختند [۷]. اکبری‌نسب و همکاران، در یک بررسی، جریان خروجی از تنگه هرمز به دریای عمان را بررسی کردند. این تحقیق، وجود جریان نفوذی گرم و شور (جریان ترموهالاینی گرم و شور) در اعماق بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر را در دریای عمان تأیید می‌کند. در ضمن، این جریان گرم و شور (ترموهالاین)، تقریباً در طول سال در این اعماق در خلیج عمان مشاهده می‌شود. این جریان نفوذی باعث تغییراتی در مشخصه‌های صوتی (وارونگی سرعت صوت و شدت میدان صوتی)

فوری روزانه از سرعت‌های شرق و شمال، شوری، ارتفاع سطح دریا و دمای اقیانوس است. یکی از ویژگی‌های قابل توجه HYCOM طرح‌های مختصات عمودی آن است. HYCOM از یک ساختار هم‌زمان برای مدل‌سازی اقیانوس‌های عمیق، طرح‌های عمق یا فشار ثابت برای مدل‌سازی لابه‌های مخلوط، یک رویکرد مختص به دنبال زمین برای مناطق ساحلی و مختصات سطح برای مناطق بسیار کم‌عمق استفاده می‌کند [۱۰].



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه [۱۶]

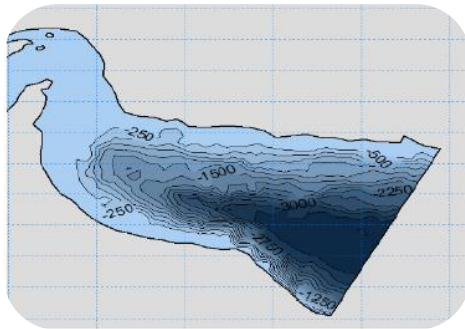
داده‌های این مدل برای اقیانوس هند، با استفاده از داده‌های میدانی و ماهواره‌ای اعتبارسنجی شده است. گردش اقیانوسی مدل در اقیانوس هند در فصل‌های مونسون و دوره‌های انتقال با واقعیت سازگاری دارد. این مدل قادر است جریان‌های سطحی را با دقت خوبی پیش‌بینی کند [۱۷]. در ابتدا داده‌های شرق‌سو و شمال‌سوی سرعت در سال ۲۰۱۹، در قالب NetCDF^۵، از سایت HYCOM گرفته شدند و در محیط نرم‌افزار GIS به شکل شبکه‌ای^۶ درآمدند. به علت گستردگی و حجم زیاد داده‌ها، تنها داده‌های ساعت ۹ صبح، در فاصله هر ۶ روز در نظر گرفته شد. سپس، از این داده‌ها میانگین ماهانه گرفته و بردارهای جریان در این نرم‌افزار ترسیم شد. سپس داده‌های میانگین ماهانه جریان کل معرفی شد و بعد از آن، به شکل شبکه‌ای در کنار داده‌های برداری قرار گرفت. یکی از ویژگی‌های دینامیکی اقیانوس، جریان‌های سطحی اقیانوسی است که نقش مهمی را در پدیده‌های ژئوفیزیکی متغیری چون انتقال دما، ال‌نینو و غیره ایفا

خلیج فارس حرکت می‌کنند. این حرکت در تمام طول سال وجود دارد؛ ولی سرعت و شدت آن در فصل تابستان بیشتر بوده است. به‌طور میانگین سرعت جریان در تنگه هرمز بین ۱۰ تا ۲۰ m/s می‌باشد. مطالعه پردازش‌های اقیانوسی در گذشته، مطالعه جریان‌های اقیانوسی به مشاهدات هیدروگرافی، وسایل اندازه‌گیری جریان و بویه‌های شناور در دوره‌های خاص زمانی، محدود شده بود. امروزه با پیشرفت علم در زمینه سنجش از راه دور، روش‌های مرسوم مطالعه جریان‌های سطحی اقیانوسی نظیر مشاهدات دوره‌ای و استفاده از داده‌های بویه‌های شناور، جای خود را به روش‌های جدیدی چون استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ارتفاع سطح آب، داده‌های باد و داده‌های مدل‌سازی‌های جهانی داده‌اند [۱۳]. جریان‌های سطحی اقیانوس هند شمالی از ترکیب دو جریان سطحی اکمن^۳ و زمینگرد^۴ حاصل می‌شود [۱۴]. با استفاده از داده‌های آماده می‌توان جریان‌های سطحی اقیانوسی را در دوره‌های منظمی تخمین زد. با بررسی جریان‌های دریایی می‌توان به رفتار فصلی و ماهانه جریان و نیز تولد، رشد و زوال پیچک‌های ماندگار دست یافت.

