مطالعه جت‌های ساحلی خلیج فارس تحت تاثیر ترموکلاین با استفاده از شبیه سازی عددی

حسام الدین مهرفر[۱]، مسعود ترابی آزاد[۲]*، کامران لاری[۳]، عباسعلی علی اکبری بیدختی[۴]

[۱] گروه فیزیک دریا/ دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، hmehrfar@gmail.com
[۲] دانشیار/ دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران، m_azad@iau-tnb.ac.ir
[۳] دانشیار/ دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران، k_lari@iau-tnb.ac.ir
[۴] استاد/ موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران، bidokhti@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۲۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

کلمات کلیدی:
شبیه سازی عددی
جریان ساحلی
خلیج فارس
مدل کوهیرنس
ترموکلاین

چکیده

گردش فصلی جریان‌های ساحلی خلیج‌فارس با تفکیک‌پذیری افقی طول و عرض جغرافیایی ۲ دقیقه، با استفاده از مدل عددی کوهیرنس شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که جریان‌های سواحل ایران به سمت شمال‌غربی در ماه‌های دی تا فروردین گسترش می‌یابد و به بیشترین شدت خود در ماه‌های خرداد تا مرداد، زمانی که جریان درون‌ریز سطحی از طریق تنگه هرمز و با استقرار ترموکلاین فصلی به تدریج قوی‌تر می‌شود، می‌رسد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده گسترش ترموکلاین با شروع فصل گرما است. تحت این شرایط جریان‌های ساحلی قوی‌تری در تابستان به وجود می‌آید. نتایج شبیه‌سازی وجود جت ساحلی را در ماه‌های اردیبهشت تا مهر با سرعت حدودا ۳۰ cm/s نشان داد. جت ساحلی در مجاورت سواحل ایران تنها محدود به سطح است و به‌طرف جنوب‌شرقی حرکت می‌نماید، اما جت‌ساحلی در مجاورت عربستان سعودی در تمامی ستون آب به طور کامل از سطح تا بستر وجود دارد و به سمت جنوب‌شرقی حرکت می‌کند.

Study of the Persian Gulf coastal jets under the influence of thermocline using numerical simulation

Hesameddin Mehrfar[1], Masoud Torabi Azad[2*], Kamran Lari[3], Abbas-Ali Ali-Akbari Bidokhti[4]

1 Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; hmehrfar@gmail.com
2 Associate Professor, Department of Marine Science & Technology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran; m_azad@iau-tnb.ac.ir
3 Associate Professor, Department of Marine Science & Technology, Islamic Azad University, Tehran North Branch, Tehran, Iran; k_lari@iau-tnb.ac.ir
4 Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran; bidokhti@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 15 Nov. 2019
Accepted: 05 Jan. 2020

Keywords:
Numerical Simulation
Coastal Currents
Persian Gulf
COHERENS Model
Thermocline

ABSTRACT

Seasonal circulation of coastal currents of the Persian Gulf with a horizontal resolution of 2-minutes of latitude and longitude was simulated using COHERENS numerical model. The currents of the Iranian coasts flew northwestward from January to April, reaching the highest level from June to August, when surface inflow currents through the Strait of Hormuz gradually became stronger with establishment of the seasonal thermocline. The simulation results indicated thermocline expansion with the onset of the heating season. Under the mentioned conditions, stronger coastal currents were generated in summer. The simulation results showed the presence of coastal jet with a speed of approximately 30 cm/s from May to October. The coastal jet near the Iranian coasts is only confined to the surface, moves toward southeast; however, the coastal jet in the vicinity of Saudi Arabia is entirely present at all columns of water from surface to the seabed and moves toward southeast.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]

۱ – زمینه هدف

در علم اقیانوس‌شناسی منطقه ساحلی به آب‌های امتداد داده شده به‌طرف خشکی به میزان یک کیلومتر از بالاترین سطح آب دریا و به‌طرف دریا تا خط هم‌عمق سی‌متر تعریف شده است. این منطقه شامل آب‌های بستر، ورودی رودخانه‌ها، مصب‌ها، شاخاب‌ها، خلیج-های کوچک و همچنین بالاترین میزان جزرو مد را شامل می‌شود. مطالعه مناطق ساحلی و فرآیند حرکات در آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری‌که حرکات ساحلی در فرسایش سواحل و تغییر شکل آنها و انتقال آلودگی‌ها و مسائل زیست محیطی، ایجاد و تاسیس سازه‌های زیر دریائی و مطالعات صید و شیلاتی نقش بسیار عمده‌ای دارند. یکی از حرکات ساحلی در مقیاس متوسط جریان‌های قوی در امتداد ساحل است که به جت ساحلی موسوم می‌باشند. جت‌های ساحلی نقش مهمی در آب و هوای مناطق ساحلی دارند. از نظر نظامی و حرکت اجسام در زیر آب، شناخت جریان‌های زیر سطحی کاملاً مهم و ضروری است. جریان‌ها نقش مهمی در انتقال آلودگی‌های ناشی از پس‌آبِ کشتی‌ها، کارخانه‌ها، آلودگی‌های نفتی و پس‌ماندهای وارد شده در محیط اقیانوسی را دارند. از آن‌جاکه آبزیان در شرایط مناسب اقلیمی خود مثلاً در شوری و دمای ویژه‌ای زندگی می‌کنند؛ بنابراین در بحث مهاجرت آبزیان، جریان‌ها نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند، یعنی از لحاظ صنعت شیلاتی نیز، بررسی جریان‌ها حائز اهمیت است.

