

صص ۷۵-۹۰

مطالعه پیچک‌های میان‌مقیاس تحت تأثیر جریان‌های ساحلی در خلیج فارس و نقش آن در اقلیم منطقه

امین رئیسی

دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

حسام‌الدین مهر فر*

دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

عباسعلی علی‌اکبری بیدختی

استاد موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

مسعود ترابی آزاد

دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

کامران لاری

دانشیار دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

محمدجعفر ناظم‌السادات

استاد دانشکده مهندسی آب، مرکز علوم جوی و اقیانوسی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

مجتبی عظام

استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۵

چکیده

نقش پیچک‌های میان‌مقیاس و جریان‌های ساحلی در مطالعات اقیانوسی و اقلیمی از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین منظور، داده‌های میدان ارتفاع سطح دریا، به مدت ۵ سال (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴) از سری داده‌های مرجع آویسو استخراج شدند و پیچک‌های میان‌مقیاس بر اساس روشی مبتنی بر ارتفاع سطح دریا و به کمک نرم‌افزار Arc GIS مورد شناسایی و ردیابی قرار گرفتند. همچنین جریان‌های ساحلی به‌منظور تأثیرگذاری بر تشکیل پیچک‌های میان‌مقیاس با مدل عددی کوه‌رنس شبیه‌سازی شدند. نتایج پژوهش، میانگین سالانه ۷۸ پیچک با حداقل طول عمر یک هفته را نشان داد که غالباً چرخندی (۵۹,۱٪) هستند و اثر خنک‌کنندگی و کاهش دما را در جو منطقه دارند. بیشترین محدوده فعالیت پیچک‌ها در بخش‌های ورودی خلیج فارس از سمت تنگه هرمز و شمال غربی خلیج فارس است. قوی‌ترین پیچک‌ها در تابستان مشاهده شدند که مطابق با نتایج شبیه‌سازی، بیشترین شدت جریان‌ها نیز در ماه‌های جون تا آگوست می‌باشد.

واژگان کلیدی: پیچک‌های میان‌مقیاس، جریان‌های ساحلی، خلیج فارس، ارتفاع سطح دریا، شبیه‌سازی عددی.

مقدمه

جریان‌های دریایی و پیچک‌های میان‌مقیاس نه تنها به جهت دینامیکی اهمیت دارند، بلکه از نظر اقلیم‌شناسی، برهمکنش هوا-دریا و زیست‌شیمی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. اساساً مطالعه و بررسی تغییرات دینامیکی آب دریا بر تغییرات جوی، اقلیم منطقه، ایجاد تأسیسات در مناطق ساحلی، حمل‌ونقل دریایی، ناپایداری و اختلاط در ستون آب و حفاظت از محیط‌زیست منطقه در مقابل آلودگی‌ها مؤثر هستند (زاهدی و ترابی آزاد، ۱۳۸۱: ۴۳). مقیاس افقی یک پیچک میان‌مقیاس معمولاً بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر متغیر است که دارای طول عمر ۱۰ تا ۱۰۰ روز است (پاتنیک^۱ و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۸؛ فاقموس^۲ و همکاران، ۲۰۱۵) که منجر به انتقال جرم یا گرما، الگوهای جریان اغتشاشی، عوامل ترمودینامیکی، مناطق مستعد ماهیگیری و فرآیندهای فرا جوشی^۳ تا فواصل طولانی می‌شود (فاقموس و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۰؛ برون^۴ و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۴۲۶). پیچک‌های میان‌مقیاس اقیانوسی دو نوع هستند که یکی دارای هسته گرم و دیگری دارای هسته سرد است. مشخصه بارز پیچک‌ها با هسته گرم (سرد) این است که دارای دمای بالاتر (پایین‌تر) هستند و تراز دریا در مرکز آن بالاتر (پایین‌تر) است. فاکتورهای اولیه برای تشکیل پیچک‌ها نیرویی است که توسط تنش باد، ناپایداری بارو کلینیکی و تعادل گرادیان باد اعمال شود (گاپالان^۵ و همکاران، ۲۰۰۰: ۷۲۱). پیچک‌های میان‌مقیاس نقش کلیدی در ایجاد تاوایی جوی مانند طوفان‌های حاره‌ای ایفا کرده و به مراتب بر شدت آن تأثیر می‌گذارند. به‌طور مثال پیچک‌ها با هسته سرد منجر به تضعیف طوفان‌های حاره شده در صورتی که پیچک‌ها با هسته گرم شدت طوفان حاره‌ای را تقویت می‌کند. این یک حقیقت شناخته شده است که محیط‌زیست‌های دریایی و ساحلی متأثر از چنین گردابه‌های اقیانوسی هستند. ویژگی‌های زیست‌محیطی متداوم پیچک‌ها، آب‌وهوای اقیانوس و جو پیرامون آن را تعیین می‌کند. به‌طور مثال محتوای گرمای اقیانوسی به‌عنوان یک پارامتر مهم در مباحث اقیانوسی در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند تاوایی جوی را تعدیل کند (گانی^۶ و همکاران، ۲۰۰۳: ۵۷۳؛ ماینلی^۷ و همکاران، ۲۰۰۸: ۳). در رابطه با پیچک‌های با هسته گرم محتوای حرارت حفظ شده، انرژی مثبت قابل ملاحظه‌ای را برای طوفان در قالب شارهای آنتالپی بزرگ فراهم می‌کند و در نتیجه به فرایند تشدید کمک می‌کند. مشابه این فرایند در رابطه با پیچک‌های با هسته سرد معکوس عمل می‌کند. به‌علاوه این‌یک پیامد اصلی دارد و آن هم زمانی است که پیچک با هسته گرم در مناطق نزدیک به ساحل شکل می‌گیرد و یک طوفان از روی آن عبور می‌کند. این امر دارای تأثیرات اجتماعی اقتصادی بزرگی است که بر جوامع ساحلی، کشاورزی و زیرساخت‌ها اثر گذاشته و به‌مراتب منجر به خطرات فاجعه‌بار خواهد