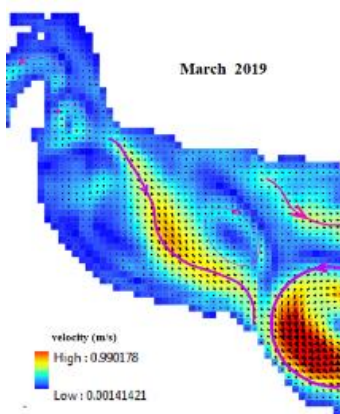
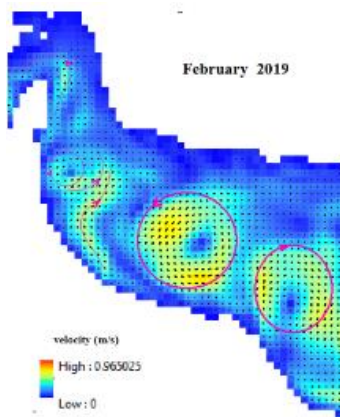
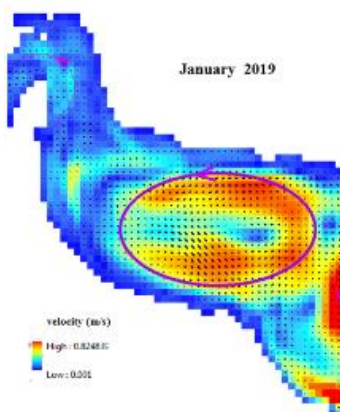
۲. مواد و روش کار

دریای عمان یک دریای حاشیه‌ای است که خلیج فارس را به اقیانوس هند مرتبط می‌کند. دریای عمان بین ۲۲ تا ۲۶ درجه شمالی و ۵۶ تا ۶۰ درجه شرقی در نیمکره شمالی قرار دارد که آب اقیانوس هند را از سمت قسمت شمال غربی آن، و از تنگه هرمز به خلیج فارس متصل می‌کند. قسمت جنوب شرقی آن، به اقیانوس هند و دریای عربی باز می‌شود. آب‌های کم‌عمق آن در قسمت ساحلی آن و در مجاورت تنگه هرمز قرار دارند [۱۵]. شکل ۱، موقعیت دریای عمان را نشان می‌دهد.

مدل HYCOM یک شبیه‌ساز سه بعدی و پیش‌بینی اقیانوس با وضوح یک دوازدهم درجه است. این وضوح مربوط به فاصله تقریبی ۸ کیلومتر در جهت طولی و ۹/۲۵ کیلومتر در جهت عرض برای ۳۰ درجه شمالی یا جنوبی است. HYCOM شامل تلفیق داده‌ها برای تولید، با یک طرح پیش‌بینی ۵ روزه، مجموعه داده‌های جهانی با عکس‌های



شکل ۲. هیدروگرافی دریای عمان [۲۰]



شکل ۳. میانگین ماهانه تغییرات مکانی جریان‌های دریای عمان در عمق ۲ متر در فصل زمستان

می‌کند. جریان‌های سطحی شامل دو مؤلفه جریان‌های ناشی از باد و جریان‌های زمینگرد است. جریان‌های سطحی کل از ترکیب خطی جریان‌های زمینگرد و جریان‌های اکمن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$u = u_e + u_g \quad (1)$$

به طوری که u_e و u_g به ترتیب جریان زمینگرد و جریان اکمن را نشان می‌دهند. داده‌های جریان کل از رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$$U = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (m/s) \quad (2)$$

در این رابطه، u بیانگر سرعت شرق‌سوی جریان، v سرعت شمال‌سوی جریان و U جریان کل است [۱۸]. در محیط‌های فشارگرای ∇ ، شعاع تغییر شکل راسبی، مقیاس طولی افقی است که در آن، میدان ارتفاع خود را در نزدیک شدن به ترازمندی زمینگرد^۱ تطبیق می‌دهد. در این محیط، تغییر شکل راسبی از دستور

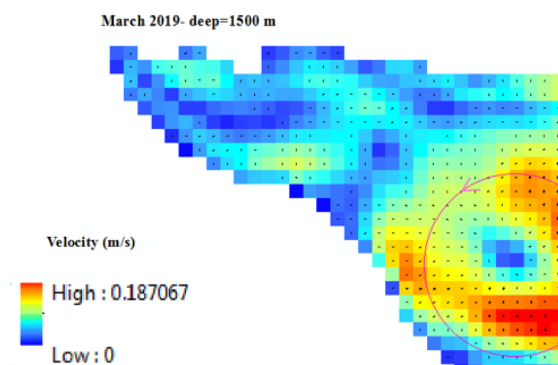
$$R_{rd} \equiv \frac{\sqrt{gH}}{f_0} \quad (3)$$

به دست می‌آید که در آن R_{rd} شعاع تغییر شکل راسبی، g شتاب گرانشی، H ژرفا یا عمق محیطی است که می‌خواهیم در آن شعاع تغییر شکل راسبی را محاسبه کنیم و f_0 نیز فراسنج کوریولیس برای همان عرض جغرافیایی است [۱۹].

۳. نتایج و بحث

بردارهای جریان به همراه مقدار کل آن، به مدت یک سال (۲۰۱۹)، در محیط نرم‌افزار GIS نمایش داده شد. این بررسی‌ها در چهار دسته، زمستان، بهار، تابستان و پاییز انجام شد. به علت ادامه برخی پیچک‌ها و جریان‌ها در خارج از محدوده دریای عمان، این بررسی‌ها گسترده‌تر انجام گرفت. شکل ۲، داده‌های هیدروگرافی دریای عمان را نشان می‌دهد. شکل ۳، تغییرات مکانی جریان‌های دریای عمان، در عمق ۲ متر را در فصل زمستان نشان می‌دهد.

