



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



طراحی مدل عددی جهت بررسی اثر کشند و باد در حوضه آزمایشگاهی در تشابه با خلیج فارس

محمد تقی زمانیان^۱، مسعود صدری نسب^۲، مهتری فلاحی^{۳*}

۱. پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران.

۲. گروه محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی (محیط زیست)، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

* نویسنده مسؤل، پست الکترونیک: mehri_fallahi@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2019.149922.2203

چکیده

طراحی مدل عددی اقیانوسی برای خلیج فارس برای پیش بینی پدیده ها و فراسنج های اقیانوسی، از جمله راه های پیش گیری یا رفع مشکلات موجود در این محیط مهم می باشد و کار موثر، طراحی مدل آزمایشگاهی در تشابه با آن بوده که می تواند واکنش فیزیکی محیط را نسبت به شرایط مختلف مشخص کند. هدف این پژوهش، طراحی مدل عددی اقیانوسی آزمایشگاهی، در تشابه با خلیج فارس، برای پیش بینی پاسخ محیط به نیروی کشند و باد است. این مدل سه بعدی از معادلات مقدم در دست گاه مختصات کروی زمین با آرایه قائم سیگما برای همانندسازی سود می برد. برای حل معادلات مدل از روش تفاضل متناهی استفاده شده است. اصول به کار رفته در طراحی مدل و محاسبه منطقی تر تنش بین لایه ها، از مزایای این مدل، در مقایسه با مدل های مشابه است. به این منظور، یک حوضه پنج لایه اقیانوسی با کفی ناتراز، بیشترین عمق ۱۰۰ متر و کمترین عمق ۸۰/۰۹ متر در نظر گرفته شده است. میانگین های روزانه باد خلیج فارس، شوری و دمای آب و تغییرات تراز آب در تنگه ی هرمز از داده های ورودی مدل است. اجرای دو ساله ی این مدل نشان داد که در این حوضه نیروی کشند در مقایسه با نیروی باد و اختلاف چگالی، یک نیروی غالب است. هم چنین جریانی با بیشینه ی ۱/۹۸ متر بر ثانیه در تنگه ایجاد شده که چرخش پادساعت گردی را در حوضه برقرار می نماید. حداکثر مجموع تغییرات ارتفاع آب، در این ناحیه ۲/۹۸ متر به دست آمد. نتایج اجرای این مدل آزمایشگاهی با واقعیت های اقیانوس شناختی خلیج فارس تطابق داشته و ضمن برآورده نمودن هدف، اساس مدلی مناسبی برای خلیج فارس است.

واژگان کلیدی: مدل عددی، معادلات مقدم، آرایه قائم سیگما، خلیج فارس، تنگه هرمز

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱. مقدمه

با توجه به موقعیت خلیج فارس، مسئله حفاظت از محیط زیست، اهمیت ترابری، شیلات و صنعت گردشگری آن بسیار مورد توجه است، به عنوان نمونه، نشت نفت و چگونگی انتشار آن در مناطق مختلف خلیج فارس می‌تواند اثرات زیست‌محیطی مخربی داشته باشد، از جمله راه‌های پیش‌گیری یا کاهش زیان‌های آن، داشتن پیش‌بینی به وسیله‌ی مدل عددی اقیانوسی برای خلیج فارس است و از گام‌های موثر در رسیدن به یک مدل آرمانی طراحی مدل‌های آزمایشگاهی مختلفی است که در تشابه با محیط واقعی طراحی می‌شوند و می‌توانند عکس‌العمل فیزیکی محیط را نسبت به شرایط مختلف نشان دهند. به طور کلی هدف از مدل‌سازی اقیانوسی، شناخت فرآیندهای اثر متقابل جو و اقیانوس به منظور پیش‌بینی وضعیت دریا اعم از موج سطحی، میدان جریان، سطح تراز آب دریا، میدان دما، میدان شوری، میدان زمین توانش (*Geopotential*)، میدان سرعت قائم و... بوده و بالاخره استفاده از این پیش‌بینی‌ها، زمینه را برای کمک به پیش‌بینی اقلیم محیط اقیانوسی مربوطه، فراهم می‌سازد. دقیق‌ترین و البته پیچیده‌ترین مدل عددی که در میدان کار هواشناسی و اقیانوسی به کار برده می‌شود، مدل معادله‌های مقدم (*Primitive equations model (PEM)*) می‌باشد که شامل تمامی معادله‌های مربوط به جو یا اقیانوس است. برای مدل‌سازی، پس از استفاده از معادله‌ها، یک سری فرض‌های اولیه در نظر گرفته و از تحلیل مقیاس استفاده می‌شود. همچنین، با توجه به هدف؛ فرانسجیدن (*Parameterization*) برخی از ضرایب معادله‌های در دستور کار قرار می‌گیرد و متناسب با شبکه و محیط مورد نظر، مدلی طراحی می‌شود که پاسخ‌گوی نیازهای ما باشد (Zamanian, 2006). اهمیت‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، تفریحی و دفاعی، برای مناطق ویژه‌ای هم چون ساحل‌ها، لزوم بالا بردن دقت و توجه را برای مدل‌سازان افزایش داده و منجر به گسترش مدل‌های عددی مختلفی، با هدف‌های گوناگونی شده است. این توسعه باعث گشته که تاکنون، استفاده از مدل‌های عددی برای پیش‌بینی پدیده‌های جو و اقیانوسی بهترین راه‌کار باشد. به این ترتیب، طراحی و بررسی یک مدل اقیانوسی سه بعدی یک کار اساسی و مورد نیاز برای محیط‌های اقیانوسی و به ویژه ساحل دریاهای کشور می‌باشد. همچنین بخشی از هدف طراحی یک مدل اقیانوسی، به دست آوردن آگاهی و دانش بیشتر از فرانسج‌های فیزیکی دریا است (Zamanian, 2006). از جمله مدل‌های طراحی شده، در راستای هدف این پژوهش، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

Zamanian (1994)، با استفاده از مدل دو لایه‌ای به بررسی جریان‌های خلیج فارس پرداخته است، مدل او بر اساس معادلات مقدم در مختصات دکارتی با آرایه قائم سیگما طراحی شده، این مدل علاوه بر تعیین میدان‌های جریان ناشی از باد و کشند، دما، شوری در دو لایه، سرعت قائم در یک تراز و تراز سطح دریا را در نقاط شبکه پیش‌بینی می‌کند. حوضه مستطیلی شکل و چندین تجربه عددی برای به دست آوردن پاسخی برای تخلیه رودخانه‌های خلیج فارس، تغییرات چگالی، میدان باد، نیروی کشندی و ترکیب آن‌ها با چینه‌بندی چگالی از ویژگی‌های این مدل می‌باشد.

Rashidi Ebrahim Hesari et al. (2006) جریان‌های ناشی

از کشند را در یک محیط اقیانوسی دو لایه، با استفاده از یک مدل عددی سه بعدی همانندسازی کردند. نتایج این همانندسازی به صورت پیش‌بینی میدان‌های دما، شوری، جریان افقی، چگالی، سرعت قائم، تغییرات فشار کف، تغییرات سطح تراز آب و زمین توانش برای هر دو لایه بود.

Ibrayev et al. (2010) یک مدل سه بعدی بر اساس معادلات

مقدم در دست‌گاه مختصات دکارتی با آرایه قائم Z را برای مطالعه گردش فصلی و تغییرات توده آب دریای خزر تحت تاثیر شار جرمی، تکانه و گرما توسعه دادند. نتایج مطالعه‌ی آنان نشان داد که چرخه فصلی تنش باد نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید گردش آب در این حوضه دارد. از جمله نتایج این تحقیق می‌توان به پدیده فراجوشی در طول سواحل شرقی خزر میانی، جریان‌ات غالب جنوب سو در طول سواحل شرقی و غربی خزر جنوبی و همچنین حساسیت بالای جریان به سرعت و جهت باد در مناطق کم عمق خزر شمالی اشاره کرد.

Farjami et al. (2012) نگره‌ی اکمن را با استفاده از یک مدل

عددی مبتنی بر معادلات مقدم در دست‌گاه مختصات کروی زمین با آرایه قائم سیگما در یک حوضه فرضی پنج لایه اقیانوسی شبیه‌سازی کردند. مارپیچ اکمن در حوضه مذکور مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده با مفاهیم نظری مطرح شده مارپیچ اکمن هم خوانی داشت.