خلیج فارس یک حوضه نیمه‌بسته و کم عمق با میانگین ۳۵ متر است که از طریق تنگه هرمز به خلیج عمان متصل می‌شود. گردش در خلیج‌فارس اول ناشی از بادهای غالب شمال‌غربی، شار شناوری و تکانه وابسته به آن، پس از آن نیروهای ترموهالاینی و سوم ناشی از نیروی جزر و مد است. [۱]. نتایج با استفاده از شبیه سازی با تفکیک پذیری بالا (۳ کیلومتر) در خلیج فارس نشان می‌دهد، تبادلات قابل ملاحظه در مقیاس درون فصلی در ساختارهای ترموهالاین و جریان‌ها نیز اتفاق می‌افتد، که توسط نیروهای کشندی با فرکانس بالا و نیروهای اتمسفری تشدید می شود، که می‌تواند شکل و شدت گردش چرخندی، موقعیت شاخه رودخانه، میزان توسعه یک فراجوشی در طول سواحل شمال‌غربی ایران، جریان های برگشتی از ساحل در طول سواحل عربی و پراکنش پیچک‌های میان مقیاس را تحت تاثیر قرار دهد [۲]. جریان آب در خلیج‌فارس فصلی است و به میزان زیادی به اختلاف چگالی و بادها بستگی دارد. در تابستان جریان از لحاظ پهنا گسترده‌تر است و به خیلی دورتر به طرف شمال تا نزدیکی راس خلیج‌فارس می‌رسد. همچنین یک جت ساحلی قوی به سمت جنوب، در شرق قطر که عمدتاً ناشی از باد است، پیش‌بینی شده‌است [۳]. انتقال توده‌های آب در اثر تعادل ژئوستروفیک در ناحیه برخورد دو توده آب با چگالی‌های متفاوت در مناطق ساحلی ایران و عربستان سعودی و وزش بادهای غالب شمال غربی سبب ایجاد جریان‌های سطحی و قوی در مجاورت سواحل ایران و عربستان سعودی در قسمت شمالی خلیج فارس می‌گردد که آنرا جت ساحلی می‌نامند [۴]. تاپیل و هوگان (۲۰۱۰) اثر باد شمال زمستانه بر خلیج‌فارس را مطالعه و شبیه‌سازی کردند. آنها بازه زمانی ۲۰ نوامبر تا ۵ دسامبر ۲۰۰۴، یک دوره مناسب برای رخداد باد شمال، را بررسی کردند. نتایج مدل حاکی از این است که باد شدید نه تنها گردش کل خلیج فارس را تقویت می‌کند، بلکه یک جریان به سمت شمال غرب، در سواحل ایران، به شدت (۳۰-۲۵ cm/s) از تنگه هرمز تا طول ۵۲ درجه شرقی که متمایل به سمت ساحل است، ایجاد می‌کند [۵]. کمف و همکاران (۲۰۰۶) گردش آب در خلیج فارس را مطالعه و شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان می‌دهد که در طول پاییز و زمستان، شبیه سازی‌ها برقراری یک الگوی جریان پایدار در جهت عقربه‌های ساعت را در شمال خلیج فارس نشان می دهد، که شامل یک جت ساحلی پایدار در امتداد ساحل ایران است که با حداکثر سرعت ۱۰cm/s در جهت جنوب شرق حرکت می‌کند [۶]. حسینی بالام و همکاران(۲۰۱۱)، گردش خلیج‌فارس را تحت‌تاثیر تنش باد و شارسطحی ترموهالاینی با استفاده از مدل عددی هیدرودینامیکی کوهیرنس[1] بررسی کردند. آنها نشان دادند شارهای گرمایی نقشی اساسی در گردش عمومی خلیج‌فارس بازی می‌کنند. در بهار و تابستان تنش باد، جریان‌های سطحی جنوب‌شرقی با سرعت حدود ۵ cm/s در طول سواحل ایرانی و عربستان سعودی در خلیج‌فارس ایجاد می‌کند [۷]. مهندسی‌نمین و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از مدل عددی کوهیرنس، عملکرد چند طرحواره تلاطمی درشبیه‌سازی عددی هیدرودینامیک یک حوضه نیمه‌بسته مانند خلیج‌فارس را بررسی کردند. آزمایش مدل با طرحواره‌های بستار تلاطمی $k-\varepsilon$ و $k-l$ نشان می‌دهد که طرحواره $k-\varepsilon$ در آب‌های ورودی خلیج فارس اختلاط کمتری را نشان می‌دهد. جریانات برای آزمایشی که طرحواره $k-l$ اعمال می‌شود دارای سرعت بیشتری هستند که باید با اختلاط بیشتر همراه باشند و با الگوهای شوری نیز مطابقت دارند [۸]. ترابی آزاد و مهرفر (۲۰۱۷) تغییر پذیری جت های ساحلی خلیج فارس را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند و مشخص شد شکل گیری جت های ساحلی مرتبط با گرایان فشار است. دینامیک چنین حرکاتی غیر خطی و غیر شبه ژئوستروفیک و برای آنها عدد بدون بعد راسبی تقریباً از مرتبه یک است. همچنین انتقال توده آب در اثر تعادل ژئوستروفیک به مناطق ساحلی ایران و عربستان سعودی و وزش بادهای غالب شمال غربی سبب ایجاد دو جت قوی در مجاورت این مناطق می شود [۹].

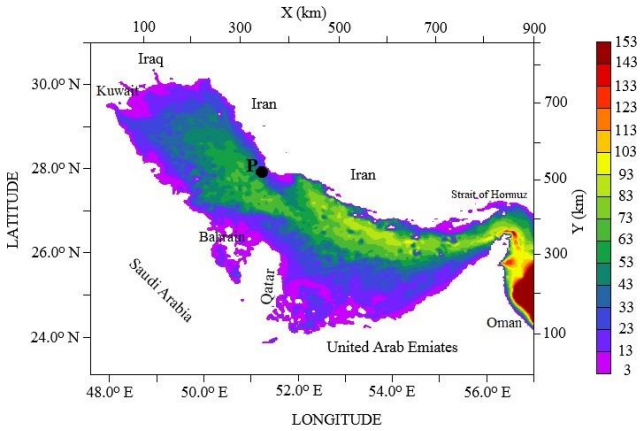
گردش و تشکیل توده‌آب در خلیج‌فارس موضوع بسیاری از مطالعات بوده است. برخی از این مطالعات از مدل‌های عددی هیدرودینامیک استفاده و جریان‌های تشکیل‌شده در خلیج فارس را شبیه‌سازی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]

کرده‌اند[۱،۳،۶،۷و۸]. در این پژوهش از مدل عددی کوهیرنس استفاده شد. کوهیرنس یک مدل هیدرودینامیکی سه‌بعدی است که دارای کاربردهای متنوعی در سواحل و نواحی فلات قاره می‌باشد. این مدل با مدل‌های بیولوژیکی‌و مدل‌های آلودگی جفت شده‌است و قادر به‌حل فرآیندهای میان‌مقیاس تا فرآیندهایی با مقیاس فصلی می‌باشد. با استفاده از این مدل و اعمال میانگین داده‌های بلندمدت اقلیمی در یک دوره ۱۰ ساله، با تفکیک افقی ۲ دقیقه و ۱۰ لایه قائم سیگما، گردش کلی و جریان‌های خلیج‌فارس شبیه‌سازی شد. جهت حل معادلات فرارفت تکانه و اسکالر از طرحواره TVD[۲] استفاده شد. طرحواره تلاطمی ملور-یاماداء به دلیل درجه بالاتر نسبت به سایر مدل‌های تلاطمی و همچنین نتایج به‌دست‌آمده از کارهای کمف [۶] و مهندسی [۸] به مدل اعمال شد. سپس نتایج شبیه‌سازی جریان‌های ساحلی خلیج‌فارس، تشکیل ترموکلاین و تاثیر آن روی جت‌های ساحلی در ماه‌ها و فصل‌های مختلف در مقیاس حوضه نشان داده شد.