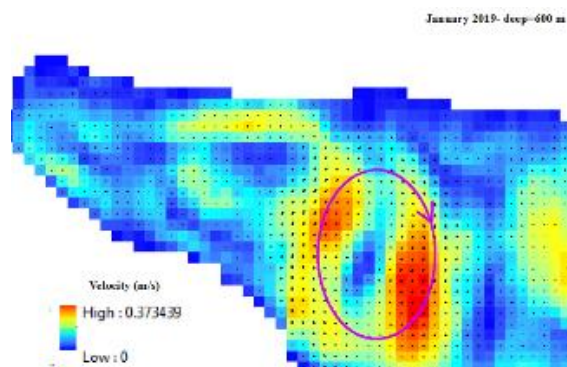
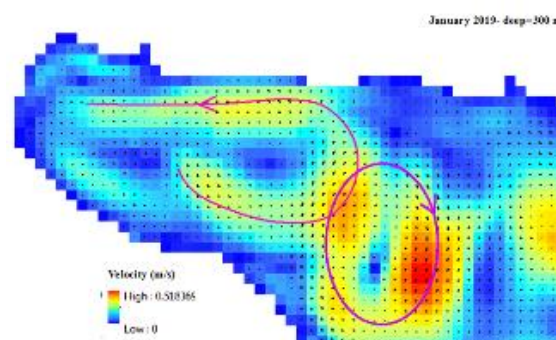
در عمق ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر، با استفاده از رابطه ۳، در عرض N° ۲۳/۷۵، تغییر شعاع راسبی برابر با ۱۳۰۶-۹۲۳ متر خواهد بود. در این ماه از سال، جریان قوی دیگری در نزدیکی این جریان است که در عمق ۲ متر، جهتی رو به جنوب دریای عمان دارد. طول مسیر این جریان در حدود ۱۲۶ متر است. جریان ورودی خلیج فارس در این ماه، بسیار ضعیف و پادساعت‌گرد می‌باشد. در دومین ماه سال (فوریه)، از سرعت جریان‌ها کاسته می‌شود، با این حال سرعت جریان ورودی به خلیج فارس در تنگه هرمز افزایش می‌یابد. یک جریان پیچه‌ای پادساعت‌گرد با قطری در حدود ۱۲۴ کیلومتر و یک جریان پیچه‌ای دیگر با قطری در حدود ۱۱۸ کیلومتر در این ماه از سال دیده می‌شود. در مارس، جریان پادساعت‌گرد ماه قبل، با جابه‌جایی بیش از ۴۵ کیلومتر، ظاهر می‌شود. سرعت جریان در این چرخه نسبت به ماه پیش افزایش یافته است. تجمع بردارهای جریان در سمت چپ این چرخه، به‌خوبی این مسئله را تأیید می‌کند. این جریان پادساعت‌گرد تا عمق ۱۵۰۰ متر هم دیده می‌شود. شکل ۵، این جریان را در عمق ۱۵۰۰ متر نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمایش جریان در عمق ۱۵۰۰ متر در دریای عمان در ماه مارس سال ۲۰۱۹

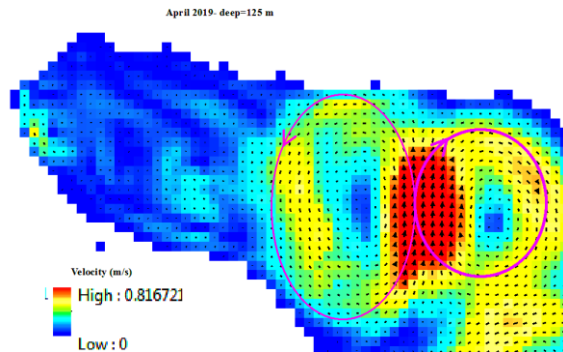
در عمق ۱۵۰۰ متر، با استفاده از رابطه ۳، در عرض N° ۲۴، تغییر شعاع راسبی برابر ۲۰۴۴/۵ متر خواهد بود. جریان ساعت‌گرد ماه فوریه در عمق ۲ متر، در مارس به کلی از بین رفته و جای خود را به یک جریان مارپیچی داده است. طول مسیر این جریان در حدود ۲۹۷ کیلومتر است. شکل ۶، تغییرات مکانی جریان‌های دریای عمان، در عمق ۲ متر را در فصل بهار نشان می‌دهد.

در اولین ماه زمستان (ژانویه)، دو جریان قوی مشهود است. یک جریان پادساعت‌گرد بسیار قوی و بیضی‌شکل، در وسط دریای عمان، در این ماه از سال دیده می‌شود که قطر بزرگی در حدود ۲۳۵ کیلومتر دارد. بیشینه سرعت جریان‌های این ماه m/s ۰/۸ است. عمق‌سنجی دریای عمان در این مناطق تفاوت‌های زیادی را نشان می‌دهد که ناشی از اختلاف در توپوگرافی است. جبهه‌های این ناحیه در اثر اختلاف شیب ایجاد می‌شوند و این جریان‌های پیچکی را شکل می‌دهند. با افزایش عمق، از سرعت جریان کاسته می‌شود. این جریان پادساعت‌گرد تا عمق ۳۰۰ متر حالت خود را در کنار یک جریان ساعت‌گرد قوی‌تر، حفظ کرده است. این نتیجه با مطالعه خلیل‌آبادی و همکاران که روی امواج داخلی دریای عمان صورت گرفته است تطابق دارد. آن‌ها دریافتند که یک موج داخلی بزرگ در عمق ۱۵۰ تا ۲۵۰ متر در بهار و تابستان وجود دارد که در پاییز ضعیف شده و در زمستان به کلی از بین می‌رود [۲۱]. اما در عمق ۶۰۰ متر کاملاً ضعیف شده است. شکل ۴، تغییرات جریان را در اعماق ۳۰۰ و ۶۰۰ متر نشان می‌دهد. بیشینه سرعت جریان در عمق ۳۰۰ متر، m/s ۰/۵۱ و در عمق ۶۰۰ m، m/s ۰/۳۷ است.