Heidari Nesheli et al. (2018) با طراحی یک مدل اقیانوسی،

تغییرات چگالی و انتشار دوگانه دما و شوری را در یک حوضه بسته‌ی فرضی مستطیلی شکل با کف ناتراز، بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که خروجی‌های مدل با اصول فیزیک دریایی مطابقت دارد.

Heidari Nesheli et al. (2018) در ادامه تحقیق

Farjami, 2006. مدل عددی اقیانوسی را برای دریای مازندران طراحی

کردند. در این پژوهش جریان‌های ناشی از باد و فرانسج‌های اقیانوسی با استفاده از طراحی یک مدل عددی اقیانوسی سه بعدی در یک حوضه پنج لایه اقیانوسی شبیه‌سازی شده است. معادلات حاکم در این شبیه‌سازی مبتنی بر معادلات مقدم و دست‌گاه مختصات کروی زمین با آرایه قائم سیگما می‌باشد. بعد از آزمون‌های درستی کارکرد مدل، نیروی باد اقلیمی که دارای مقدار میانگین ۲ متر بر ثانیه و سمت شمال غربی می‌باشد به دریای مازندران به عنوان نیروی خارجی به مدل وزانده شد و میدان‌های جریان، میدان چگالی، میدان دما، میدان شوری، تمایل فشار کف، زمین توانش را برای هر پنج لایه پیش‌بینی شد.

از آن جایی که در کشور ایران، خلیج فارس، مرز آبی وسیعی را بخود

اختصاص داده است و اهمیت زیست‌محیطی، اقتصادی، گردشگری و راه‌بردی خلیج فارس بر کسی پوشیده نیست، بنابر این طراحی مدل‌های اقیانوسی سه بعدی برای خلیج فارس، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از امتیازات این پژوهش استفاده از دست‌گاه کروی زمین با آرایه قائم

سیگما و پنج لایه بودن این مدل اقیانوسی می‌باشد. مدل طراحی شده و برنامه‌ی رایانه‌ای نوشته شده توسط محققین این پژوهش، علاوه بر پذیرش هرگونه کف ناتراز، توانایی تفکیک‌پذیری بیش‌تر در راستاهای افقی و قائم را نیز دارد. از مزایای دیگر این مدل در مقایسه با مدل‌های مشابه که توسط محققین پیشین طراحی گشته، امتیاز فرایند اجرای (Algorithm) به کار رفته در طراحی آن می‌باشد، که باعث شده است تا

Reference source not found. شکل درجه دوم، به سرعت باد بستگی دارد. این تنش نیروی هواپویایی (Aerodynamic) در واحد سطح است که به وسیله باد روی سطح دریا نیرو وارد می‌نماید. با توجه به این که در برخی از زمان‌ها یا مکان‌ها، سرعت جریان قابل توجه است، دستور تنش سطحی در رابطه (۲) بیان می‌شود (Thorp, 2009). که در آن τ_s تنش در سطح آب، C_d کمیت بی‌بعد (Dimensionless) که ضریب پسی هواپویایی (Aerodynamic drag coefficient) نامیده می‌شود. ρ_a چگالی هوا و V_a سرعت باد در تراز ده متری سطح دریا و V_s سرعت جریان محیط اقیانوسی در سطح می‌باشد.

(رابطه ۳) استفاده Nihoul, 1977 برای محاسبه تنش بستر از روش شده است. برای محاسبه تنش در ترازهای میانی از روش و تبدیل آن در مختصات کروی زمین با آرایه (Ape, 1990) پیشنهادی قائم سیگما استفاده می‌شود، بررسیهای متعدد در این پژوهش نشان داده است برای تطابق بیشتر نتایج محاسبه‌ها با نگره‌ها و همچنین استفاده از (به مقدار $-m \tau_s$)، می‌بایستی اثر تنش سطحی (Nihoul, 1977) روش تنش در تمام لایه‌ها اضافه گردد. حوضه‌ی فرضی این مطالعه پنج لایه اقیانوسی در نظر گرفته شده، که به عرض‌های ۲۴ تا ۳۰ درجه‌ی شمالی و طول‌های ۴۷ تا ۵۸ درجه‌ی شرقی - شبیه طول و عرض جغرافیایی خلیج فارس - محدود شده است. بستر این حوضه دارای کفی ناتراز با بیش‌ترین عمق ۱۰۰ متر و کم‌ترین عمق ۸۰/۰۹ متر می‌باشد که شیب بستر آن ثابت بوده و از شمال به جنوب کاهش دارد)

شکل ۱). شوری و دما در تراز اول به ترتیب، $37/5 \text{ }^\circ\text{C}$ و $37/5 \text{ psu}$ تعریف می‌شود و به ازای هر تراز در عمق $0/25 \text{ psu}$ به شوری اضافه و $0/75 \text{ }^\circ\text{C}$ از دما کم می‌شود. برای انجام پیش‌بینی وضعیت محیط مورد نظر در زمان‌های بعدی، لازم است معادلات مدل حل گردند، در این پژوهش برای حل معادلات حاکم از روش عددی تفاضل متناهی استفاده می‌گردد. به همین منظور برای جملات فرارفتی از طرح‌واره لکس-وندروف دوگامی و برای جملات انتشاری از طرح‌واره دوفورت-فرانکل استفاده شده است (Haltiner and Williams, 1980 and Anderson, 1995). با توجه به روش استفاده شده برای گسسته‌سازی معادلات، شرط پایداری برای طرح‌واره‌ی دوگامی لکس-وندروف (C.F.L. Courant, Friedrichs and Lewy stability condition) است که با استفاده از روش (Kämpf, 2009) و تبدیل آن به مختصات کروی زمین با آرایه‌ی قائم سیگما (رابطه ۴) معرفی گردیده است. از آن جا که شبکه‌ی مورد استفاده در این مطالعه آرکاوا‌ی C تعدیل یافته (Kantha and Clayson, 2000) با گام $0/5$ درجه‌ی جغرافیایی هم در راستای λ (طول جغرافیایی) و هم در راستای ϕ (عرض جغرافیایی) می‌باشد، گام زمانی با توجه به شرط پای‌داری یاد شده، 360 ثانیه در نظر گرفته شده است. اجرای مدل از حالت سکون آغاز می‌شود. در این خصوص با فرض نبودن نیرو بایستی تغییرات فراسنج‌هایی که شیب‌برداری آن‌ها حاوی توانش سرعت (Velocity potential) (رابطه ۵) می‌گردد، صفر باشند: مرزهای بسته در این مطالعه مرز سخت و غیر لغزنده در نظر گرفته می‌شوند بنابراین مؤلفه‌های مماسی و عمودی سرعت بر

پیش‌بینی و محاسبات به نحو صحیح و با توجه به ارتباط صحیح معادلات ریاضی مورد استفاده، انجام پذیرد. همچنین استفاده صحیح از نگره Nihoul (1977) در خصوص اثر تنش سطحی ناشی از باد در لایه‌های زیرین، در محیط‌های چند لایه، خروجی‌های این مدل را دقیق‌تر نموده است.

در این پژوهش یک مدل عددی اقیانوسی آزمایشگاهی برای بررسی اثر باد و کشند در یک محیط آزمایشگاهی طراحی شده است، این مدل در تشابه با خلیج فارس بوده و یکی از گام‌های رسیدن به مدل نهایی برای یک محیط واقعی است. هدف از طراحی این مدل آزمایشگاهی، به دست آوردن یک نتیجه کلی از برهم‌کنش نیروی ناشی از وزش باد و کشند با آب‌های این ناحیه می‌باشد و این نوع زمینه‌سازی برای طراحی یک مدل واقعی برای خلیج فارس، توسط پژوهش‌گران قبلی انجام نشده است. با توجه به این موضوع، این کار در نوع خود، پژوهشی تازه است.

۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش یک مدل عددی سه بعدی مبتنی بر معادلات مقدم، در دستگاه مختصات کروی زمین با آرایه قائم سیگما با استفاده از معادلاتی است که در کتاب میانی فیزیک اقیانوس آمده است (Aple, 1990). استفاده از آرایه‌ی قائم سیگما در مدل‌های معادلات مقدم، با توجه به سه بعدی بودن، می‌تواند در راستای قائم از قابلیت تفکیک بالایی برخوردار باشند. برای بررسی دقیق فراسنج‌های اقیانوس شناختی، علاوه بر تغییرات افقی، تغییر در راستای قائم نیز در نظر گرفته می‌شود. بنابر این در مدل‌های عددی، محیط‌های اقیانوسی را در راستای قائم به چندین لایه تقسیم می‌کنند. دلیل استفاده از محیط‌های چند لایه این است که در یک حوضه تک یا دولایه اقیانوسی، به دلیل تعداد کم لایه‌ها، نمی‌توان به خوبی پدیده‌هایی مانند انتشار دوگانه (σ vertical coordinate) یا امواج داخلی (Internal waves) را نشان داد، به این دلیل از یک حوضه‌ی چند لایه اقیانوسی استفاده می‌شود (Zamanian, 2006). برای حل عددی و گسسته‌سازی معادلات از روش تفاضل متناهی می‌شود. با طراحی این مدل میدان‌های جریان، دما، شوری، چگالی، زمین توانش، در تمامی پنج لایه، سرعت قائم، فشار در بستر دریا و تراز آب دریا، پیش‌بینی یا محاسبه می‌شوند. برای این که مدل ارائه شده بتواند در مرحله عملیاتی شدن، هرگونه کف ناتراز را به عنوان پستی و بلندی (Topography) واقعی به‌پذیرد، از آرایه قائم سیگما (σ vertical coordinate) استفاده می‌شود. در این پژوهش آرایه‌ی قائم به شکلی که توسط Zamanian (2006) معرفی گردیده، در رابطه (۱) نظر گرفته شده است.

جریان‌هایی که در اثر ناروانی در لایه‌های مختلف ایجاد می‌شود با هم برابر نیستند به این منظور برای به دست آوردن سرعت جریان‌ها در لایه‌های مختلف، لازم است، نیروی اصطکاک و تنش‌هایی که در این لایه‌ها ایجاد می‌شود، به دست آید. این تنش‌ها در لایه‌های سطحی و میانی و بستری در یک محیط اقیانوسی با استفاده از روش‌هایی که صاحب نظران برای محاسبه نیروی اصطکاک و تنش به کار برده‌اند، بررسی شده است. بنابراین می‌توان در نظر گرفت، تنش سطحی در تراز اول ناشی از باد تقریباً به Error! Reference source not found. Error!

قرار گرفت. نتایج نشان داد که خروجی‌های برنامه با اصول فیزیکی مطابقت دارد. این برنامه برای محیط

شکل ۱ طراحی شده است و نیروهای موثر بر محیط نیروی باد و کشند می‌باشد. از آن جایی که این محیط فرضی - از جهت طول و عرض جغرافیایی - شبیه خلیج فارس در نظر گرفته شده است، میان‌گین روزانه باد در خلیج فارس، میان‌گین روزانه شوری و دمای آب در تنگه‌هرمز از داده‌های مورد استفاده در این پژوهش می‌باشند، هم‌چنین مقادیر تراز آب در تنگه‌هرمز که از سامانه اطلاع‌رسانی آب‌نگاری سازمان نقشه برداری کشور استخراج گردیده و در اجراهای این برنامه استفاده شده است.

روی مرزها برابر با صفر می‌باشند (رابطه ۶). که در معادله‌ی اخیر t و n به ترتیب بردارهای یک‌ه‌ی مماسی و عمودی بر مرز سخت است. از آن جایی که هیچ جریانی از کف محیط عبور نمی‌کند (رابطه ۷).

در مورد مرزهای باز شرط مرزی پویا و شرط مرزی بستر و سطح آب به ترتیب به صورت روابط ۸ و ۹ در نظر گرفته شده است. چون که آب (Zamanian, 1994) نمی‌تواند از میان سطح و بستر عبور نماید) نوشته شده تا محاسبات لازم به #C مرحله آخر برنامه رایانه‌ای به زبان دقت انجام شود، برای سایر تحلیل‌ها و ترسیم نمودارها از نرم افزارهای سرفر و متلب استفاده شده است. برای رسیدن به نتیجه و به دست آوردن برنامه رایانه‌ای صحیح، برنامه تحت شرایط مختلف مورد صحت‌سنجی

$$\sigma = \frac{p-p_A}{p_b-p_A}$$

رابطه (۱)

σ = آرایه‌ی قائم‌نرمال شده

p = فشار در هر نقطه از محیط اقیانوسی

p_b = فشار کف

p_A = فشار جو بر روی محیط اقیانوسی

$$Nm^2 \tau_s = c_d \rho_a (|V_a| - |V_s|) (V_a - V_s).$$

رابطه (۲)

$$Nm^2 \tau_b = -m \tau_s + C_D \rho_w |V| V.$$

رابطه (۳)

τ_b = تنش بستری ویژه

$m=0.07$ ضریب بی‌بعد برای تنش سطحی

$C_D=0.0211$ ضریب پسیای پویایی و بی‌بعد

τ_s = تنش سطحی

ρ_w = چگالی آب

$|V|$ = اندازه‌ی جریان انتگرال‌گیری شده

V = بردار جریان انتگرال‌گیری

$$\Delta t \leq \min \left(\frac{r \cos \phi \Delta \lambda}{u}, \frac{r \Delta \phi}{v}, \frac{\sigma}{\dot{\sigma}} \right).$$

رابطه (۴)

$$u = v = \dot{\sigma} = \eta = \frac{\partial p}{\partial \lambda} = \frac{\partial p}{\partial \phi} = \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Phi}{\partial \phi} = \frac{\partial p_b}{\partial \lambda} = \frac{\partial p_b}{\partial \phi} = \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = \frac{\partial \eta}{\partial \phi} = 0$$

رابطه (۵)

$$\nabla(\lambda, \phi, \sigma, t) \cdot n = 0 \quad \text{and} \quad \nabla(\lambda, \phi, \sigma, t) \cdot t = 0$$

رابطه (۶)

$$\sigma = 1 \Rightarrow u = v = \dot{\sigma} = 0$$

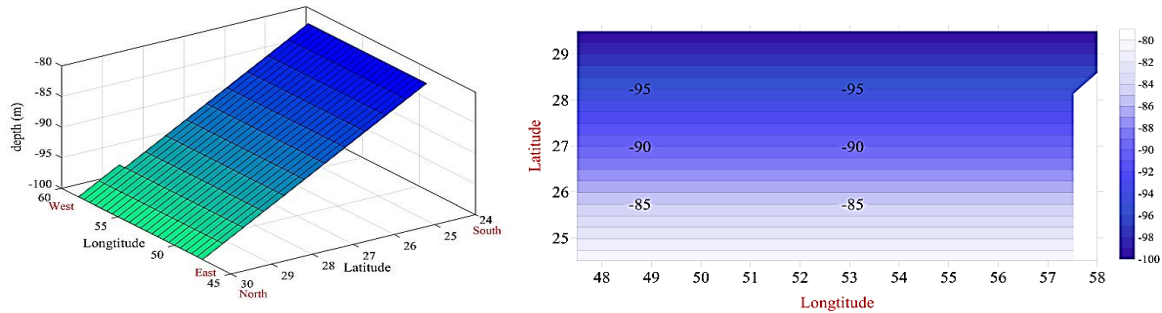
رابطه (۷)

$$\frac{\partial p}{\partial \lambda} = \frac{\partial p}{\partial \phi} = \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} = \frac{\partial \Phi}{\partial \phi} = \frac{\partial p_b}{\partial \lambda} = \frac{\partial p_b}{\partial \phi} = \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = \frac{\partial \eta}{\partial \phi} = 0$$

رابطه (۸)

$$\left(\frac{D \dots}{Dt} \right)_{(\sigma=0)} = \left(\frac{D \dots}{Dt} \right)_{(\sigma=1)} = 0$$

رابطه (۹)



شکل ۱- خطوط هم عمق بستر محیط اقیانوسی آزمایش گاهی

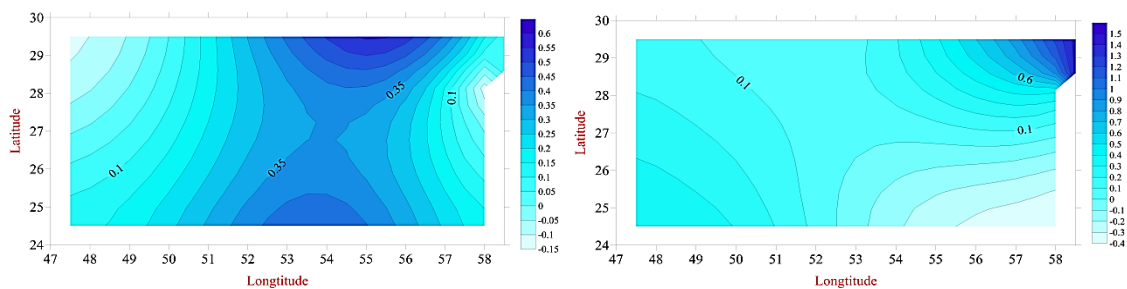
Fig 1- Hydrography of theoretical oceanic environment

اجرای دو ساله این مدل نشان می‌دهد بیشینه‌ی جریانی که در تنگه‌ی این حوضه آبی مشاهده می‌شود، برابر $1/98$ متر بر ثانیه می‌باشد، از طرفی آب پس از ورود به حوضه در امتداد ساحل شمالی حرکت کرده و به صورت پادساعت‌گرد حوضه‌ی آبی را دور می‌زند که حاکی از وجود موج کلونین در منطقه نیز می‌باشد. این شکل‌ها وجود یک نقطه بی‌کشند (Amphidromic) را نیز در حوضه آبی نشان می‌دهد.