¹ Patnaik

² Faghmous

³ Upwelling

⁴ Beron

⁵ Gopalan

⁶ Goni

⁷ Mainelli

شد. هاریکن اوپال (۱۹۹۵) در اقیانوس اطلس شمالی و طوفان غول‌آسای میامی (۲۰۰۳) در غرب اقیانوس آرام شمالی ناشی از یک پیچک با هسته گرم، از نمونه‌هایی هستند که بسیار سریع و ناگهانی طی ۲۴ تا ۳۶ ساعت شدت گرفته‌اند (اوروپزا^۸، ۲۰۱۵: ۲۷؛ هنگ^۹، ۲۰۰۰: ۱۳۴۷). رفتار منظم این پیچک‌های گرم این است که فرایند تشدید طوفان‌های حاره‌ای را تقویت می‌کنند. از آنجا که این امر برای پیچک‌های با هسته سرد نیز صدق می‌کند، پیچک‌های سرد نیز یک بازخورد منفی نسبت به طوفان ایجاد کرده و در نهایت ضعیف می‌شوند. با این حال اثرات مثبت دیگری نیز در رابطه با این پیچک‌ها با هسته سرد وجود دارد که به‌طور غیرمستقیم به فرایندهای دریایی کمک می‌کند. در واقع بیشترین کلروفیل زیرسطحی را به منطقه سطحی آورده و این ناحیه را به یک ناحیه بیولوژیکی با حاصلخیزی بالا تبدیل می‌کند (پراسانا^{۱۰}، ۲۰۰۲: ۸۱). تشخیص چنین پیچک‌هایی با استفاده از الگوهای گرادیان ارتفاع و دمای سطح دریا امری دشوار است زیرا تغییرات سطحی به دست آمده بسیار اندک است. بهترین رویکرد در مواجهه با این پیچک‌های میان‌مقیاس استفاده از ارتفاع سنجی‌هایی است که از آنومالی‌های ارتفاع و دمای سطح هوای تراز دریا به دست می‌آید که در آن سیگنال بالا و پایین ارتفاع و دمای سطح هوا به ترتیب به‌عنوان یک شاخص برای پیچک‌های با هسته گرم و سرد عمل می‌کند (گاپالان و همکاران، ۲۰۰۰: ۷۲۱). در دهه‌های اخیر شناخت تغییرات این پیچک‌های میان‌مقیاس در ابعاد زمانی و مکانی همواره بیشتر شده است. بروس^{۱۱} و همکاران (۱۹۹۸: ۷۵۹۳) با استفاده از داده‌های ارتفاع سنجی تاپکس ویژگی‌هایی از انرژی‌های میان‌مقیاس را گزارش کرده‌اند. فرنگر^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۳: ۶۰۸) اثرات این پیچک‌ها را بر پارامترهای جوی از جمله دمای هوا، بادهای ابرها و بارش مورد تحلیل قرار داده‌اند. دامدپات و چارکرابونی^{۱۳} (۲۰۱۶: ۵۰۴۴) ساختار سه بعدی پیچک‌های میان‌مقیاس را با استفاده از ارتفاع سنجی و شناورهای آرگو برای سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۴ در قسمت جنوبی خلیج بنگال تحلیل و بررسی کردند. بوسیرادی^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۸: ۱۴۳۲) ساختارهای ترموهالینی مرتبط با پیچک‌های با هسته گرم و واکنش آن با جو پیرامونی را در قسمت شمالی خلیج بنگال نشان داده‌اند. اثرات پیچک با هسته گرم در متغیرهای آب و هوایی سطحی نیز تعیین شده است. تغییرات چشم‌گیری در آنومالی‌های دمای سطح هوا و دمای سطح دریا، مقادیر رطوبت ویژه هوا-دریا و شارهای آنتالپی در طول دوره پیچک گرم مشاهده شدند (بوسیرادی، ۲۰۱۸: ۱۴۳۱). در طول انتشار پیچک یعنی از زمان شکل‌گیری تا مرحله تکامل، آنومالی‌های دمای سطح هوا و دمای سطح دریا تغییرات مشابهی را نشان داده و بزرگی آن‌ها در مرحله تکامل به ۳ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. مشاهده شده است که اختلاف شدید دمای دریا-هوا در پیچک با هسته گرم منجر به افزایش ناگهانی و

⁸ Oropeza

⁹ Hong

¹⁰ Prasanna

¹¹ Bruce

¹² Frenger

¹³ Dandapat and Chakraborty

¹⁴ Busireddy

شدید در شار گرمای نهان و شار گرمای محسوس به ترتیب تا ۵۰۴ و ۱۴۲ وات بر متر مربع می‌شود (بوسیرادی، ۲۰۱۸: ۱۴۳۱). مقایسه این مقادیر با مقادیر اقلیمی نشان داد که شارهای القا شده پیچک تا ۲۷۴ درصد و ۳۷۰ درصد بالاتر هستند (کوماران، ۲۰۱۲: ۱۵۲۱؛ سریاک^{۱۶}، ۲۰۱۶: ۹۷). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مقدار پارامترها از مرحله آغاز یعنی فاز عدم وجود پیچک و سپس تولید آن در حال افزایش بوده است تا جایی که به بیشترین مقدار خود در مرحله تکامل می‌رسند. پس از آن در طول فرآیند فروپاشی، این مقادیر به حالت نرمال خود باز می‌گردد. به‌طور مثال محتوای حرارتی برآورد شده اقیانوسی در مرحله پیک یک افزایش ۲۸ درصدی نسبت به مرحله عدم وجود پیچک را نشان می‌دهد (بوسیرادی، ۲۰۱۸: ۱۴۳۱). مشابه‌ها پارامترهای دیگری مانند سرعت باد، دمای سطح دریا و دمای سطح هوا نیز به ترتیب تا ۵۱، ۳/۶ و ۹۸ درصد نسبت به مرحله عدم وجود پیچک افزایش نشان می‌دهند.