شکل ۴. تغییرات جریان در اعماق ۳۰۰ و ۶۰۰ متر در ماه ژانویه سال ۲۰۱۹ در دریای عمان

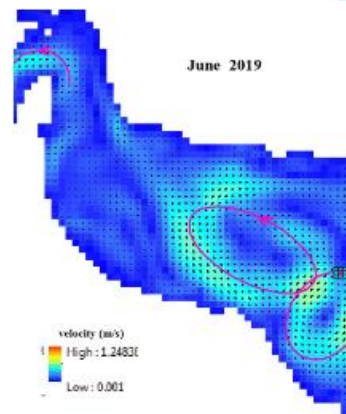
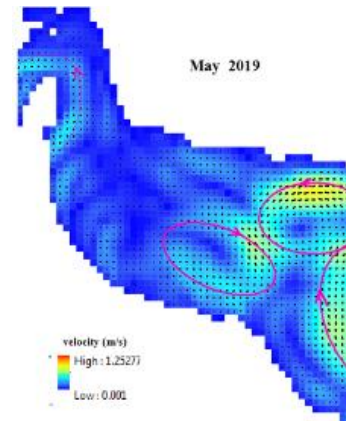
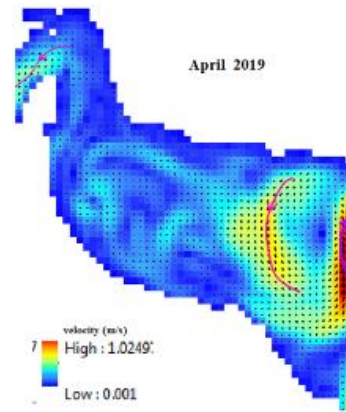
جریان پیچهای پادساعت گرد می شود که دارای مرزی با سرعت زیاد، با جریان پیچهای پادساعت گرد مجاورش است. جریان ورودی به خلیج فارس، در این ماه از سال قوی تر از پیش شده است. شکل ۷، شکل گیری این جریان را در عمق ۱۲۵ متری در این ماه از سال نشان می دهد.



شکل ۷. شکل گیری جریان در عمق ۱۲۵ متر، در ماه آوریل سال ۲۰۱۹

در ماه می، از سرعت جریانها در عمق ۲ متر، در دریای عمان کاسته می شود. در این ماه، تنها دو جریان چرخشی ضعیف به شکل بیضی، دیده می شود که یکی جهتی پادساعت گرد با قطر بزرگی در حدود ۱۴۰ کیلومتر دارد و دیگری ساعت گرد با قطر متوسط ۱۴۵ کیلومتر است. این دو جریان، با هستههایی خنک و کم سرعت، درست در مجاورت هم در حرکت هستند. در ژوئن، از سرعت جریانها کاسته شده است، باین حال، سرعت جریان ورودی در دهانه تنگه هرمز رشد بیشتری داشته است. دو جریان چرخشی ماه پیش، در این ماه با سرعتهایی کمتر و در سطح وسیع تری گسترش یافته اند. می توان گفت در این ماه، این دو جریان، شکل چرخشی خود را از دست داده اند. شکل ۸، تغییرات مکانی جریانهای دریای عمان، در عمق ۲ متر را در فصل تابستان نشان می دهد.

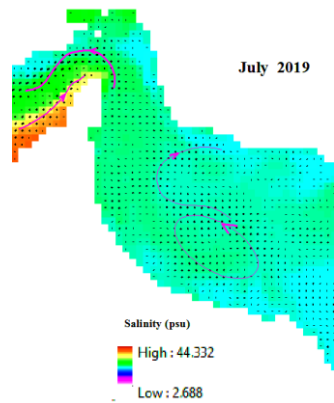
با نزدیک شدن فصل گرما، سرعت جریان به شدت کاهش می یابد. به گونه ای که در اولین ماه از فصل تابستان، هیچ جریان پرسرعتی مشاهده نمی شود. اما سرعت جریان در تنگه افزایش می یابد. در تنگه هرمز دو جریان در حال شکل گیری است، یکی جریانی غرب سو که به درون خلیج فارس امتداد دارد و دیگری جریانی به سمت خارج از خلیج فارس. جریان ورودی به خلیج فارس، بعد از وارد شدن به این خلیج دارای