بیشینه‌ی تغییرات ارتفاع آب نسبت به ترازمندی ایستا در این ناحیه $2/98$ متر به دست آمد. از نتایج دیگر این پژوهش غالب بودن اثر کشند در مقابل اثر باد می‌باشد (شکل ۲ تا شکل ۵). بررسی تغییرات تراز آب در یک نقطه نیز می‌تواند تایید کننده‌ی این نتیجه باشد (شکل ۶). اجرا میانگین فصلی جریان، انحراف از ترازمندی ایستا، شوری و دما برای این حوضه، در سال دوم اجرای مدل به دست آمده است. میانگین‌گیری مقادیر فراسنج‌ها در زمان طولانی باعث حذف اثر کشند در محیط شده است، جریان خالصی در حوضه در تمامی فصل‌ها دیده می‌شود، می‌تواند ناشی از عوامل غیرتناوبی مانند اختلاف چگالی یا باد یا هر دوی آنها باشد

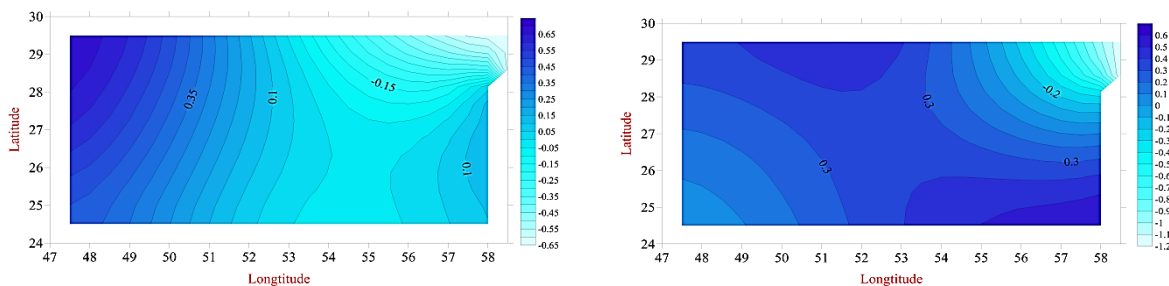
۳- نتایج

پس از تایید مدل توسط آزمون‌های صحت‌سنجی مانند اثر حذف نیروی کوریولیس، اثر حذف انحنا‌ی زمین، اثر وزش باد یک‌نواخت، این مدل در حضور باد و کشند به مدت دو سال اجرا شده و خروجی آن در شرایط مختلف بررسی گردید. شکل ۲ و شکل ۳ تراز آب را در آخرین روز سال دوم اجرای مدل نشان می‌دهد: داده‌های کشندی مورد استفاده در مرز باز (تنگه) بیشینه ارتفاع $3/875$ m و کمینه ارتفاع $0/095$ m را به سطح آب منتسب می‌کنند که با زمان نیز متغیر است، بررسی انحراف از ترازمندی ایستا در زمان‌های مختلف (به عنوان نمونه شکل ۲ و شکل ۳) نشان می‌دهد که کشند در این ناحیه نیم‌روزانه می‌باشد، و همچنین بیشینه و کمینه‌ی ارتفاع آب و جریان سطحی پس از ورود به حوضه، در امتداد ساحل (موازی با مرزها) به طرف غرب حرکت می‌کند و چرخشی پادساعت‌گردی را نشان می‌دهد (شکل ۴ و شکل ۵). همچنین اگر ناظری در مجاورت مرز بایستد و به جریان سو نگاه کند، بیش‌ترین ارتفاع آب در سمت راست ناظر دیده می‌شود. همچنین داده‌های باد نشان می‌دهد باد غالب که به محیط می‌وزد، باد شمال غرب است که دارای بیشینه مقدار $4/19$ متر بر ثانیه و کمینه مقدار $1/93$ متر بر ثانیه می‌باشد. نتیجه‌ی



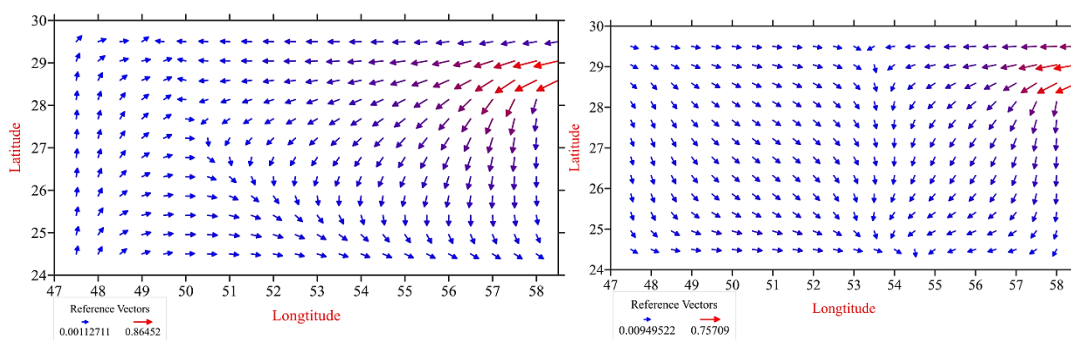
شکل ۲- انحراف از ترازمندی ایستا- تراز اول- سمت راست: روز آخر سال دوم اجرای مدل در ساعت ۳- سمت چپ: روز آخر سال دوم اجرای مدل در ساعت ۶

Fig 2. Departure from static equilibrium- first level- right side: the last day of second day from run of model at 3 o'clock - left side: the last day of second day from run of model at 6 o'clock



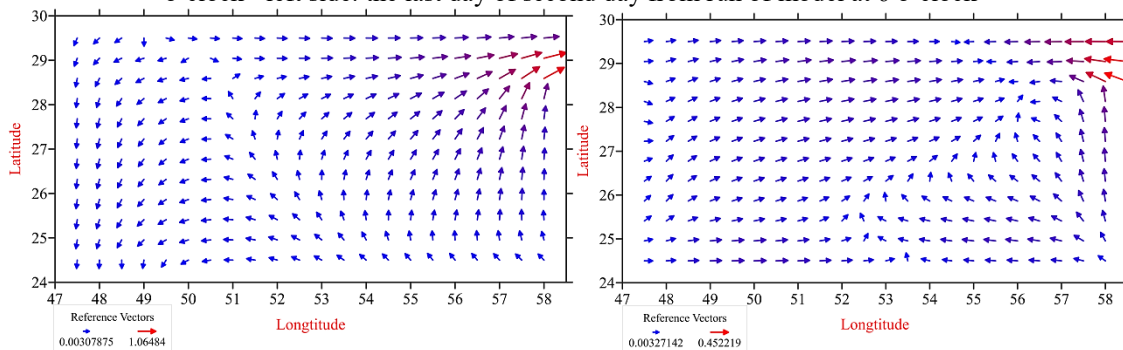
شکل ۳- انحراف از تراز مندی ایستا- تراز اول- سمت راست: روز آخر سال دوم اجرای مدل در ساعت ۹- سمت چپ: روز آخر سال دوم اجرای مدل در ساعت ۱۲

Fig 3. Departure from static equilibrium- first level- right side: the last day of second day from run of model at 9 o'clock - left side: the last day of second day from run of model at 12 o'clock