اختلاف چگالی در توده‌های آب و جریان‌های اصلی بزرگ مقیاس و تنش باد در سطح، موجب شیب‌دار شدن خطوط هم‌چگال و ایجاد ناپایداری بارو کلینیکی در خلیج فارس می‌گردد. وجود این ناپایداری‌ها باعث تشکیل پیچک‌ها در اطراف جریان اصلی می‌شود. با تشکیل ترموکلاین و در نظر گرفتن جریان آب اروند و ورودی آب دریای عمان به خلیج فارس از طریق تنگه هرمز، شرایط لازم برای ایجاد پیچک‌های میان‌مقیاس مخصوصاً در سواحل ایران ایجاد می‌شود (تاپیل و هوگان^{۱۷}، ۲۰۱۰: ۲۱۲۲). ورود جریان آب شیرین‌تر از میانه تنگه هرمز به درون خلیج فارس سبب ایجاد آشفتگی در میدان چگالی عمود بر فلات قاره می‌شود. این تغییر در میدان چگالی فرآیند ناپایداری باروکلینیکی را به دنبال خواهد داشت. از آنجا که یکی از ساز و کارهای حاکم بر ایجاد پیچک‌ها، وجود ناپایداری باروکلینیکی است، بنابراین سبب تغییرات مهمی در گردش عمومی آب در خلیج فارس و به وجود آمدن پیچک‌هایی در آن خواهیم بود (زارعی و همکاران، ۱۳۸۶).

گردش در خلیج فارس اولاً ناشی از بادهای غالب شمال غرب، نیروهای شناوری ناشی از تبخیر بالا (نسبت به آب ورودی از رودخانه‌ها و تبخیر) و اثر جزر و مد است (زارعی و همکاران، ۱۳۸۶). در نیمه اول سال، آب با شوری بالا در خلیج فارس مشاهده می‌شود (عظام و همکاران، ۲۰۱۰: ۸۸۷؛ باور^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۰: ۶۳۸۷؛ جونز^{۱۹} و همکاران، ۲۰۰۳: ۳۳۹۱). خلیج فارس آب‌های بسیار شوری ایجاد می‌کند که از طریق تنگه هرمز به دریای عمان جریان می‌یابد (نوری و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۳۶). به‌طور کلی گردش در خلیج فارس را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: الف) گردش در مقیاس بزرگ (حوزه) ب) گردش آب در قالب پیچک‌های میان‌مقیاس و ریز مقیاس. نتایج با استفاده از شبیه‌سازی با تفکیک‌پذیری بالا (۳ کیلومتر) نشان می‌دهد، تبادلات قابل ملاحظه در مقیاس درون فصلی در ساختارهای ترموهالاین و جریان‌ها نیز اتفاق می‌افتد، که

¹⁵ Kumar

¹⁶ Cyriac

¹⁷ Thoppil and Hogan

¹⁸ Bower

¹⁹ Johns

توسط نیروهای کشندی با فرکانس بالا و نیروهای اتمسفری تشدید می‌شود، که می‌تواند شکل و شدت گردش چرخندی، موقعیت شاخه رودخانه، میزان توسعه یک فرا جوشی در طول سواحل شمال غربی ایران، جریانات برگشتی از ساحل در طول سواحل عربی و پراکنش پیچک‌های میان‌مقیاس را تحت تأثیر قرار دهد (پاوز^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۵). تاپیل و هوگان، ۲۰۱۰: ۲۱۲۲)، با استفاده از مدل هایکام گردش و پیچک‌های میان‌مقیاس در خلیج فارس را شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد مسیرهای پر پیچ و خم جریان‌های ساحلی ایران به دلیل ناپایداری باروکلینیکی به‌خصوص بین جولای و آگوست موجب تشکیل یک سری پیچک‌های میان‌مقیاس می‌شود. رینولدز^{۲۱} (۱۹۹۳: ۳۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای؛ یائو و جونز^{۲۲} (۲۰۱۰: ۱) با اجرای مدل گردش در خلیج فارس به وجود پیچک‌ها در این منطقه اشاره می‌کنند. ترابی آزاد و همکاران (۱۳۸۰: ۱۷) ساختار چرخاب‌ها در سواحل شمالی خلیج فارس را با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی مورد مطالعه قرار دادند. زارعی و همکاران (۱۳۸۶) پیچک‌های میان‌مقیاس خلیج فارس را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه کردند و پیش‌بینی ایجاد آن‌ها با استفاده از داده‌های دمای سطحی انجام شد. ثابت عهد جهرمی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر پیچک‌های میان‌مقیاس بر توزیع گرادیان دما و شوری در خلیج فارس و تنگه هرمز را مطالعه کردند.