۲ - روش بررسی

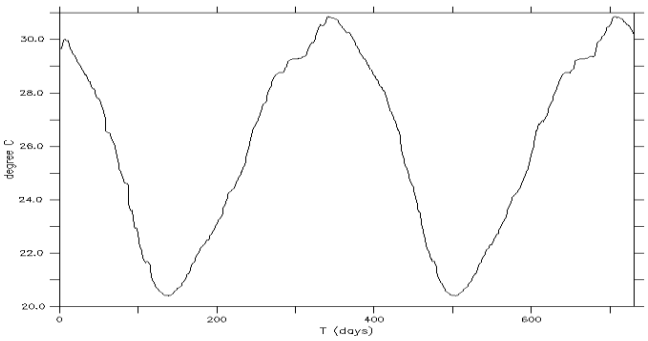
برای شبیه‌سازی جریان ها از مدل عددی کوهیرنس استفاده شده است. محدوده محاسباتی، شامل خلیج فارس و بخشی از دریای عمان در عرض ۲۳.۱ تا ۳۱ درجه شمالی و ۴۷.۶ تا ۵۷ درجه شرقی است. هندسه و موقعیت خط ساحلی بر اساس داده‌های ETOPO-2 با تفکیک‌پذیری افقی طول و عرض جغرافیایی ۲ دقیقه هموار شده است. برای رفع ناپایداری عددی، کمترین عمق به ۳ متر، در خطوط ساحلی، و بیشینه عمق به ۱۵۰متر، در دریای عمان که تاثیر معنی‌داری بر نتایج ندارد، هموار شد (شکل۱). برای استفاده در مدل‌های چند لایه که دارای کف ناتراز می‌باشد، نیاز به آرایه‌ی قائمی است که در تمامی پهنه‌ی اقیانوسی تعداد لایه‌ها را یکسان در نظر گیرد، بنابراین از آرایه‌ی قائم سیگما استفاده شده است. این کار کمک می‌کند که همه‌ی محیط ما دارای یک تعداد لایه باشد [۱۰]. در یک دستگاه مختصات با آرایه‌ی قائم سیگما، تعداد سطوح قائم ستون آب در هر عمقی از ستون آب یکسان است. تعداد لایه‌های عمودی سیگما، ۱۰، انتخاب گردید. برای برقراری شرط پایداری CFL[۳]، گام زمانی دو بعدی و سه بعدی به ترتیب ۲۰ ثانیه و ۶۰۰ ثانیه انتخاب شده است. طرحواره بستار تلاطم k-l (ملور-یاماداء) [۱۱] به دلیل بالاتر بودن درجه آن نسبت به مدل k-e، همچنین با توجه به نتایج [۸،۶و۱۲] برای تلاطم استفاده شده است. فرمول‌بندی اسماگورینسکی برای طرحواره پخش افقی استفاده شده است [۱۳]. نیروهای میانگین روزانه اتمسفری اقلیمی (مولفه های سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، پوشش ابر، بارش و دبی رودخانه) برای یک دوره ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۰) از داده‌های سازمان ملی اقیانوسی و جوی[۴] میانگین‌گیری شده و در مدل استفاده شده است. شوری مرجع ۳۸، دمای مرجع ۲۲ درجه سانتی‌گراد و چگالی مرجع ۱۰۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است [۱۴و۱۵]. تحت شرایط اعمال شده‌ی فوق، مدل بعد از ۱۰ سال اجرا به پایداری اقلیمی رسید و نتایج استخراج شده در سال دهم برای بررسی تغییرات فصلی جریان‌های خلیج فارس مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱ - هندسه و موقعیت خط ساحلی بر اساس داده‌های ETOPO-2

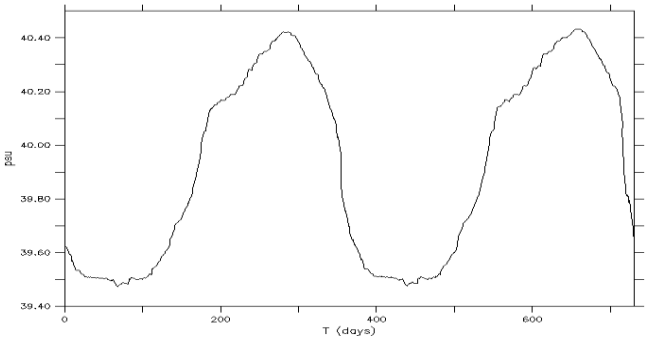
۳ - صحت سنجی مدل و نتایج شبیه‌سازی

برای حصول نتایج قابل اعتماد جهت تحلیل، ابتدا مدل باید به پایداری اقلیمی برسد. برای رسیدن به مرحله پایداری، مدل برای ۱۰ سال اجرا شد. طی این فرایند، رژیم گردش آب به همراه دیگر خواص توده آب باید در خلیج فارس در مدت مورد نظر به یک چرخه پایدار برسند. بعد از رسیدن به حالت پایدار اگر برای هر نقطه از شبکه مورد استفاده در شبیه‌سازی، نمودار دما یا شوری نسبت به زمان رسم شود، یک شکل تکرارپذیر خواهداشت. نقطه شاهد P در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل های ۲ و ۳ نمودار دما در دو سال آخر شبیه‌سازی است. همان‌گونه که دیده می‌شود، دما و شوری بعد از ۱۰سال اجرای مدل به یک حالت تکرارپذیر رسیده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق مربوط به آخرین سال شبیه‌سازی است.



شکل ۲- سری زمانی مربوط به میانگین دما برای ۲ سال آخر از کل مدت شبیه سازی در نقطه دلخواه P، که از سطح تا عمق میان‌گیری شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]