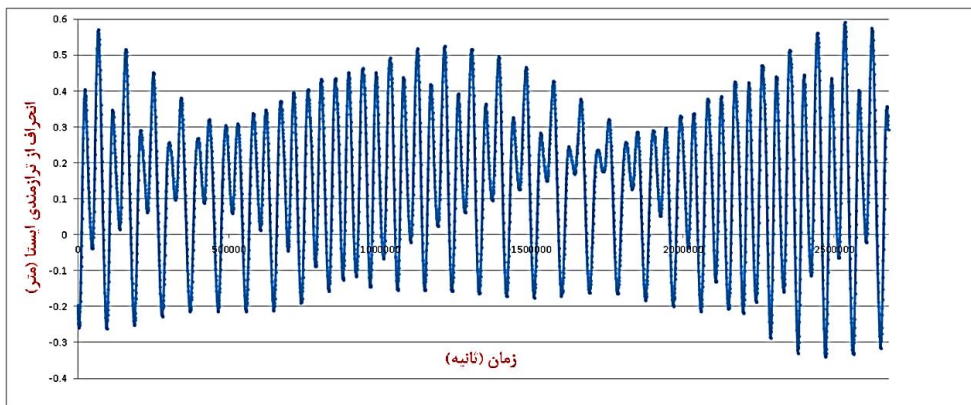
شکل ۴- میدان جریان- تراز میانی لایه اول- سمت راست: روز آخر سال دوم اجرای مدل در ساعت ۳- سمت چپ: روز آخر سال دوم اجرای مدل در ساعت ۶

Fig 4. Current field- intermediate level of the first layer- right side: the last day of second day from run of model at 3 o'clock - left side: the last day of second day from run of model at 6 o'clock



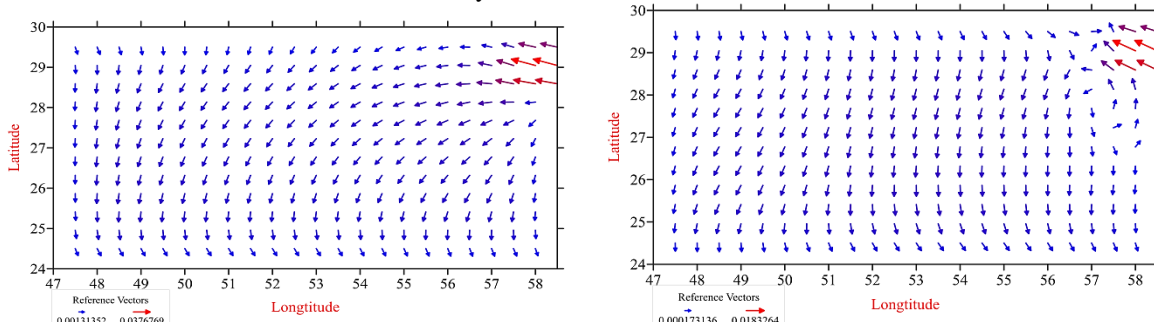
شکل ۵- میدان جریان- تراز میانی لایه اول- سمت راست: روز آخر سال دوم اجرای مدل در ساعت ۹- سمت چپ: روز آخر سال دوم اجرای مدل در ساعت ۱۲

Fig 5. Current field- intermediate level of the first layer- right side: the last day of second day from run of model at 9 o'clock - left side: the last day of second day from run of model at 12 o'clock



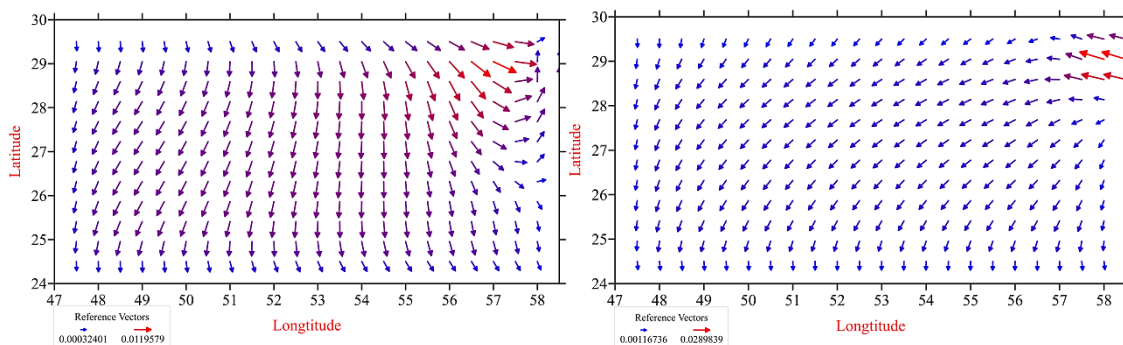
شکل ۶- انحراف از ترازمندی ایستا در نقطه‌ی $29.75^{\circ}N$ و $52.25^{\circ}E$ در نزدیکی مرز شمالی محیط - ماه اول سال دوم

Fig 6. Departure from static equilibrium at $29.75^{\circ}N$ and $52.25^{\circ}E$ near the northern bound- first month of second year from run model



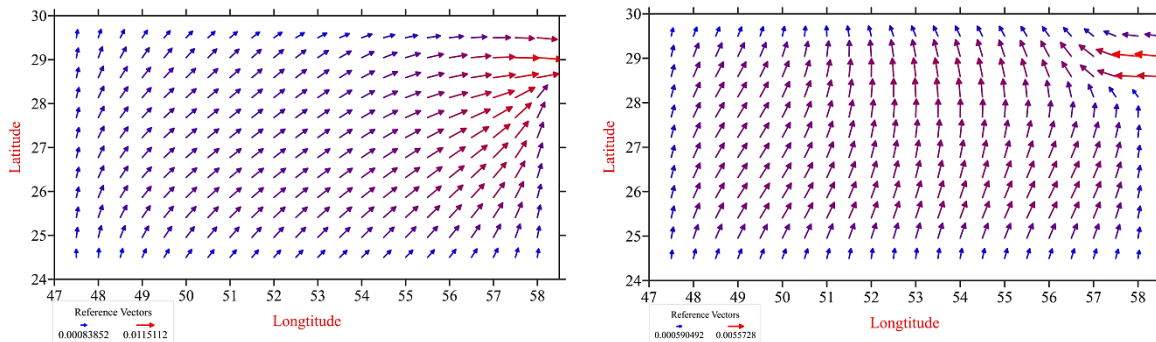
شکل ۷- میدان میان‌گین فصلی جریان - تراز میانی لایه اول - راست: فصل بهار - چپ: فصل تابستان

Fig 7. Seasonal average of current field- intermediate level of the first layer- right: spring season- left: summer season



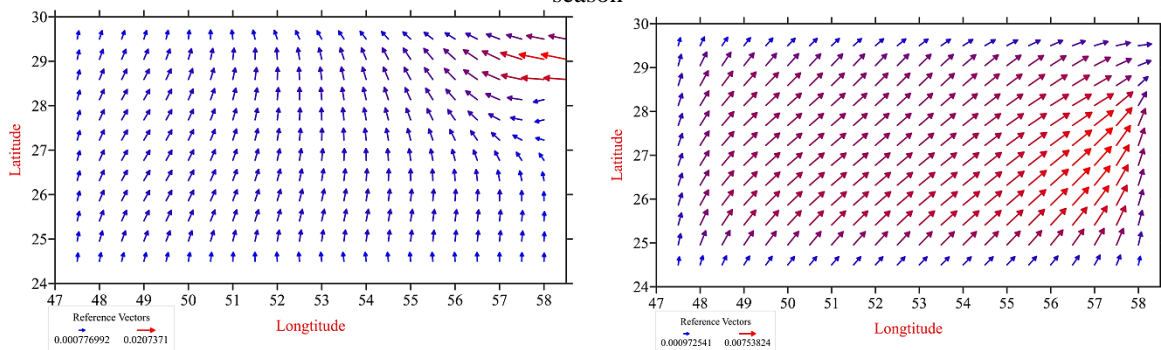
شکل ۸- میدان میان‌گین فصلی جریان - تراز میانی لایه اول - راست: فصل پاییز - چپ: فصل زمستان

Fig 8. Seasonal average of current field- intermediate level of the first layer- right: fall season- left: winter season