در این پژوهش برای اولین مرتبه با استفاده از روش مبتنی بر ارتفاع سطح دریا^{۲۳} و سری داده‌های مرجع آویسو^{۲۴} در دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۰ پیچک‌های منطقه شناسایی و ردیابی شده و نقشه‌های مربوطه به کمک نرم‌افزار ArcGIS رسم شده است. این روش مؤثرتر از دیگر روش‌های رایج ردیابی پیچک‌ها می‌باشد و پاسخ‌های دقیق‌تری را در مناطق کم عمقی مثل خلیج فارس ارائه می‌دهد. در این روش از اثرات زیان‌بار نویزهای مشکل‌زای حاصل از مشتق دوم SSH در پارامتر Okubo-Weiss اجتناب می‌شود در حالی که در این روش نیاز به مشتق‌گیری از میدان SSH وجود ندارد (چلتون^{۲۵} و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۷). همچنین روش Okubo-Weiss به کنتور خاصی از SSH منجر نمی‌شود و روش‌های دیگر از جمله P-Delta صرفاً مرکز پیچک را شناسایی می‌کند (چلتون و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۷). روش مورد استفاده در این مقاله مبتنی بر SSH عمل می‌کند و مرکز، مساحت، و ویژگی‌های دینامیکی پیچک از جمله دامنه، سرعت، انرژی جنبشی، ضریب افقی پخش پیچکی به‌صورت دقیق محاسبه می‌گردند (چلتون و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۷). برای این تحلیل دینامیکی پیچک فرض می‌شود که تقریب زمینگرد برقرار است و پیچک‌ها با شکل متقارن گاوسی در نظر گرفته می‌شوند و پس از آن عملیات ردیابی انجام می‌گیرد (چلتون و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۷). با توجه به اینکه مطالعات محدودی در زمینه پیچک‌های میان‌مقیاس و اثرات آن‌ها در گردش خلیج فارس انجام گرفته است، به‌منظور صحت‌سنجی و بررسی بیشتر، با استفاده از مدل عددی کوهرنس و اعمال

²⁰ Pous

²¹ Reynolds

²² Yao, and Johns

²³ Sea Surface Height (SSH)

²⁴ Archiving Validation and Interpretation of Satellite Oceanography data (AVISO)

²⁵ Chelton

میانگین روزانه داده‌های بلندمدت اقلیمی ۵۰ ساله، با تفکیک افقی ۲ دقیقه، جریان‌های ساحلی و پیچک‌های میان‌مقیاس در خلیج فارس شبیه‌سازی شد و اثرات متقابل جریان‌های ساحلی و پیچک‌ها بررسی گردید. این مطالعه می‌تواند یک نقش مهم و اساسی در شناسایی پیچک‌ها و جریان‌های ساحلی خلیج فارس و تأثیرات آن‌ها بر اقلیم منطقه داشته باشد. همچنین نقشه دمای هوای ارتفاع ۲ متر برگرفته از داده‌های سازمان ملی اقیانوسی و جوی^{۲۶} با نقشه ارتفاع سطح دریا (پیچک‌های منطقه) در روزهای مشابه فعالیت پیچک‌ها مقایسه شدند و تأثیر آن‌ها بر دمای هوای منطقه بررسی شد.

داده‌ها و روش‌ها

الف- منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس یک حوضچه نیمه بسته کم‌عمق با عمق متوسط ۳۵ متر است که از طریق تنگه هرمز به دریای عمان متصل می‌شود (نوری و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۳۶ و چائو^{۲۷} و همکاران، ۱۹۹۲: ۱۱۲۱۹) و بین طول‌های جغرافیایی $48^{\circ} E - 56^{\circ} E$ عرض‌های $24^{\circ} N - 30^{\circ} N$ واقع شده است (عظام و همکاران، ۲۰۱۰: ۸۸۷) این منطقه از سمت شمال تا دلتای اروندرود کشیده شده است و از سمت جنوب تا بیابان‌های وسیع به موازات سواحل قطر، کویت، عربستان سعودی، بحرین و امارات متحده عربی گسترش یافته است (پاوز و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۵). این حوضچه نیمه بسته از اهمیت استراتژیکی برخوردار است و مسیر تانکرهای نفتی متعددی است که نفت را از این منطقه به سایر نقاط جهان حمل می‌کنند (نوری و همکاران، ۲۰۱۹:). بررسی آمار هواشناسی منطقه نشان می‌دهد که خلیج فارس و سواحل مجاور آن از جمله مناطق بسیار گرم دنیا محسوب می‌شوند که بدون تردید در بین نواحی هم عرض خود از نظر میزان گرما قابل توجه است. چنانکه دمای متوسط سالانه آن بین ۲۴ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد است (افشار و ترابی آزاد، ۱۳۹۴).

ب- روش شناسایی و ردیابی پیچک‌ها بر اساس ارتفاع سطح دریا

تاکنون تعداد زیادی از پیچک‌ها در میدان‌های ارتفاع سطح دریا از سری‌های مرجع آویسو و با استفاده از فرایندهای خودکار تشخیص و ردیابی شده‌اند. در این روش، خطوط جریان‌های زمینگرد حاضر در اطراف پیچک‌ها تقریباً متناظر با کنتورهای بسته ارتفاع سطح دریا در نظر گرفته می‌شوند. دامنه هر پیچک و اچرخندی به صورت اختلاف بین بیشترین ارتفاع سطح دریا در داخل پیچک (h_{max})، با ارتفاع متوسط خارجی‌ترین کنتور بسته ارتفاع سطح دریا در نظر گرفته می‌شود (چلتون و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۷):

$$A = h_{max} - h_0$$

²⁶ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

²⁷ Chao

سرعت ژئوستروفیک متوسط در اطراف هر کنتور ارتفاع سطح دریا را نیز با استفاده رابطه ریز محاسبه می کنیم:

$$u = \frac{g}{f} h_y$$

$$v = \frac{g}{f} h_x$$

در فرایند ردیابی اندازه هر پیچک به وسیله شعاع مؤثر آن (L_{eff}) مشخص می شود که شعاع دایره ای دارای مساحت یکسان با منطقه احاطه شده در محیط پیچک می باشد و پیچک به شکل متقارن گاوسی در نظر گرفته می شود (چلتون و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۷). پس از شناسایی هر پیچک و مرکز آن به عنوان مرکز هندسی SSH، در محدوده خارجی ترین کنتور بسته، پیچک شناسایی شده در گام زمانی k ، سپس در گام زمانی $k+1$ نیز مورد جستجو قرار می گیرد تا نزدیک ترین پیچک در محدوده جستجو پیدا شود. برای هر پیچک مرجع در زمان k ، فقط پیچک هایی در زمان $k+1$ ، با دامنه و مساحت بین $0/25$ تا $2/5$ برابر در نظر گرفته می شوند. این فرایند در گام زمانی بعدی تکرار می شود (چلتون و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۷). داده های مورد استفاده در این پژوهش، اندازه گیری های میدان ارتفاع سطح دریا در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۰ از سری داده های مرجع آویسو می باشند که برای بررسی ویژگی های دینامیکی و ردیابی پیچک ها استفاده شدند. این داده ها دارای دقت اندازه گیری $0/25$ درجه هستند و ردیابی پیچک ها با گام زمانی ۱ هفته انجام گرفته است. نقشه های مربوطه با استفاده از نرم افزار ArcGIS رسم شده است.