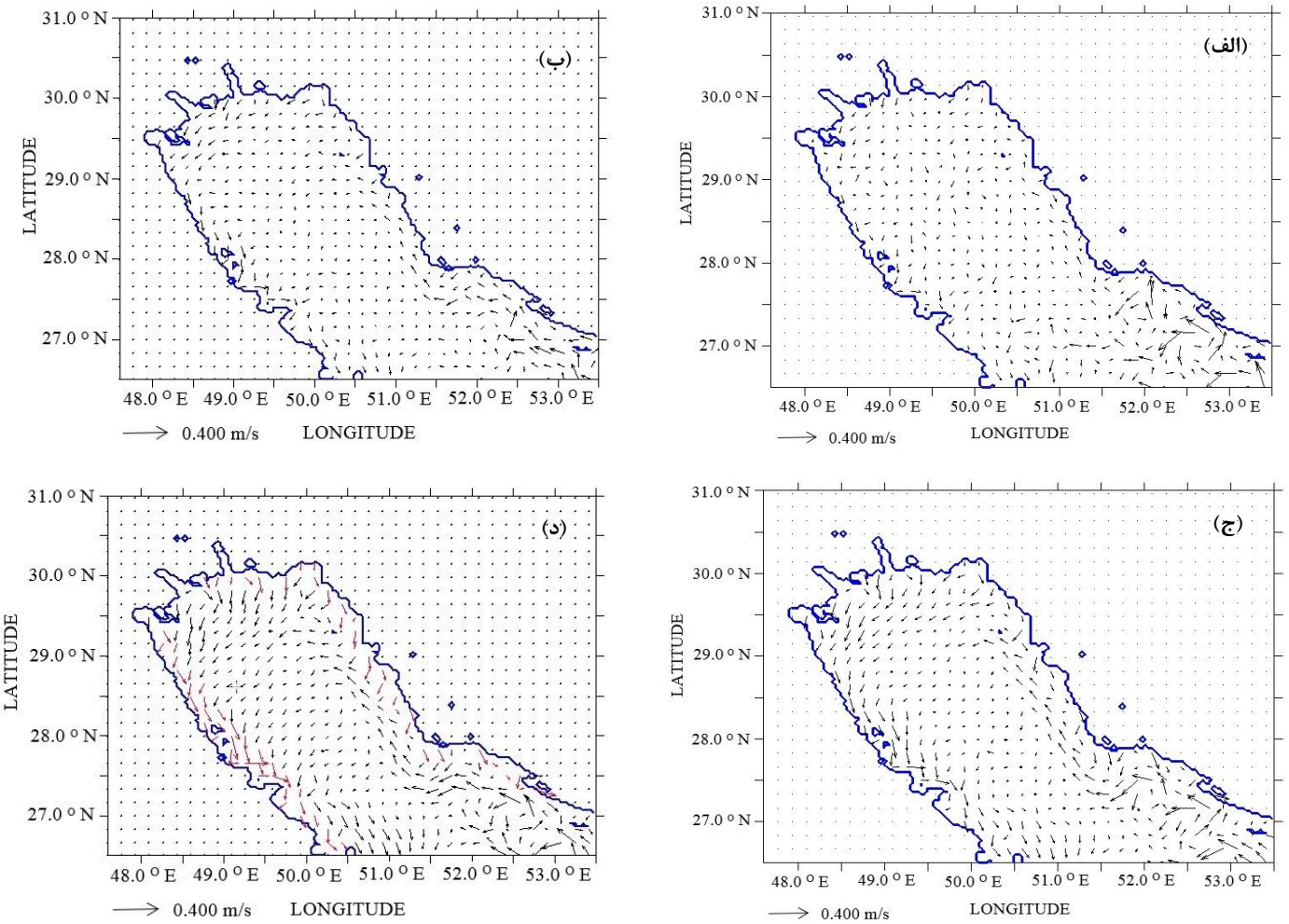


شکل۳- سری زمانی مربوط به میانگین شوری برای ۲ سال آخر از کل مدت شبیه سازی در نقطه دلخواه P، که از سطح تا عمق میان‌گیری شده است.