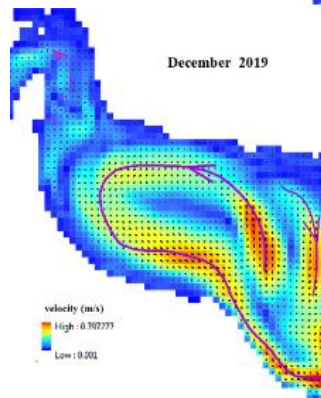
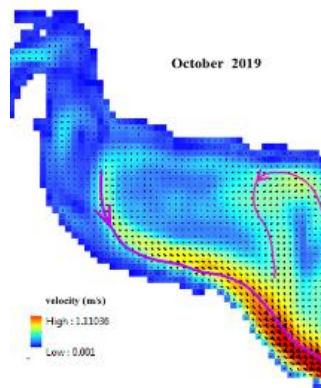
شکل ۶. تغییرات مکانی جریانهای دریای عمان در عمق ۲ متر در طول فصل بهار

در اولین ماه از فصل بهار (آوریل)، خبری از جریانهای پرسرعت در دریای عمان در عمق ۲ متر نیست. در این ماه، تنها یک جریان قوی در شرق دریای عمان حضور دارد که در واقع قسمتی از یک جریان چرخشی قوی و ساعت گرد است که در حال خروج از دریای عمان می باشد. در کنار این جریان قوی و ساعت گرد، یک جریان با سرعت متوسط به چشم می خورد. طول مسیر این جریان در ماه آوریل، در عمق ۲ متر، نزدیک به ۱۲۹ کیلومتر و جهت آن به سمت شمال دریای عمان است. با افزایش عمق، این جریان تبدیل به یک

می‌خورد که قطری در حدود ۱۴۵ کیلومتر دارد. یک جریان چرخشی پادساعت‌گرد نیز در جنوب شرقی دریای عمان دیده می‌شود که سرعت‌های بیشتری دارند. در سپتامبر، جریان‌های چرخشی شکل خود را به کلی از دست داده و تبدیل به جریان‌هایی پراکنده و کم‌سرعت شده‌اند. تنها جریان پرسرعت این ماه، جریانی در نزدیکی سواحل جنوب شرقی است که در حال خارج شدن از دریای عمان است. شکل ۱۰، تغییرات مکانی جریان‌های دریای عمان، در عمق ۲ متر را در فصل پاییز نشان می‌دهد.

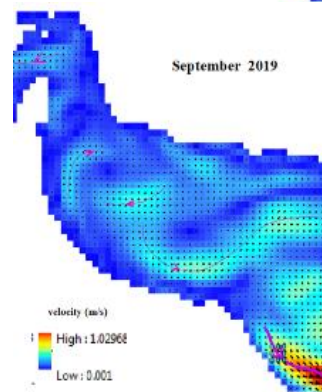
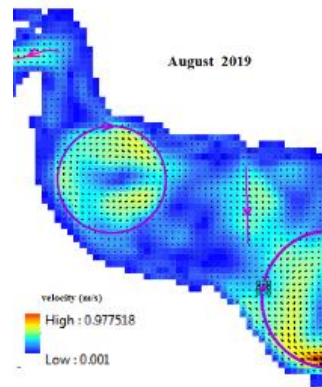
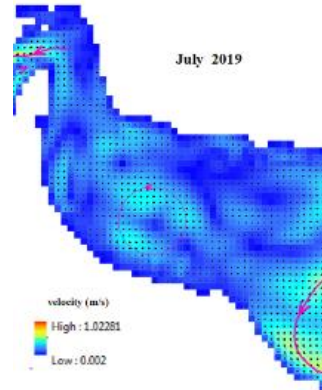


شکل ۹. مقادیر شوری و بردارهای جریان، در تنگه هرمز در ماه ژوئیه



شکل ۱۰. تغییرات مکانی جریان‌های دریای عمان در عمق ۲ متر در فصل پاییز

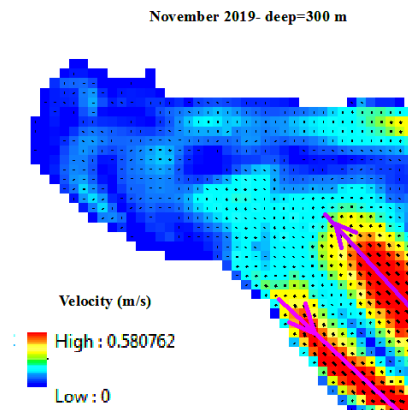
سرعت بیشتری می‌شود. با ترسیم داده میانگین ماهانه شوری در عمق ۲ متر، می‌توان تفاوت این دو جریان را مشاهده نمود. شکل ۹، مقادیر شوری را در این ناحیه در ماه ژوئیه، همراه با بردارهای جریان نشان می‌دهد.