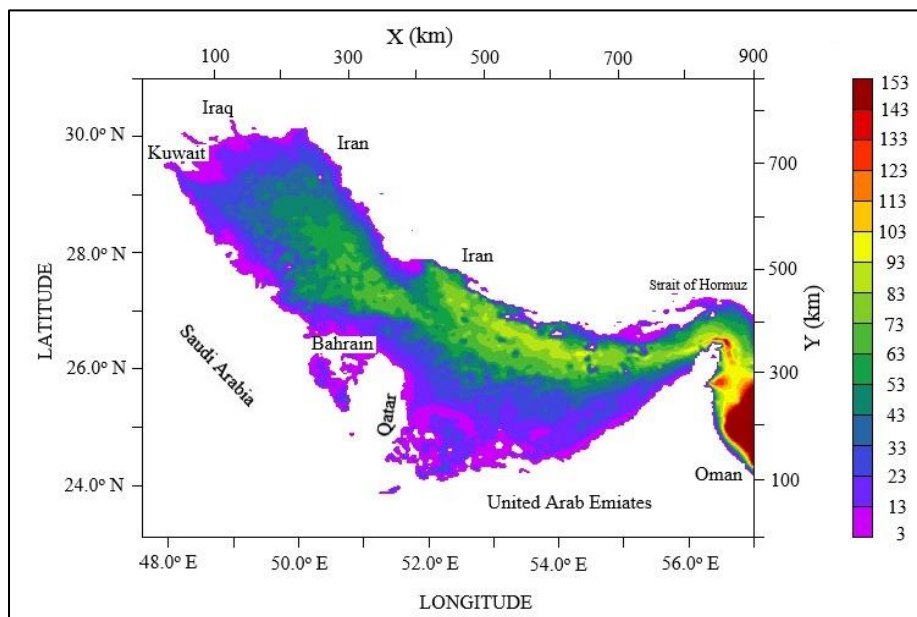
ج- روش شبیه سازی جریان های ساحلی

برای شبیه سازی جریان ها نیز از مدل عددی کوهرنس استفاده شده است. محدوده محاسباتی، شامل خلیج فارس و بخشی از دریای عمان در عرض $23,1$ تا 31 درجه شمالی و $47,6$ تا 57 درجه شرقی است. هندسه و موقعیت خط ساحلی بر اساس داده های ETOPO-2 با تفکیک پذیری افقی طول و عرض جغرافیایی ۲ دقیقه هموار شده است (شکل ۱). معادلات مدل کوهرنس بر اساس معادلات ناویراستوکس است که شامل معادلات پایستاری تکانه، حجم، دما و شوری است (لوییتین^{۲۸} و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۰۱). گسسته سازی مکانی معادلات، در راستای افق به وسیله شبکه C آرکاوا و در راستای قائم با شبکه سیگما انجام می شود (آراکاوا و سوارز^{۲۹}، ۱۹۸۳: ۳۴). استفاده از تکنیک گسسته سازی زمانی به این صورت است که گام زمانی را برای مد باروترویک به طور دوبعدی و برای مد باروکلینیک به صورت سه بعدی جداسازی می کند. گام زمانی سه بعدی مضربی از گام زمانی دوبعدی است. حل عددی معادله پیوستگی و تکانه به روش تفکیک مد صورت می گیرد. در این شبیه سازی ها گام زمانی باروترویک ۲۰ ثانیه، گام زمانی باروکلینیک ۶۰۰ ثانیه و تعداد لایه های عمودی سیگما، ۱۰، در نظر

²⁸ Luyten

²⁹ Arakawa and Suarez

گرفته شده است. طرحواره بستار تلاطم $k-l$ (ملور و یامادا^{۳۰}، ۱۹۸۲: ۸۵۱) به دلیل بالاتر بودن درجه آن نسبت به مدل $k-e$ همچنین با توجه به نتایج لوییتین و همکاران (۱۹۹۶: ۱۰۱)، مهندسی^{۳۱} و همکاران (۲۰۱۶: ۱۴۱) و کمف و صدری نسب^{۳۲} (۲۰۰۶: ۲۷) برای تلاطم استفاده شده است. نیروهای میانگین روزانه اتمسفری اقلیمی (مؤلفه‌های 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 میانگین‌گیری شده و در مدل استفاده شده است. شوری مرجع ۳۸، دمای مرجع ۲۲ درجه سانتی‌گراد، چگالی مرجع ۱۰۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است (السی^{۳۳} و همکاران، ۱۹۹۹). تحت شرایط اعمال شده فوق، مدل بعد از ۱۰ سال اجرا به پایداری اقلیمی رسید و نتایج استخراج شده در سال دهم برای بررسی تغییرات جریان‌های خلیج فارس مورد استفاده قرار گرفت.