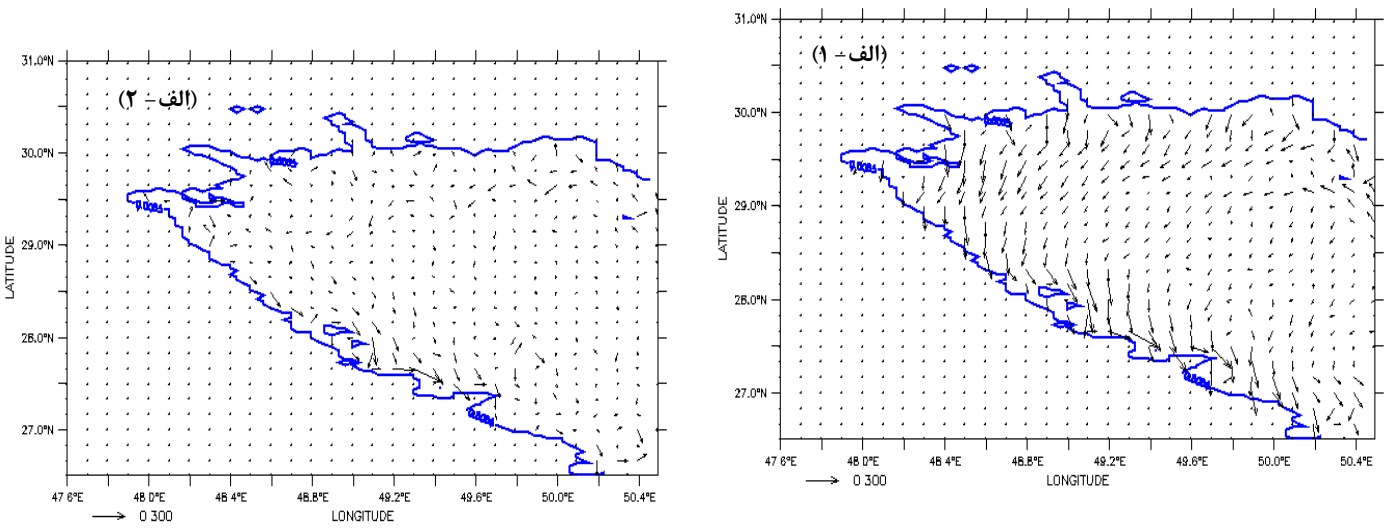
۴ - یافته‌ها

شکل‌های ۴ و ۵ نتایج شبیه‌سازی‌شده بردارهای جریان را در خلیج‌فارس نشان می‌دهد. داده‌های باد در یک دوره اقلیمی ۵۰ ساله به صورت میانگین روزانه به مدل اعمال شده است. نتایج این شبیه‌سازی، در مقیاس‌حوضه به گردش‌کلی شبیه است و با مشاهدات رینولدز [۴] و نتایج مدل‌سازی تاپیل و همکاران [۱] و مهندسی و همکاران [۸] مطابقت دارد. جریان‌های سواحل ایرانی به سمت شمال‌غربی در ماه‌های دی تا فروردین گسترش می‌یابد (شکل ۴، الف و ب) و به بیشترین شدت خود در ماه خرداد تا مرداد (شکل۴، ج و د)، زمانی که جریان درون‌ریز سطحی از طریق تنگه هرمز و با استقرار ترموکلاین فصلی به تدریج قوی‌تر می‌شود، می‌رسد. همان‌گونه که از این شکل‌ها برمی‌آید، به‌طورکلی، جریان‌های سطحی در تابستان (تقریباً ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر برثانیه)، قوی‌تر و در زمستان ضعیف‌تر است. شکل۶، میانگین دمای سطحی را در ماه مرداد نشان می‌دهد. چینه بندی قائم در طول برش 'AA و 'BB در ماه های بهمن و مرداد در شکل‌های ۷ الی ۱۰ نشان داده شده است.گردش ضـ عیف‌تر در زمستان در نتیجه کاهش گرادیان چگالی بین خلیج‌فارس و دریای‌عمان و همچنین چینه‌بندی ضعیف (شکل ۷ و ۸) به دلیل سرمای زمستان است. درتابستان به‌دلیل افزایش جریان‌ورودی به خلیج‌فارس‌از دریای‌عمان، قوی‌ترشدن چینه‌بندی و کاهش سرعت‌باد، جریان‌های سواحل ایرانی رفته‌رفته قویتر می‌شود و به سمت شمال خلیج‌فارس نفوذ می‌کند. نتایج شبیه‌سازی بردارهای جریان نشان‌دهنده شروع افزایش سرعت جریانات با شروع فصل گرماست (شکل ۴ و ۵). وقتی که اقیانوس از جو گرما می‌گیرد و ستون آب چینه‌بندی شده قوی را به‌وجود می‌آورد، ترموکلاین گسترش می‌یابد (شکل ۹ و۱۰). این موضوع سبب می‌شود، اختلاط عمودی درشرایط باد ضعیف غالب دراین فصل، محدود شود. سپس به‌وسیله آب‌چگال‌تر (کم‌شورتر) ساکن درانتهای شمالی (جنوبی) خلیج، گرادیان فشار تولید می‌شود و جریان آب کم‌شورتر را از خلیج‌عمان به خلیج‌فارس از طریق تنگه‌هرمز می‌راند. تحت این شرایط جت‌های ساحلی به وجود می‌آید. براساس نتایج بدست آمده از حرکات آب در خلیج فارس و اندازه‌گیری به‌عمل آمده مشخص شده است که جت ساحلی نیز در سواحل ایران و عربستان سعودی وجود دارد[۹ و ۱۶]. همان‌طور که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، جریان آب در خلیج‌فارس فصلی است و به‌طور زیادی به رانش چگالی بستگی دارد. از برخوردجریان آب ورودی از تنگه هرمز با شوری بیشتر با آب با شوری‌کمتر رودخانه‌های شمالی خلیج‌فارس در ناحیه‌ی میانی آن ناحیه جبهه ای بوجود می آید که با ناپایداری باروکلینیکی همراه است. انتقال توده‌آب بر اثر تعادل ژئوستروفیک به مناطق ساحلی ایران و عربستان‌سعودی و وزش بادهای غالب شمال‌غربی سبب ایجاد جت ساحلی در این مناطق می‌شود. شکل ۵ بردارهای جریان سطح وکف، در سواحل شمالی ایران و عربستان در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر را نشان می‌دهد. جت ساحلی در مجاورت سواحل ایران تنها محدود به سطح است و به‌طرف جنوب شرقی حرکت می‌نماید و در بستر جریان برگشتی به طرف شمال غربی داریم، اما جت ساحلی در مجاورت عربستان سعودی در تمامی ستون آب به طور کامل از سطح تا بستر وجود دارد و به طرف جنوب‌شرقی حرکت می‌نماید که در شکل۴-د و شکل ۵ (۱-ج) با رنگ قرمز نشان داده شده است. با کاهش سرعت بادهای غالب شمال‌غربی خلیج‌فارس جریان‌های جت ساحلی درمجاورت سواحل ایران ناپدیود و در مجاورت سواحل عربستان سعودی کاملاً تضعیف می‌گردد.

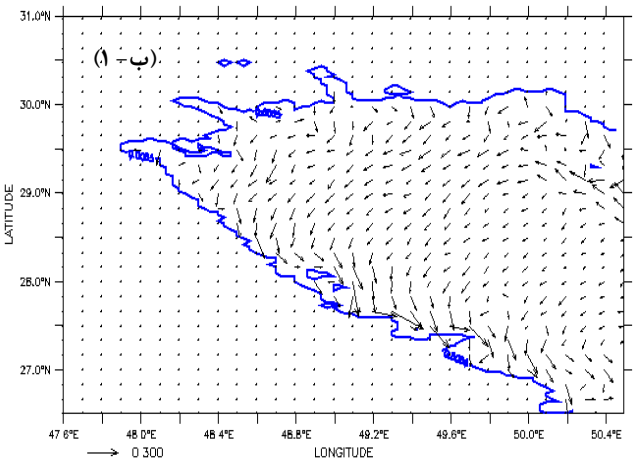
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]

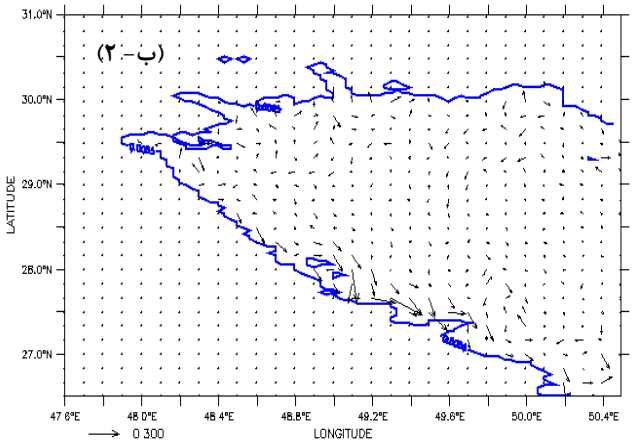


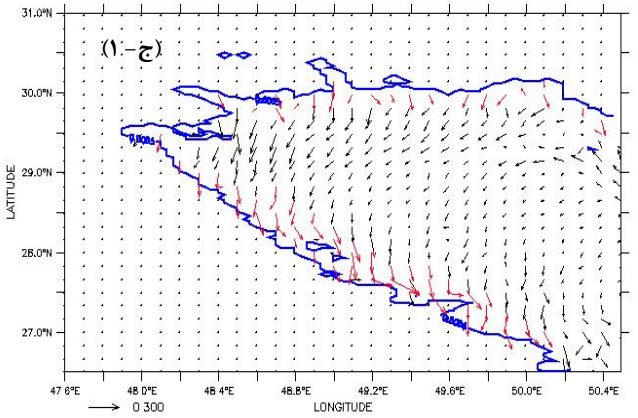
شکل۴- بردارهای جریان در سطح، (الف) دی، (ب)فروردین، (ج)خرداد، (د)مرداد