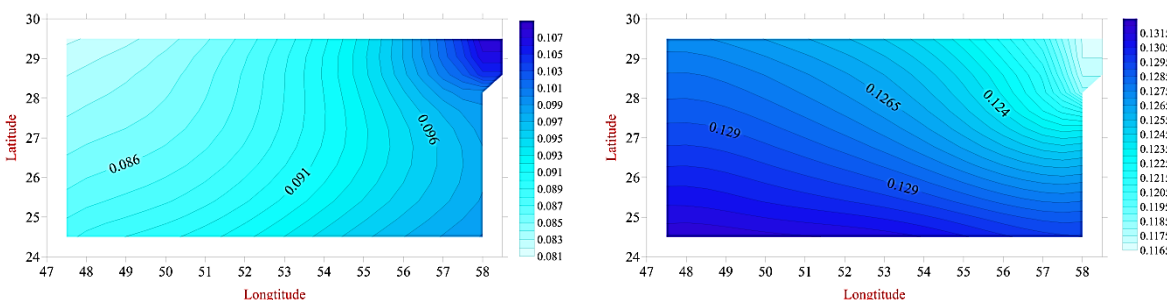
شکل ۹- میدان میان‌گین فصلی جریان - تراز میانی لایه پنجم - راست: فصل بهار - چپ: فصل تابستان

Fig 9. Seasonal average of current field- intermediate level of the fifth layer- right: spring season- left: summer season



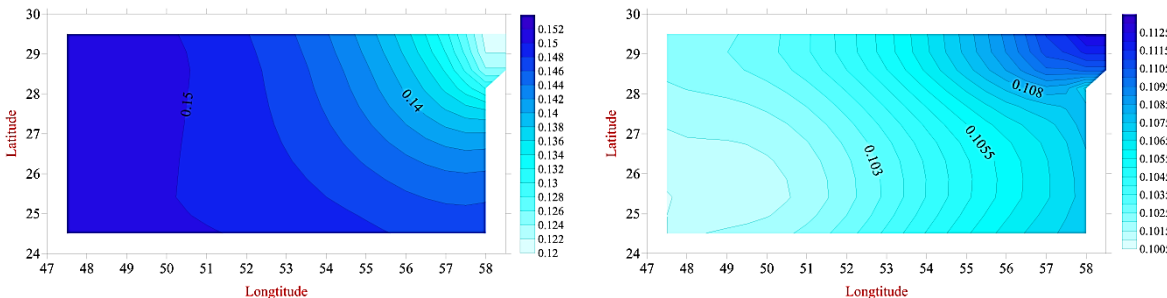
شکل ۱۰- میدان میان گین فصلی جریان - تراز میانی لایه پنجم - راست: فصل پاییز - چپ: فصل زمستان

Fig 10. Seasonal average of current field- intermediate level of the fifth layer- right: fall season- left: winter season



شکل ۱۱- خطوط هم مقدار انحراف از ترازمندی ایستای میان گین - تراز اول - راست: فصل بهار - چپ: فصل تابستان

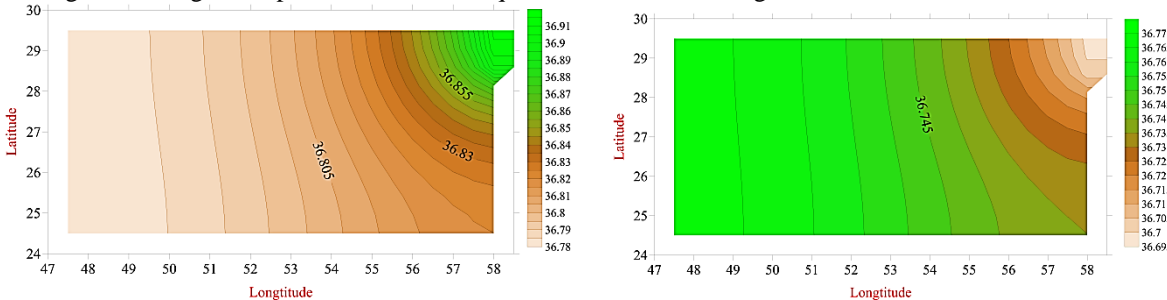
Fig 11. Average of departure from static equilibrium- first level- right: spring season- left: summer season



شکل ۱۲- خطوط هم مقدار انحراف از ترازمندی ایستای میان گین - تراز اول - راست: فصل پاییز - چپ: فصل زمستان

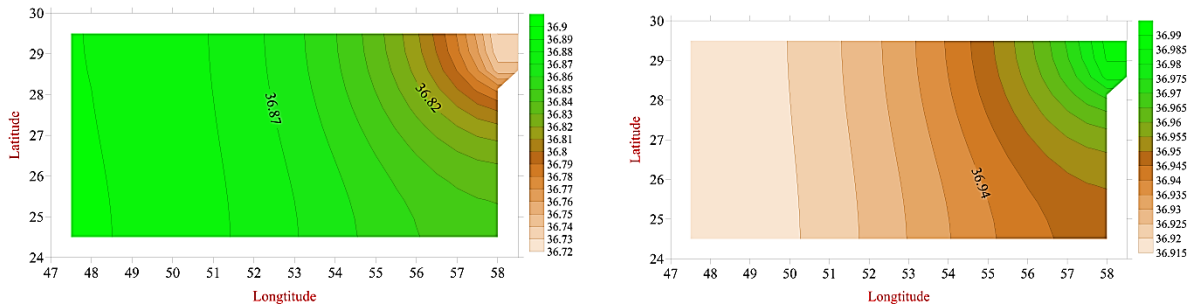
میان گین انحراف از ترازمندی ایستا برای فصول مختلف نشان می دهد بیشینه ارتفاع آب تحت تاثیر عوامل غیر تناوبی ۰/۱۵۲ متر است. میان گین فصلی انحراف از ترازمندی ایستا (شکل ۱۱ و شکل ۱۲) نیز حضور موج کلوبین و چرخش پاد ساعت گردی آن را در حوضه نشان می دهد.

Fig 12. Average of departure from static equilibrium- first level- right: fall season- left: winter season



شکل ۱۳- میان گین فصلی میدان شوری - تراز میانی لایه اول - راست: فصل بهار - چپ: فصل تابستان

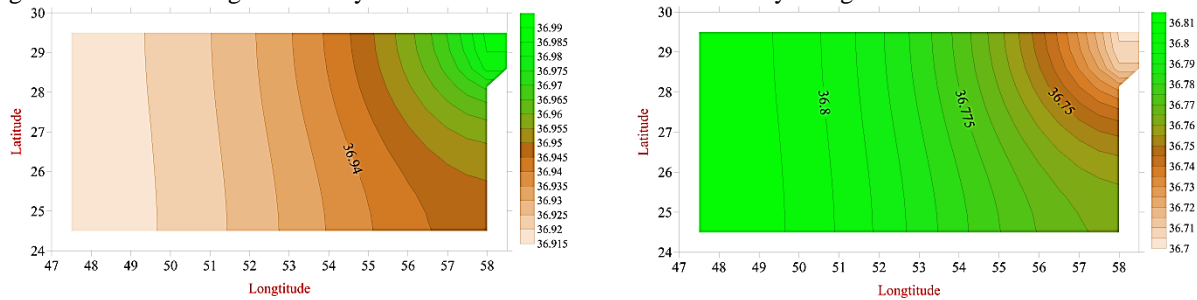
Fig 13. Seasonal average of salinity field- intermediate level of the first layer- right: spring season- left: summer season



شکل ۱۴- میان‌گین فصلی میدان شوری- تراز میانی لایه اول - راست: فصل پاییز- چپ: فصل زمستان

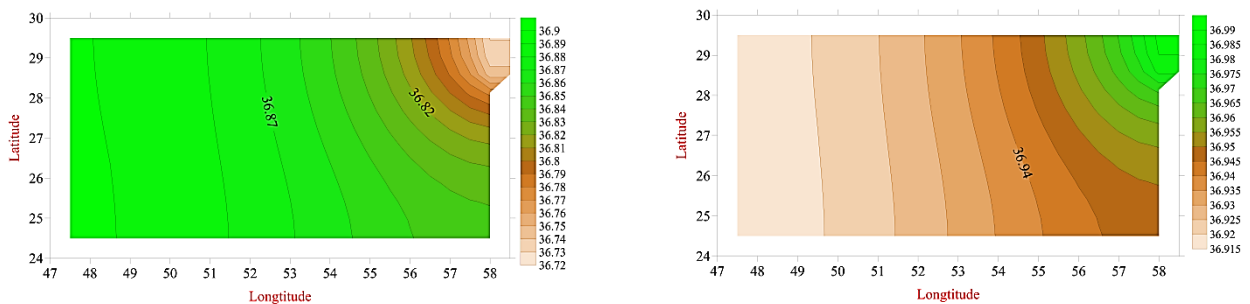
بررسی میان‌گین میدان‌های شوری در فصل‌های مختلف (شکل ۱۳ و شکل ۱۴) نشان می‌دهد در فصل بهار و زمستان آبی با شوری کم تر از تنگه وارد حوضه می‌شود و در تابستان و پاییز فرآیند معکوس رخ خواهد داد.