مأخذ: نگارندگان

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

یافته‌ها

یک جنبه جذاب گردش در خلیج فارس تغییر شکل جریان‌های سواحل ایران به چندین پیچک میان‌مقیاس است. جریان‌های سواحل ایران به دلیل ناپایداری باروکلینیکی تبدیل به پیچک‌هایی در سطح میان‌مقیاس می‌شوند. شکل ۲ (الف) سه پیچک

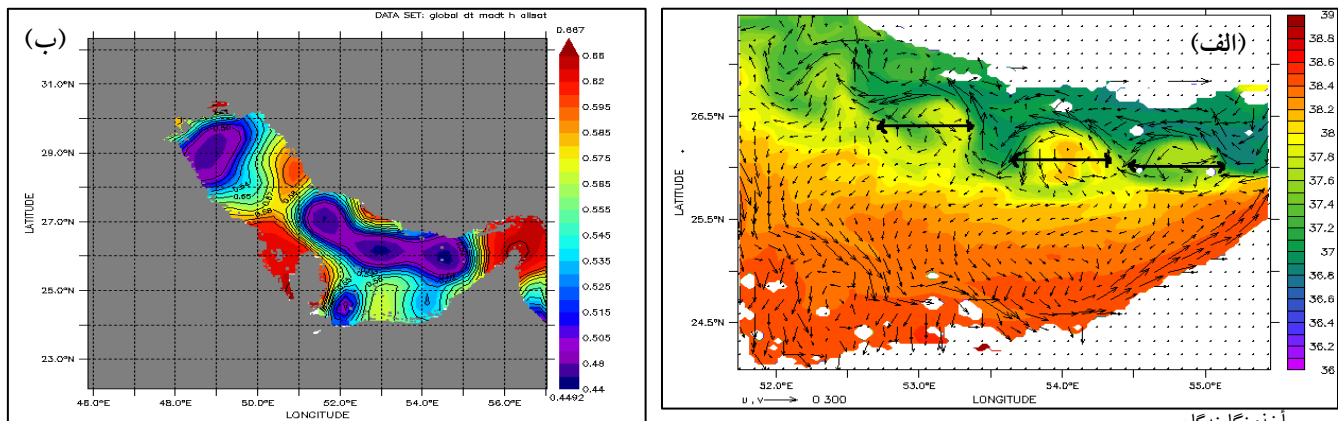
³⁰ Mellor G.L. and Yamada

³¹ Mohandesi

³² Kampf and Sadrinasab

³³ Alessi

چرخندی شبیه‌سازی شده در ماه آگوست، به قطر حدوداً ۱۰۰ کیلومتر را نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی در این ماه با نقشه خطوط هم‌تراز ارتفاع سطح دریا برگرفته از سایت آویسو (شکل ۲، ب) تطابق خوبی را نشان داد. پیچک‌های کاملاً گسترش یافته در ماه‌های تابستان تشکیل می‌شوند. الگوی گردش حوضه‌مقیاس شبیه‌سازی شده با مشاهدات چائو و همکاران (۱۹۹۲: ۱۱۲۱۹)، حسینی بالام^{۳۴} و همکاران (۲۰۱۱: ۵۸۸۴)، مهندسی و همکاران (۲۰۱۶: ۱۴۱)، کمف و صدری نسب (۲۰۰۶: ۲۷) و رینولدز (۱۹۹۳: ۳۵) مطابقت دارد.