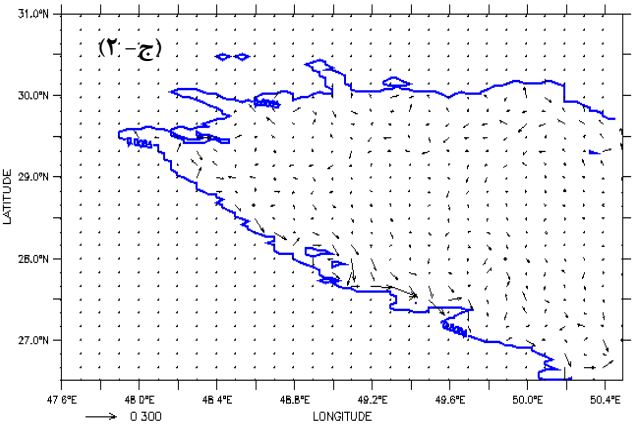


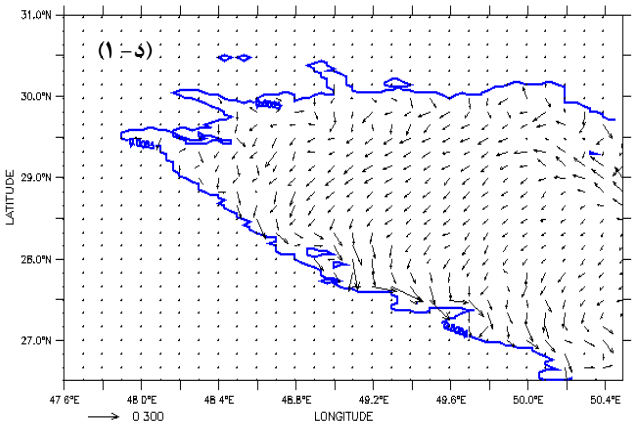
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]