شکل ۸. تغییرات مکانی جریان‌های دریای عمان، در عمق ۲ متر در طول فصل تابستان

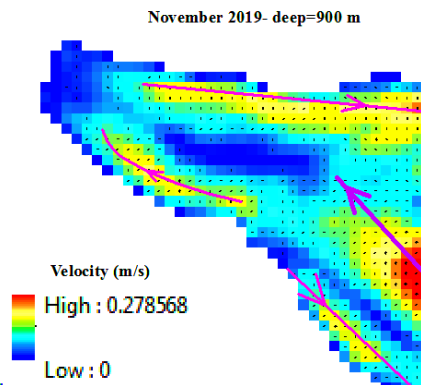
جریان ورودی به خلیج فارس دارای شوری کمتری و سرعت بیشتری نسبت به جریان خروجی از آن است. در ماه اوت، دومین ماه از فصل تابستان، مقادیر سرعت جریان در عمق ۲ متر در دریای عمان روندی افزایشی دارند. جریان ورودی خلیج فارس نیز سرعت بیشتری دارد. در این ماه، یک جریان ساعت‌گرد تقریباً در ۱۳۳ کیلومتر تنگه هرمز به چشم

۳۰۰ متر نیز این جریان‌ها، با سرعت کمتری، به همین شکل دیده می‌شوند. شکل ۱۲، این جریان‌ها را در این ماه از سال، در عمق ۳۰۰ متر نشان می‌دهد.



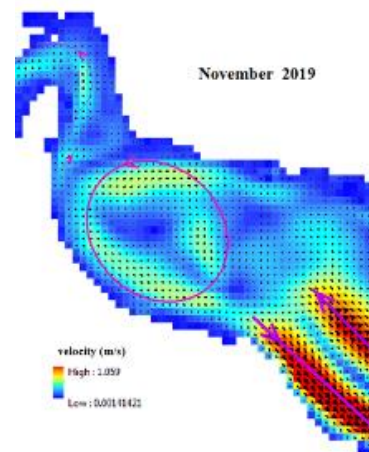
شکل ۱۲. تغییرات جریان‌های دریای عمان در ماه نوامبر ۲۰۱۹، در عمق ۳۰۰ متر

جریان مرزی که در جنوب شرقی دریای عمان دیده می‌شد، در عمق ۹۰۰ متر از بین می‌رود. در این عمق جریان‌های جدیدی دیده می‌شود، هرچند سرعت جریان‌ها در این عمق به شدت کاهش یافته است. شکل ۱۳، این جریان‌ها را در این ماه از سال، در عمق ۹۰۰ متر نشان می‌دهد.



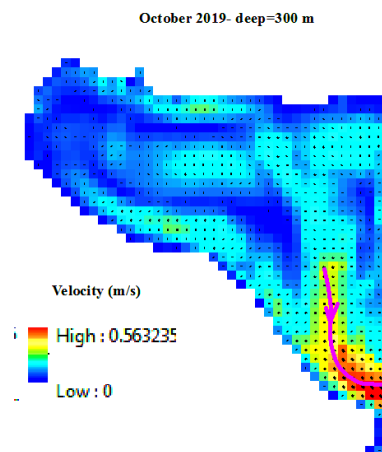
شکل ۱۳. تغییرات جریان‌های دریای عمان در ماه نوامبر ۲۰۱۹، در عمق ۹۰۰ متر

در آخرین ماه از سال (دسامبر)، یک جریان مارپیچی قوی دیده می‌شود که احتمالاً در ژانویه سال بعد در بهترین حالت خود دیده خواهد شد. این جریان، همان جریانی است که در نوامبر شروع به شکل‌گیری می‌کند و در ژانویه به صورت یک جریان چرخه‌ای قوی، بزرگ و پادساعت‌گرد رؤیت می‌شود.



شکل ۱۰ (ادامه). تغییرات مکانی جریان‌های دریای عمان در عمق ۲ متر در فصل پاییز

با خنک شدن هوا در پاییز، بر شدت جریان‌ها افزوده می‌شود. در اکتبر، یک جریان قوی با طول مسیر تقریبی ۳۹۰ کیلومتر، در جنوب دریای عمان دیده می‌شود که در پایین‌سوی جریان شدتش رو به فزونی است و سرعت بیشینه‌ای در حدود ۱/۱ m/s دارد. با افزایش عمق از شدت و نیز طول مسیر این جریان کاسته می‌شود. شکل ۱۱، تغییرات جریان‌های دریای عمان را در ماه اکتبر ۲۰۱۹، در عمق ۳۰۰ متر نشان می‌دهد.

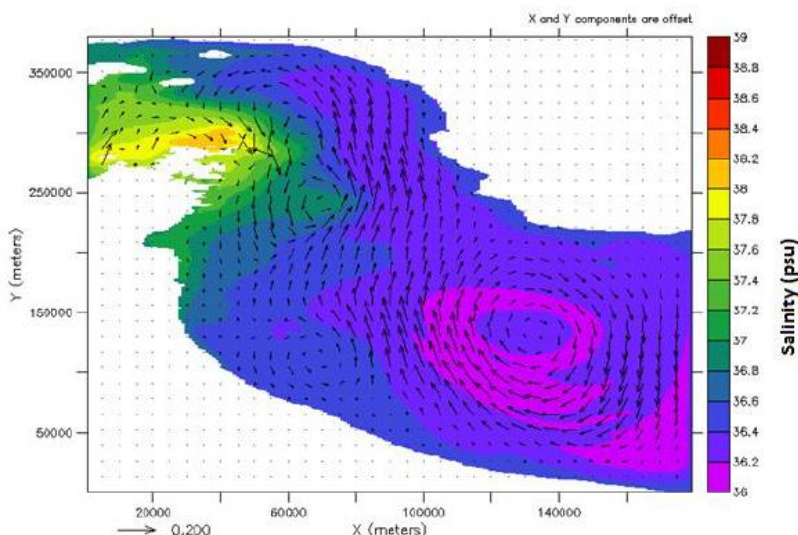


شکل ۱۱. تغییرات جریان‌های دریای عمان در ماه اکتبر ۲۰۱۹، در عمق ۳۰۰ متر

در نوامبر، یک جریان چرخه‌ای پادساعت‌گرد با قطری در حدود ۱۷۷ km در حال شکل‌گیری است. جریان ماه قبل، با طول مسیری کمتر اما به همان شدت، در کنار جریان قدرتمند دیگری قرار گرفته است. جهت این دو جریان بر خلاف هم است و فاصله‌ای در حدود ۶۷ کیلومتر از هم دارند. در عمق