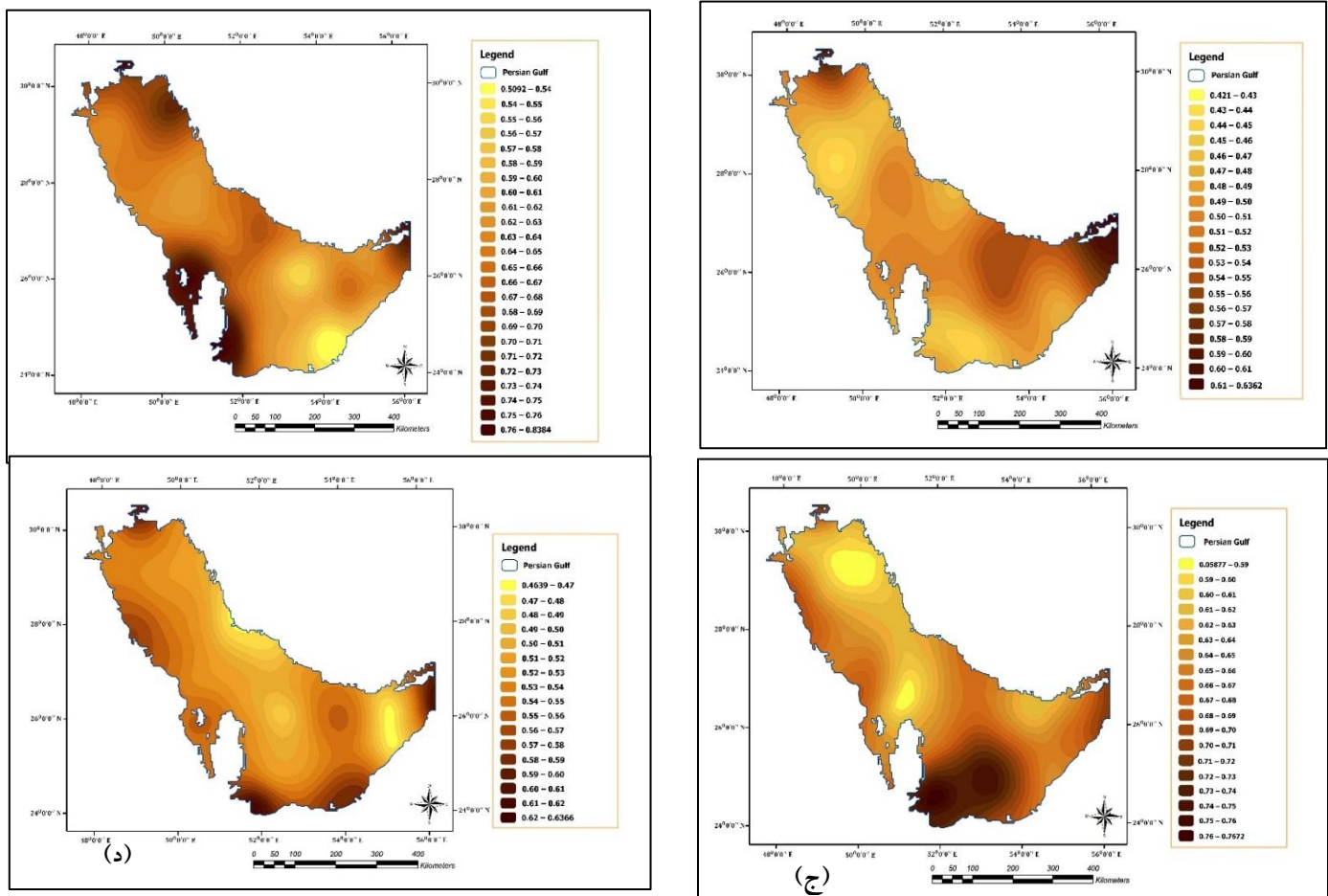
مأخذ: نگارندگان

مأخذ (الف): نگارندگان و (ب): <https://aviso.altimetry.fr/>

شکل ۲: (الف) جریان‌های شبیه‌سازی شده در سطح در آگوست، (ب) نقشه خطوط هم‌تراز ارتفاع سطح دریا آگوست ۲۰۱۴

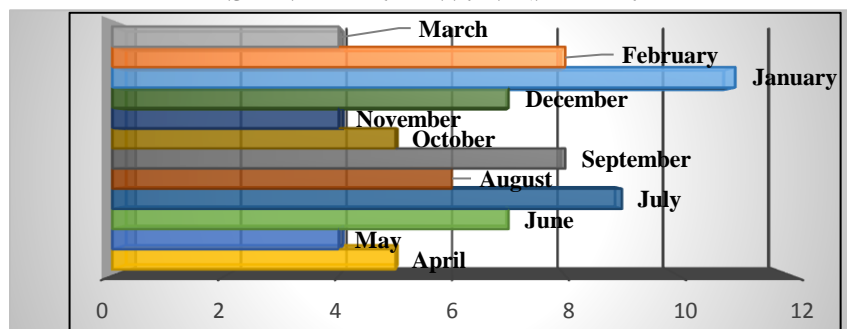
در این پژوهش نتایج به دست آمده در خصوص پیچک‌ها توسط روش مبتنی بر ارتفاع سطح دریا و نرم‌افزار Arc GIS در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ در فصل‌های مختلف سال بررسی شد. در شکل ۳ نقشه کنتره‌های ارتفاع در خلیج فارس برای ماه‌های مختلف سال ۲۰۱۴ (از هر فصل یک روز به صورت نمونه) مشاهده می‌شود. در این نقشه‌ها به خوبی می‌توان پیچک‌ها را نشان داد. به طور متوسط سالانه ۸۷ پیچک مشاهده شدند (شکل ۴) که از این تعداد، ۵۹٫۱٪ چرخندی و مابقی واچرخندی هستند (جدول ۱) و به صورت کلی پیچک‌ها در ماه‌های گرم سال دارای طول عمر بیشتری هستند. همان‌طور که نشان داده شده در فصل‌های زمستان و تابستان تعداد پیچک‌ها بیشتر از بهار و پاییز است. تعداد پیچک‌ها در اوایل فصل تابستان و زمستان افزایش می‌یابد اما در پایان این دو فصل تعداد پیچک‌ها کاهش پیدا می‌کند. این روند برای فصل‌های پاییز و بهار معکوس می‌باشد. به طور کلی در تابستان شاهد حضور پیچک‌هایی با بیشترین انرژی در منطقه هستیم و فعالیت پیچک‌ها در این فصل افزایش می‌یابد. همان‌طور که اشاره شد پیچک‌های تلاطمی برای زنده ماندن و رشد نیاز به انرژی دارند اگر منبع انرژی برای ایجاد ناپایداری به اندازه کافی بزرگ باشد پیچک‌ها نیز به اندازه کافی فعال خواهند بود که مطابق با

نتایج شبیه‌سازی افزایش سرعت جریان‌های ساحلی در تابستان منبغ فعالیت بیشتر پیچک‌ها در این فصل است. یکی از منابع انرژی برای ایجاد ناپایداری انرژی پتانسیل ذخیره شده در خطوط شیب‌دار هم‌چگال است که در اثر ناپایداری باروکلینیکی آزاد می‌شود.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه خطوط هم ارتفاع در خلیج فارس برای فصل‌های مختلف در (الف) ۱۳ می ۲۰۱۴ (بهار)، (ب) ۱۹ آگوست ۲۰۱۴ (تابستان)، (ج) ۱۱ نوامبر ۲۰۱۴ (پاییز)، و (د) ۱۲ فوریه ۲۰۱۴ (زمستان)