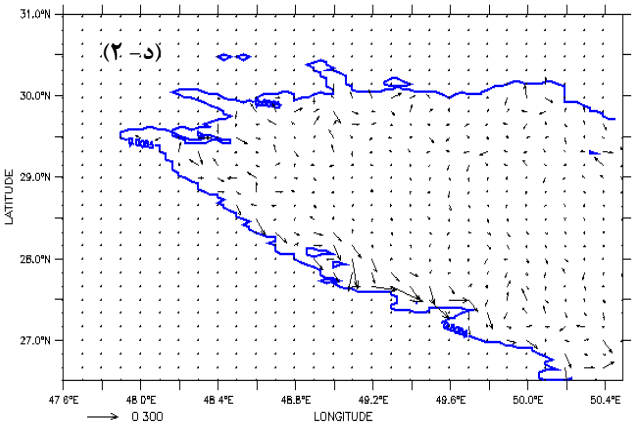


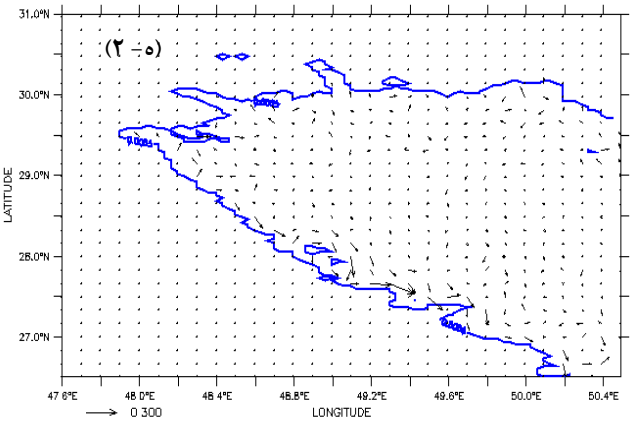


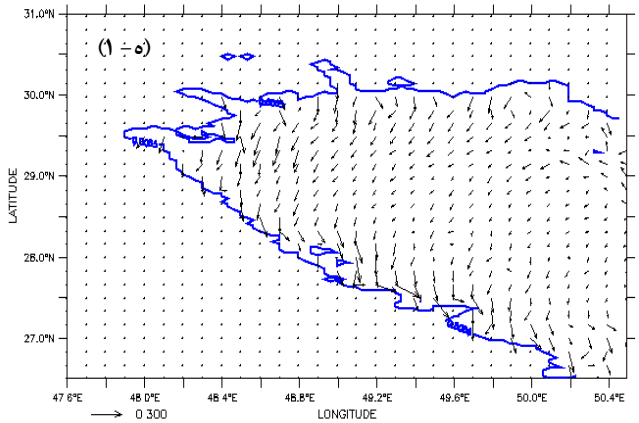




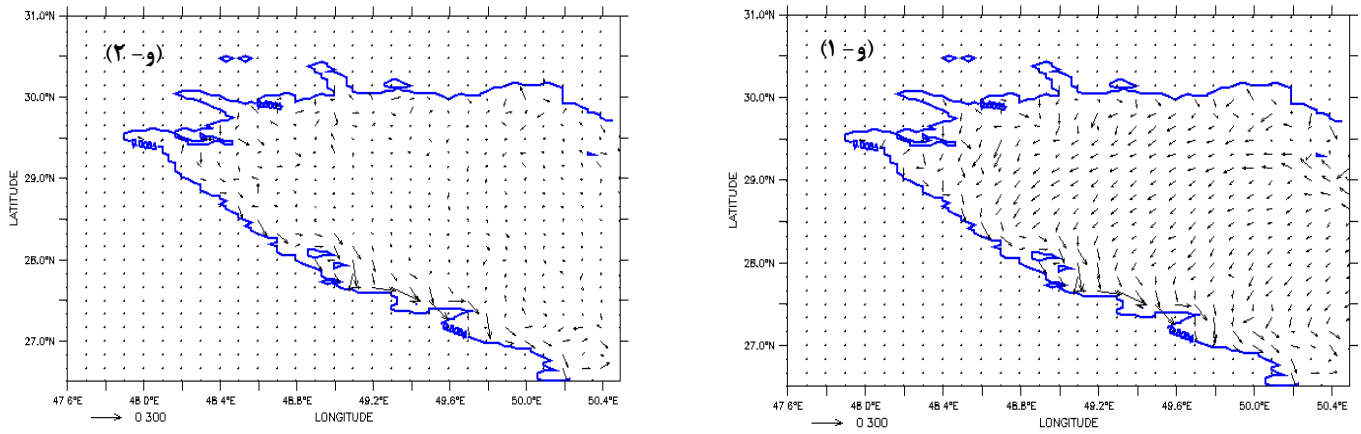




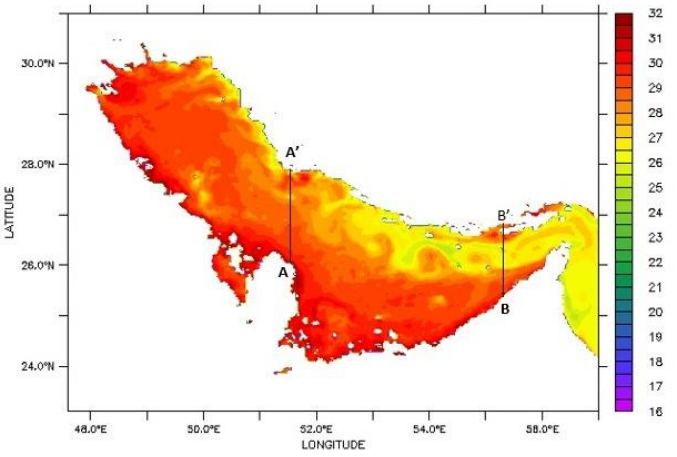




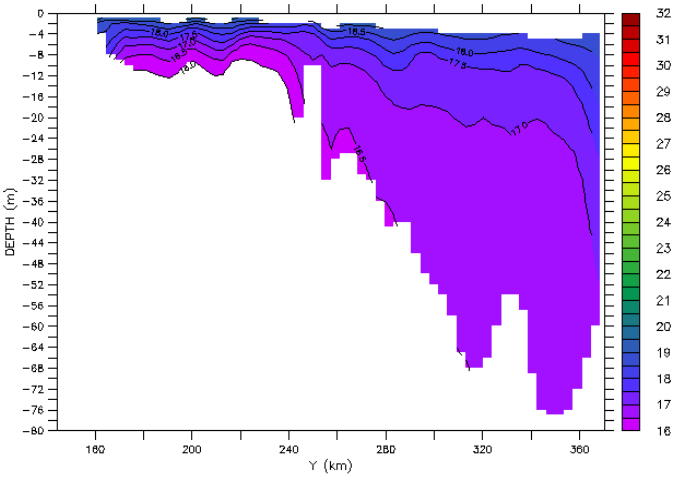
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]



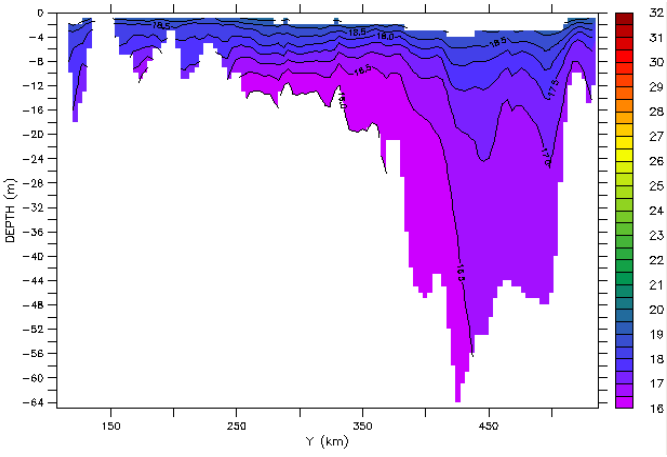
شکل۵- بردارهای جریان سطح(۱) و کف(۲)، و جت ساحلی در بخش شمالی خلیج‌فارس در ماه‌های (الف)اردیبهشت، (ب)خرداد، (ج)تیر، (د)مرداد، (ه)شهریور و (و)مهر



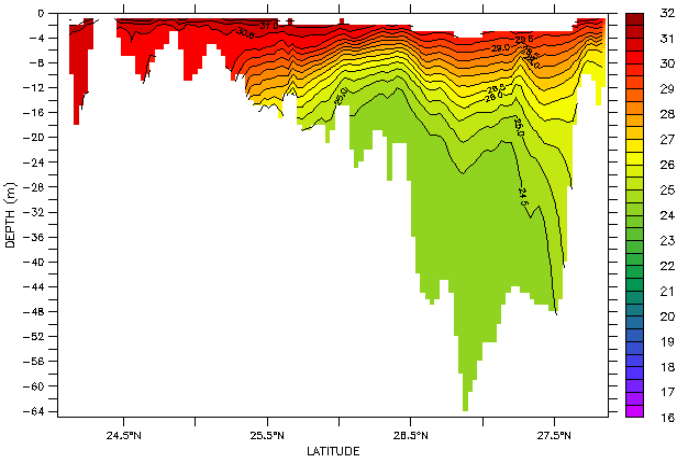
شکل ۶- میانگین ماهانه دمای سطحی در ۱۵ متر بالایی در ماه مرداد



شکل ۸- نیمرخ قائم دما(ترموکلاین) در طول خط 'BB در ماه بهمن

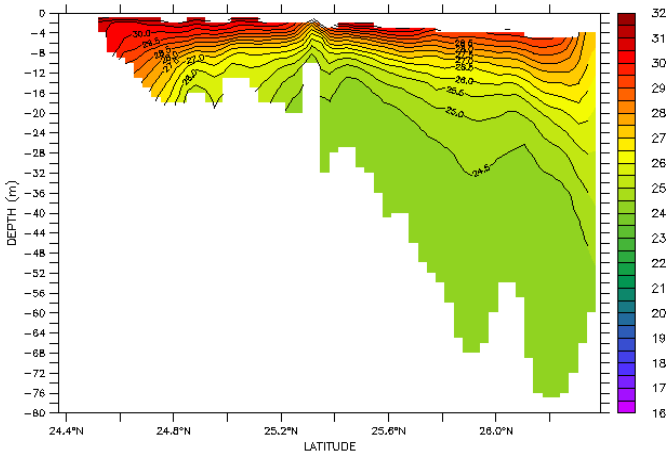


شکل ۷- نیمرخ قائم دما(ترموکلاین) در طول خط 'AA در ماه بهمن



شکل ۹- نیمرخ قائم دما(ترموکلاین) در طول خط 'AA در ماه مرداد

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]