Fig 14. Seasonal average of salinity field- intermediate level of the first layer- right: fall season- left: winter season



شکل ۱۵- میان‌گین فصلی میدان شوری- تراز میانی لایه پنجم- راست: فصل بهار- چپ: فصل تابستان

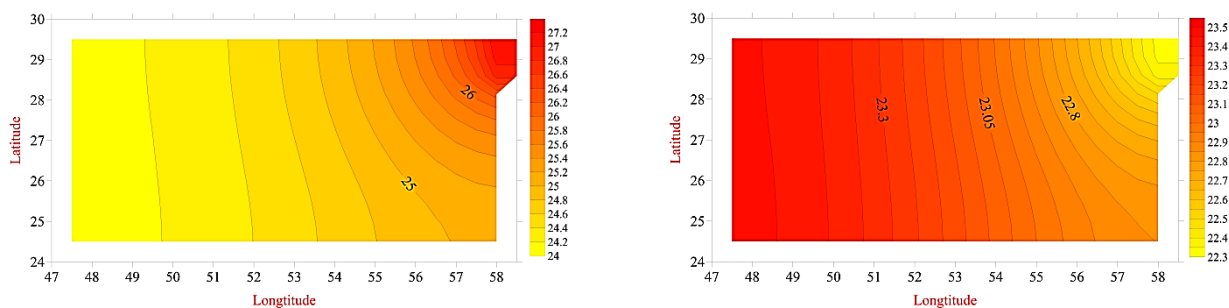
Fig 15. Seasonal average of salinity field- intermediate level of the fifth layer- right: spring season- left: summer season



شکل ۱۶- میان‌گین فصلی میدان شوری- تراز میانی لایه پنجم - راست: فصل پاییز- چپ: فصل زمستان

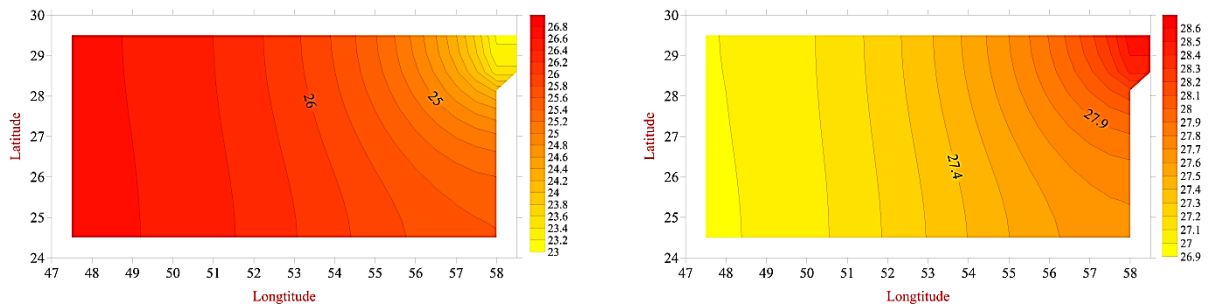
در زیر میانگین فصلی میدان دما ارائه شده است.

Fig 16. Seasonal average of salinity field- intermediate level of the fifth layer- right: fall season- left: winter season



شکل ۱۷- میان‌گین فصلی میدان دما- تراز میانی لایه اول- راست: فصل بهار- چپ: فصل تابستان

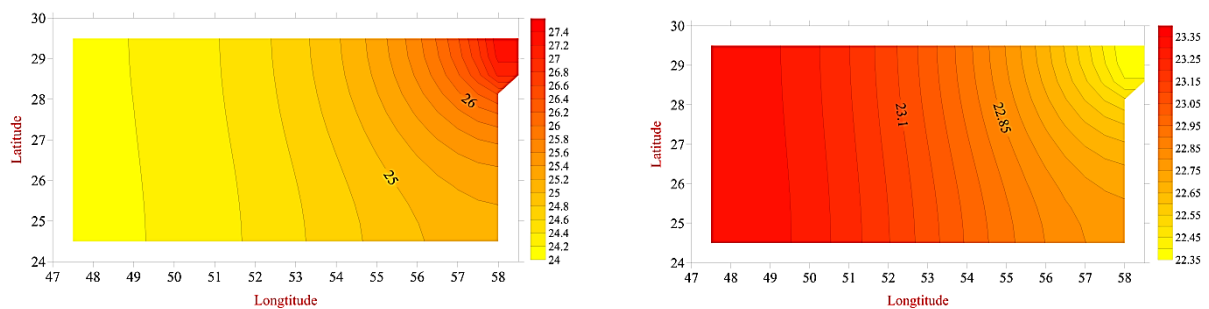
Fig 17. Seasonal average of temperature field- intermediate level of the first layer- right: spring season- left: summer season



شکل ۱۸- میان‌گین فصلی میدانی لایه دما- تراز میانی لایه اول- راست: فصل پاییز- چپ: فصل زمستان

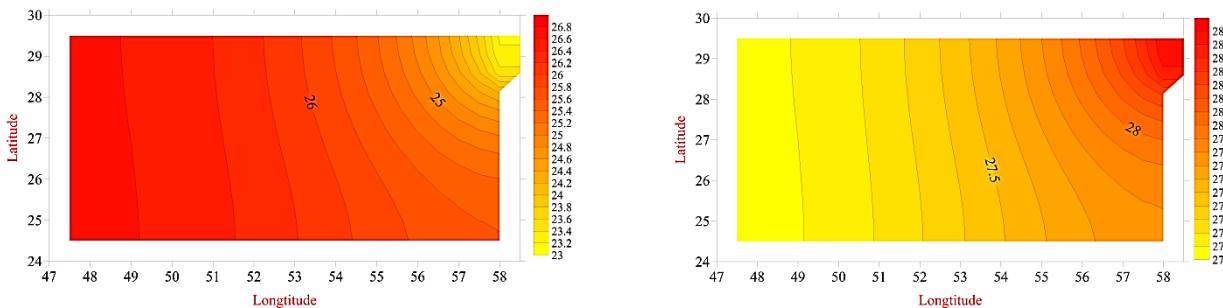
میان‌گین فصلی دمای سطحی (شکل ۱۷ و شکل ۱۸) نشان می‌دهند که آب با دمای کم‌تر در فصل بهار و زمستان از سطح تنگه وارد حوضه می‌شود و در تابستان و پاییز فرآیند معکوس رخ می‌دهد. در لایه بستری نیز اتفاق مشابهی رخ می‌دهد. (شکل ۱۹ و شکل ۲۰).

Fig 18. Seasonal average of temperature field- intermediate level of the first layer- right: fall season- left: winter season



شکل ۱۹- میان‌گین فصلی میدانی لایه پنجم- راست: فصل بهار- چپ: فصل تابستان

Fig 19. Seasonal average of temperature field- intermediate level of the fifth layer- right: spring season- left: summer season



شکل ۲۰- میان‌گین فصلی میدانی لایه پنجم- راست: فصل پاییز- چپ: فصل زمستان

Fig 20. Seasonal average of temperature field- intermediate level of the fifth layer- right: spring season- left: summer season