گردش آب در دریای عمان با نرم‌افزار MITgcm را بررسی کرد که طی آن، پیچک ساعت‌گرد دریای عمان شناسایی شد [۹]. شکل ۱۴، نتیجه این مطالعات را نشان می‌دهد. بعلاوه جریان ورودی به خلیج فارس دارای شوری کمتر و سرعت بیشتر نسبت به جریان خروجی آن نشان داده شد که مطابق با بررسی‌های این مقاله (شکل ۹) می‌باشد.

یک جریان نسبتاً قوی دیگری در شرق دریای عمان دیده می‌شود که جهتی به سمت جنوب داشته و طول مسیری در حدود ۱۳۶ km دارد. حضور پیچک‌های دریای عمان در مطالعات دیگر نیز به چشم می‌خورد. کارمی به شناسایی جبهه‌های دمایی در خلیج فارس پرداخت. طی این بررسی دو پیچک اصلی دریای عمان به‌عنوان جبهه‌هایی که در اکثر ماه‌های سال حضور دارند معرفی شدند [۲۲]. خلیل‌آبادی



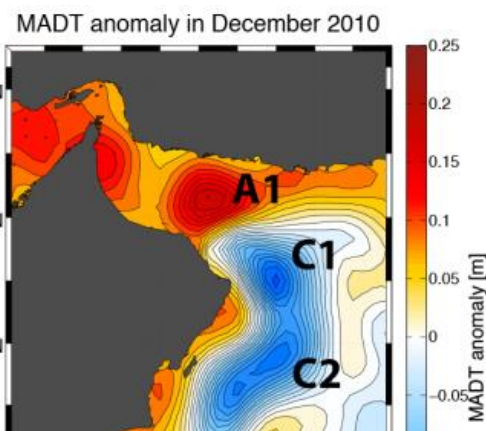
شکل ۱۴. گردش آب سطحی دریای عمان (بردارها) و شوری سطحی آب (رنگ زمینه) [۹]

طی این بررسی در فصل بهار، یک پیچک آنتی‌سیکلون (A_1) در دهانه دریای عمان شناسایی شد که از دسامبر شکل می‌گیرد و تا آوریل حضور دارد. در این مقاله نیز، این پیچک در ژانویه، فوریه، آوریل، می و آگوست دیده می‌شود [۲۳].

ال‌هگرت و همکاران، به بررسی جریان خروجی خلیج فارس و تشکیل پیچک‌ها در دریای عمان بر اساس مشاهدات ماهواره‌ای و داده‌های MDAT^۹ در سال ۲۰۱۱ پرداختند. شکل ۱۵، نتایج این بررسی را در ماه دسامبر ۲۰۱۰ نشان می‌دهد.

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با استفاده از داده‌های سایت HYCOM، جریان در دریای عمان در عمق ۲ متر، در سال ۲۰۱۹، به‌صورت ماهانه بررسی شد. در این بررسی قوی‌ترین جریان‌های فصلی شناسایی و خصوصیات هریک بیان شد. قوی‌ترین جریان‌ها در فصل پاییز و زمستان (در ماه‌های ژانویه و مارس)، شکل می‌گیرند؛ در حالی که در فصل بهار و تابستان، جریان قوی به چشم نمی‌خورد. در زمستان جریان‌ها شکل‌هایی پیچیده‌ای به خود می‌گیرند، اما در تابستان مرزی و قوی بوده و در حال خارج شدن از دریای عمان هستند.



شکل ۱۵. شناسایی پیچک ساعت‌گرد دریای عمان با استفاده از داده‌های MADT در دسامبر ۲۰۱۰ [۲۳]

[A] اکبری نسب محمد، جعفرزاده مهدی، عبدالله نژاد ابوالحسن. بررسی روند جریان نفوذی از خلیج فارس به دریای عمان. ارائه شده در: دومین همایش بین‌المللی اقیانوس‌شناسی خلیج فارس؛ ۱۳۹۲ بهمن ۶۹-۶۷؛ تهران، ایران.

[9] Khalilabadi MR. 3D modeling of Circulation in the Oman Sea Using the MITgcm Model. *Hydrophysics*. 2016 Sep 21;2(1):61-8.

[10] VanSwieten JH, Meyer I, Alsenas GM. Evaluation of HYCOM as a tool for ocean current energy assessment. *Proceedings of the 2nd Marine Energy Technology Symposium METS14 2014 Apr 15-18; Seattle, WA*.