شکل ۱۰- نیمرخ قائم دما(ترموکلاین) در طول خط 'BB در ماه مرداد

۵- بحث

با استفاده از مدل کوهیرنس و اعمال میانگین روزانه داده‌های بلندمدت اقلیمی ۵۰ ساله، با تفکیک افقی ۲ دقیقه، جریان های ساحلی در خلیج‌فارس شبیه‌سازی شد. میدان جریان‌های افقی به شدت وابسته به میدان‌های هیدروگرافی، مخصوصاً میدان شوری است. در کنار گردش کلی آب در خلیج فارس، تغییرات فصلی قوی نیز وجود دارد؛ وقتی در تابستان و بهار باد آرام می‌شود و ترموکلاین فصلی تشکیل می‌شود، جریان در ساحل قوی‌تر می‌شود و می‌تواند تقریباً به انتهای شمالی خلیج برسد و یک زبانه کم‌شوری آب را تا عرض $28\ ^{\circ}N$ بیاورد. در تابستان و بهار جریان‌های به سمت شمال‌غربی در طول سواحل ایران به رأس خلیج‌فارس می‌رسد و به پلوم اروندرود ملحق می‌شوند و به سمت جنوب‌شرق سواحل کویت و عربستان‌سعودی جریان می‌یابد. مرکز بخش شمالی خلیج‌فارس یک منطقه نسبتاً ایستا را نشان می‌دهد. این منطقه در زمستان و بهار وسیع‌تر می‌شود. نتایج مدل همچنین جریان به سمت جنوب‌شرق را در طول سـ واحل کویت و عربستان سعودی، که در بهار و تابستان قوی‌تر از دیگر فصل‌هاست، نشان داد. این جریان به‌طرز معنی‌داری در زمستان به دلیل ترموهالاین و جریان ناشی‌از باد، تضعیف می‌شود. خروجی‌های مدل نشان داد جریان سطحی به سمت جنوب، از مرکز خلیج به سمت فلات قاره بحرین، قطر و سواحل کم‌عمق امارات متحده‌عربی جریان دارد. این جریان در طول بهار و تابستان قوی‌تر و در زمستان ضعیف‌تر است. جریان‌های سواحل ایرانی به سمت شمال‌غربی در ماه‌های دی تا فروردین گسترش می‌یابد و به بیشترین شدت خود در ماه خرداد تا مرداد، زمانی که جریان درون‌ریز سطحی از طریق تنگه هرمز و با استقرار ترموکلاین فصلی به تدریج قوی‌تر می‌شود، می‌رسد. گردش ضعیف‌تر در زمستان در نتیجه کاهش گرادیان چگالی بین خلیج‌فارس‌و دریای‌عمان و همچنین چینه‌بندی ضعیف به دلیل سرمای زمستان است. درتابستان به‌دلیل افزایش جریان‌ورودی به خلیج‌فارس‌از دریای‌عمان، قوی‌ترشدن چینه‌بندی و کاهش سرعت‌باد، جریان های سواحل ایرانی رفته‌رفته قویتر می‌شود و به سمت شمال خلیج‌فارس نفوذ می‌کند.

۶- نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی بردارهای جریان نشان‌دهنده شروع افزایش سرعت جریان‌ها با شروع فصل گرما است. گسترش ترموکلاین سبب می‌شود، اختلاط عمودی درشرایط باد ضعیف غالب دراین فصل، محدود شود. سپس به‌وسیله آب‌چگال‌تر(کم‌شورتر) ساکن درانتهای شمالی(جنوبی) خلیج گرادیان فشار تولید می‌شود و جریان آب کم-شورتر را از خلیج‌عمان به خلیج‌فارس از طریق تنگه‌هرمز می‌راند. تحت این شرایط جریان‌های ساحلی قوی‌تری به وجود می‌آید. جت ساحلی در مجاورت سواحل ایران تنها محدود به سطح است و به‌طرف جنوب‌شرقی حرکت می‌نماید و در بستر جریان برگشتی به طرف شمال‌غربی داریم، اما جریان جت‌ساحلی در مجاورت عربستان سعودی در تمامی ستون آب به طور کامل از سطح تا بستر وجود دارد و به طرف جنوب‌شرقی حرکت می‌نماید. نتایج شبیه‌سازی وجود جت ساحلی در ماه‌های اردیبهشت تا مهر را نشان داد. با کاهش سرعت بادهای غالب شمال‌غربی خلیج‌فارس جت ساحلی درمجاورت سواحل ایران ناپدید و در مجاورت سواحل عربستان سعودی کاملاً تضعیف می‌گردد.

کلید واژگان

1- Hydrodynamic-Ecological Model for Regional and shelf seas (COHERENS)
2- Total Variation Diminishing
3- Courant-Fredrechs-Lewy (CFL)
4- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

۷- مراجع

1- Thoppil, P.G., and Hogan, P.J., (2010a), *A modeling study of circulation and eddies in the Persian Gulf*. Journal of Physical Oceanography, Vol. 40, p.2122-2134.
2- Pous, S., Lazure, P., and Carton, X., (2015), *A model of the general circulation in the Persian Gulf and in the Strait of Hormuz: Intraseasonal to interannual variability*. Continental Shelf Research, Vol. 94, p.55-70.
3- Chao, S.Y., Kao, T.W., and Al-Hajri, K.R., (1992), *A numerical investigation of*

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]

circulation in the Arabian Gulf. Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol. 97, p.11219-11236.

4- Reynolds, R.M., (1993), *Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition.* Marine Pollution Bulletin, Vol. 27, p.35–59.

5- Thoppil, P.G., and Hogan, P.J., (2010b), *Persian Gulf response to a wintertime shamal wind event*. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, Vol. 57, p.946-955.

6- Kämpf, J., and Sadrinasab, M., (2006), *The circulation of the Persian Gulf: a numerical study*. Ocean Science, Vol. 2, p.27-41.

7- Hosseinibalam, F., Hassanzadeh, S., and Rezaei-Latifi, A., (2011), *Three-dimensional numerical modeling of thermohaline and wind-driven circulations in the Persian Gulf.* Applied Mathematical Modelling, Vol. 35, p.5884-5902.

8- Namin, M.M., Bidokhti, A., Khaniki, A.K., Zadeh, I.H., andAzad, M.T., (2016), *A Study of the Performances of Different Turbulence Schemes in Numerical Simulation of Hydrodynamics of a Semi-Closed Sea (Persian Gulf).* Marine Geodesy, Vol. 39, p.141-164.

9- Azad, M.T., and Mehrfar, H., (2017), *Seasonal variation of coastal jets in the Persian Gulf using field studies.* Journal of Research in Marine Sciences, Vol. 2(2), p.106-111.

10- Yao, F., and Johns, W.E., (2010), *A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 1. Model configurations and surface circulation*. Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol. 115(C11), p.1-17.

11- Mellor, G.L., and Yamada, T., (1982), *Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems*. Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol. 20, p.851-875.

12- Luyten, P.J., Jones, J.E., Proctor, R., Tabor, A., Tett, P., and Wild- Allen, K., (1999), *COHERENS A coupled hydrodynamical-ecological model for regional and shelf seas: user documentation, MUMM Rep*. Management Unit of the Mathematical Models of the North Sea.

13- Smagorinsky, J., (1963), *General circulation experiments with the primitive equations: I. The basic experiment.* Monthly weather review, Vol. 91, p.99-164.

14- Ezam, M., Bidokhti, A., and Javid, A., (2010), *Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea.* Ocean Science, Vol. 6, p.887-900.

15- Alessi, C. A., H.D., Hunt, A.S., Bower. (1999), *Hydrographic data from the U.S. Naval oceanographic office: Persian Gulf, southern Red sea and Arabian Sea, Woods Hole Oceanog*. Institution Technical Report WHOI-99–02.

16- Lardner, R., Al-Rabeh, A., Gunay, N., Hossain, M., andReynolds, R., (1993), *Computation of the residual flow in the ROPME Sea Area using the Mt-Mitchell data and KFUPM. RI hydrodynamical models*. Final report of the Mt-Mitchell cruise in the ROPME Sea Area, Vol., p.116-150.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.10.0]

[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.121]