و یا خارج می‌شود. این نتیجه در تطابق با نتیجه‌ی (Rashidi Ebrahim و Hesari et al., 2006) و در تضاد با (Wright, 1974) می‌باشد که می‌گوید درون‌ریزی و برون‌ریزی در سرتاسر تنگه‌ی هرمز یک ناحیه دو لایه را شامل می‌شود که در آن آب از سطح تنگه‌ی هرمز وارد خلیج فارس می‌شود و از بستر خارج می‌گردد. (Reynolds, 1993) در پژوهشی با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده گشت دریایی Mt. Mitchell، وجود یک چرخش پادساعتگرد را در خلیج فارس نشان داد. شکل ۲ تا شکل ۵ نیز حاکی از وجود چنین گردشی در این محیط اقیانوسی می‌باشد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آزمون‌های اولیه‌ی صحت‌سنجی از جمله اثر حذف نیروی کوریولیس و اثر نیروی باد یکنواخت در تطابق با کار (Heidari Nesheli et al., 2018) بوده است. خطوط هم‌مقدار انحراف از ترازمندی ایستا و میدان‌های جریان (شکل ۲ تا شکل ۵)، و بررسی انحراف از ترازمندی ایستا در یک نقطه از محیط (شکل ۶) حاکی از غالب بودن اثر کشند بر اثر باد و اختلاف چگالی در چرخش آب این محیط می‌باشد و قویاً حوضه‌ی آبی را به صورت یک نیروی وارد به بدنه، تحت تأثیر قرار می‌دهد. هم‌چنین شکل ۶ نیم‌روزانه بودن کشند را نشان می‌دهد و این نتیجه در تطابق با نوع کشند در خلیج فارس است. به گونه‌ای که آب از سرتاسر تنگه وارد

میانگین فصلی دما در سطح و بستر حوضه‌ی فرضی این پژوهش (شکل ۱۷ و شکل ۱۸) در تطابق با نتایج (Reynolds, 1993) می‌باشد. نتیجه‌ی اجرای دو ساله این مدل نشان می‌دهد بیشینه‌ی جریان معادل با $1/98$ متربرثانیه در تنگه ایجاد خواهد شد که می‌تواند چرخش پادساعت‌گردی را در حوضه برقرار نماید. میانگین فصلی این جریان نیز در تنگه با بیشینه‌ای در بازه $0/02$ متربرثانیه تا $0/038$ متربرثانیه مشاهده می‌شود. این مدل آزمایش‌گاهی بوده و به لحاظ برخی از شرایط در تشابه با خلیج فارس طراحی شده است، تطابق قابل قبولی را بین نتایج این پژوهش و مبانی فیزیک دریا، بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی و نتایج پژوهش‌های انجام شده در خلیج فارس، نشان می‌دهد و می‌تواند پایه طراحی مدل مناسبی برای محیط‌های اقیانوسی و از جمله خلیج فارس باشد.

با توجه به این که در چنین محیطی می‌بایستی علاوه بر وجود یک جریان پادساعت‌گرد، حداقل یک نقطه‌ی بی‌کشند نیز وجود داشته باشد (Apel, 1990)، نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده‌ی آن است که، آب ورودی از تنگه یک جریان ساحلی در مرز شمالی ایجاد می‌کند که این امر باعث چرخش پادساعت‌گردی در حوضه می‌گردد و حضور یک نقطه‌ی بی‌کشند نیز در نتایج کاملاً مشهود است (شکل ۲ و شکل ۳). میانگین فصلی میدان‌های جریان (شکل ۷ تا شکل ۱۰) نشان می‌دهد، در چنین محیطی درون‌ریزی قوی از تنگه به درون حوضه، در تابستان وجود دارد که باعث برون‌ریزی از بستر تنگه خواهد شد. میانگین فصلی شوری (شکل ۱۳ و شکل ۱۴) نشان می‌دهد در فصل زمستان و بهار شوری سطحی بالاتر به نواحی غرب، جنوب غربی و جنوب منتسب می‌شود و این نکته در تطابق با نتایج پژوهش (Brewer et al., 1978) در منطقه خلیج فارس می‌باشد.

References:

- Anderson Jr. John D. 1995. Computational fluid dynamics the basics with applications. McGraw-Hill, Inc, p547
- Aple J.R. 1990. Principles of ocean physics. London Academic Press, p 634
- Brewer P.G., Fleer A. P., Kadar S., Shafer D. L. and Smith C. L. 1978. Chemical Oceanography Data from the Persian Gulf and Gulf of Oman. Woods Hole Oceanography Institution Technical Report. 78-37, 105 pp.
- Farjami H., Zamanian M.T. and Azarm Sa S.A. 2006. Numerical Simulation of Wind Induced Current in Artificial Five-Layer Ocean Basin. MSc Thesis. Department of physical oceanography, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat modares University, Tehran, Iran. 108p.
- Farjami H., Zamanian M., Rashidi Ebrahim Hesari A. and Azarmsa, S.A. 2012. Numerical Simulation of Ekman Theory in Five Layers Oceanic Basin. Journal of Marine Science and Technology, 11(1): 41-48.
- Haltiner G.J. and Williams R.T. 1980. Numerical prediction and dynamic meteorology. John Wiley and sons, Pp. 250
- Heidari Nesheli Z., Zamanian M.T. and Sadrinasab M. 2018. Design of Oceanic Model for Caspian Sea. PhD Thesis, Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Iran, 194p.
- Heidari Nesheli Z., Zamanian M.T. and Sadrinasab M. 2018. Wind Effect on Changes of Density in a Theoretical Oceanic Model with Non-Level Bottom. Hydrophysics, 2(2): 27-40.
- Brayev R. A., Zsoy E. O., Schrum S. and Sur H. (2010). Seasonal variability of the Caspian Sea three dimensional circulation sea level and air-sea interaction. Ocean Science Discuss, Vol. 6, p. 1913-1970.
- Kantha L. and Clayson C. 2000. Numerical models of oceans and oceanic processes. San Diego, Academic Press, pp: 1-490.
- Nihoul J. C. 1977. Three-dimensional model of tides and storm surges in a shallow well-mixed continental sea. Dynamics of Atmospheres and Oceans, 2(1), 29-47
- 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.
- Rashidi Ebrahim Hesari A., Zamanian M. T. and Azarmsa, S.A. 2006. Simulation of Tidal Current in Two Layers Oceanic Basin by Three Dimensional Numerical Model. Journal of Marine Science and Technology, 4(3-4): 13-22.
- Kämpf J. 2009. Advanced Ocean Modelling. Flinders University, School of the Environment, PO Box 2100 Adelaide SA 5001, Australia, 193p
- Thorp S. A. 2009. Wind stress coefficients over sea surface from breeze to hurricane. Journal of Geophysics Res., 78: 9704-9706.
- Wright J. L., 1974. A hydrographic and acoustic survey of the Persian Gulf, MSc Thesis, Nav. Postgrad. Sch., Monterey, Calif.
- Zamanian M. T. 2006. Project of base model two layered. Institute of Meteorology and Atmospheric Science.
- Zamanian M. T. 1994. Three Dimensional Models for Persian Gulf. PhD Thesis. University of the Philippines, 162p.



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Designing a Numerical Model to Study the Effect of Tide and Wind in a Theoretical Basin in Similarity to Persian Gulf

Mohammad Taghi Zamanian¹, Masoud Sadrinasab², Mehri Fallahi^{* 3}

1. Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Iran Meteorological Organization, Tehran, Iran.
2. Department of environment, Technical Faculties Campus (Environment), University of Tehran, Tehran, Iran.
3. Department of Marine Physics, Faculty of Marine Science and Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

* Corresponding Author E-mail: mehri_fallahi@ut.ac.ir

Received: 30 September 2018

Revised: 18 January 2019

Accepted: 22 January 2019

DOI: 10.22113/JMST.2019.149922.2203

Abstract

The design of oceanic numerical model for Persian Gulf to predict oceanic phenomena and parameters is one of the most important ways of preventing or solving problems environment and designing of the oceanic model similar to it is an effective method that can explain physical response of environment to different situations. Purpose of this research is designing oceanic numerical model for environment similar to Persian Gulf, to predict its reaction in return effect of tide and wind. This three-dimensional model based on primitive equations in spherical coordinates system with sigma vertical coordinate. To solve equations of model is used finite difference method. Compared with similar models, model framework and calculate more logical tension between are the benefits of this model. An oceanic five-layer basin is considered with maximum and minimum depth 100m and 80.09m. The average daily wind in Persian Gulf, the average daily salinity and water temperature and the changes in the water level in Strait of Hormuz are used in this model. The two-year implementation of model showed that in this basin, the tidal force is a dominant force compared with windy force and density gradient, also the maximum current in strait is 1.98m/s which can create anticlockwise circulation in basin. Maximum total change of water height is 2.98m in relation to the static level. Implementation results of this model correspond to the oceanographic reality of Persian Gulf, while matches with purpose; it is the basis of suitable model for Persian Gulf.

Keyword: numerical model, primitive equations, sigma vertical coordinate, Persian Gulf, Strait of Hormoz.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