[11] Chassignet EP, Smith LT, Halliwell GR, Bleck R. North Atlantic simulations with the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference pressure, and thermobaricity. *Journal of Physical Oceanography*. 2003 Dec;33(12):2504-26.

[12] Torabi Azad M, Hamzei S. Field Study of Currents in the North of Strait Hormuz. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2016 Mar 20;18(1):61-77.

[۱۳] پاخیره زن محمد، راه بانى مریم، بلوچی ساجده، اسلامى مهدى آبادى فایقه. شبیه‌سازی جریان‌های شمال غرب دریای عمان با استفاده از مدل مایک. ارائه شده در: شانزدهمین همایش صنایع دریایی ایران؛ ۱۳۹۳ آذر؛ بندرعباس، ایران.

[14] Sikhakolli R, Sharma R, Basu S, Gohil BS, Sarkar A, Prasad KV. Evaluation of OSCAR ocean surface current product in the tropical Indian Ocean using in situ data. *Journal of earth system science*. 2013 Feb 1;122(1):187-99.

[15] 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.

[16] Google Earth [Internet]. 2022 [update 2022; cited 2022 Jan 3]. Available <https://earth.google.com/web/@24.68473717,58.67867767,218.70762527a,1431916.8530193d,35y,0h,0t,0r>

[17] George MS, Bertino L, Johannessen OM, Samuelsen A. Validation of a hybrid coordinate ocean model for the Indian Ocean. *Journal of*

پیچک پادساعت گرد عمان در ژانویه قوی و بزرگ بوده و تا عمق ۳۰۰ متر نفوذ می‌کند. حداکثر شعاع راسبی در عرض ۲۳/۷۵ تقریباً برابر با ۱۳۰۶ متر است. در کنار این پیچک، پیچک ساعت گرد دیگری دیده می‌شود که کوچک‌تر و با سرعت کمتری جریان دارد. در ماه‌های بعد این پیچک پادساعت گرد ضعیف شده و در مارس جای خود را به جریان‌های قوی دیگری داده که با گردش کلی عمان همراه می‌گردد.

سپاسگزاری

در پایان از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدتقی زمانیان بسیار سپاسگزارم، زیرا بدون راهنمایی‌های ایشان تامین این مقاله بسیار مشکل می‌نمود.

مراجع

[1] Neumann G. *Ocean currents*. Elsevier; 2014 May 14.

[2] Tomczak M, Godfrey JS. *Regional oceanography: an introduction*. Daya books; 2003.

[3] Belkin IM, Cornillon PC, Sherman K. Fronts in large marine ecosystems. *Progress in Oceanography*. 2009 Apr 1;81(1-4):223-36.

[۴] اکبری پرستو. مدل‌سازی عددی گردش آب دریای عمان با استفاده از مدل FVCOM [رساله دکتر]. خرمشهر: دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر. ۱۳۹۵.

[5] Farzaneh S, Parvazi K, Noroozi T. Investigation of Geostrophic and Ekman surface current using satellite altimetry observations and surface wind in Persian Gulf and Oman Sea. *Journal of the Earth and Space Physics*. 2018 Dec 22;44(4):1-8.

[6] Ghazi E, Ezam M, Aliakbari Bidokhti A, Torabi Azad M, Hasanzade E. Modeling Thermohaline Front of the Persian Gulf Outflow in the Oman Sea. *Hydrophysics*. 2018 Aug 23;4(1):1-7.

[7] Jedari Attari M, Haghshenas SA, Bakhtiari A, Nemati MH. Ocean Currents Modeling along the Iranian Coastline of the Oman Sea and the Northern Indian Ocean. *Journal of Hydraulic Structures*. 2018 Jun 1;4(1):36-54.

Operational Oceanography. 2010 Jan 1;3(2):25-38.

[18] Stommel H. Wind-drift near the equator. Deep Sea Research (1953). 1959 Jan 1; 6:298-302.

[19] Gill AE, Adrian E. Atmosphere-ocean dynamics. Academic press; 1982 Dec 12.

[20] Derakhshan Alamdarloo P, Khalilabadi M, Dehghani Ashkezari G. Modeling Marine Currents in the Gulf of Oman Using the Mike3D Model. Journal of Environmental Science Studies. 2020 Mar 20;5(1):2404-12.

[21] Khalilabadi MR, Sadrinassab M, Chegini V, Akbarinassab M. Internal Wave Generation in the Gulf of Oman (Outflow of Persian Gulf). Indian journal of Geo-Marine Sciences. 2015;44(3):371-5.

[۲۲] کارمی هاجر. شناسایی جبهه‌ها در خلیج فارس با

استفاده از تصاویر ماهواره [پایان‌نامه کارشناسی ارشد].

مازندران: دانشگاه مازندران. ۱۳۹۵.

[23] L'Hégaret P, Carton X, Louazel S, Boutin G. Mesoscale eddies and submesoscale structures of Persian Gulf Water off the Omani coast in spring 2011. Ocean Science. 2016 May 20;12(3):687-701.

پی‌نوشت

1. Complicated current
2. HYbrid Coordinate Ocean Model
3. Ekman Surface Current
4. Surface Geostrophic Current
5. Network Common Data Form
6. Raster
7. Barotropic
8. Geostrophic equilibrium
9. Mean Absolute Dynamic Topography