مأخذ: نگارندگان

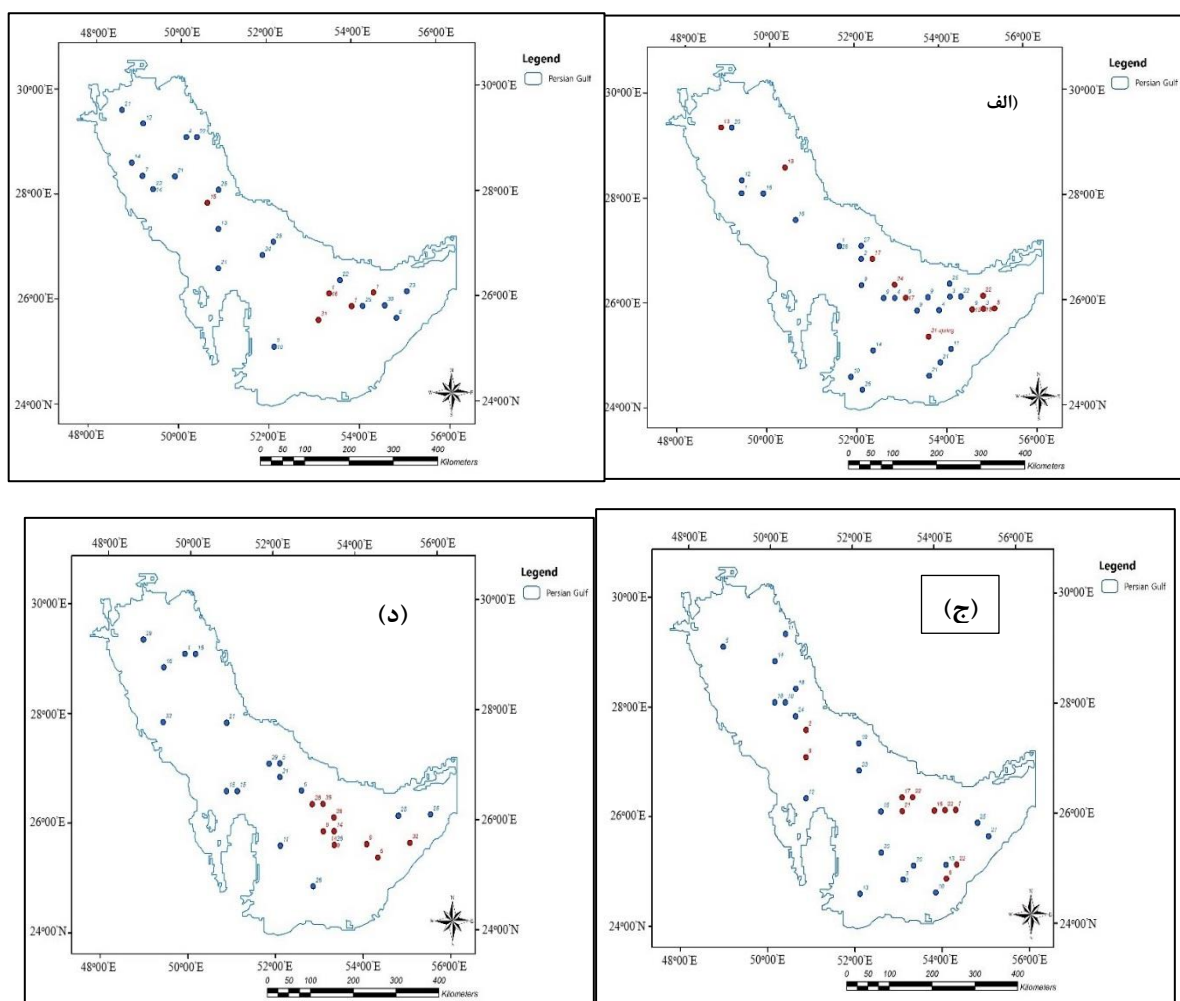
شکل ۴: نمودار میله‌ای تعداد میانگین پیچک‌ها در فصل‌های مختلف در بازه ۲۰۱۰-۲۰۱۴

جدول ۱: درصد میانگین فصلی پیچک‌ها با در نظر گرفتن قطبیت (۲۰۱۰-۲۰۱۴)

مجموع	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
%۵۹/۱	%۶۰/۹	%۵۵/۹	%۵۸/۶	%۶۲/۱	چرخندی
%۴۰/۹	%۳۹/۱	%۴۴/۱	%۴۱/۴	%۳۷/۹	واچرخندی

مأخذ: نگارندگان

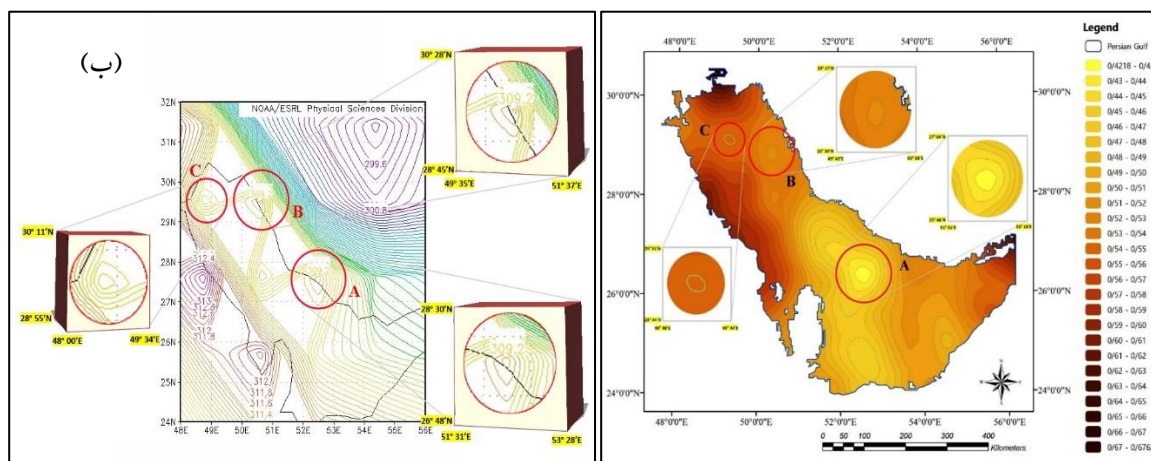
شکل (۵) نقشه محل پیچک‌ها را در فصول مختلف سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. پیچک‌های چرخندی با دایره‌های آبی و پیچک‌های واچرخندی با دایره‌های قرمز در شکل مشخص شده‌اند.



مأخذ: نگارندگان

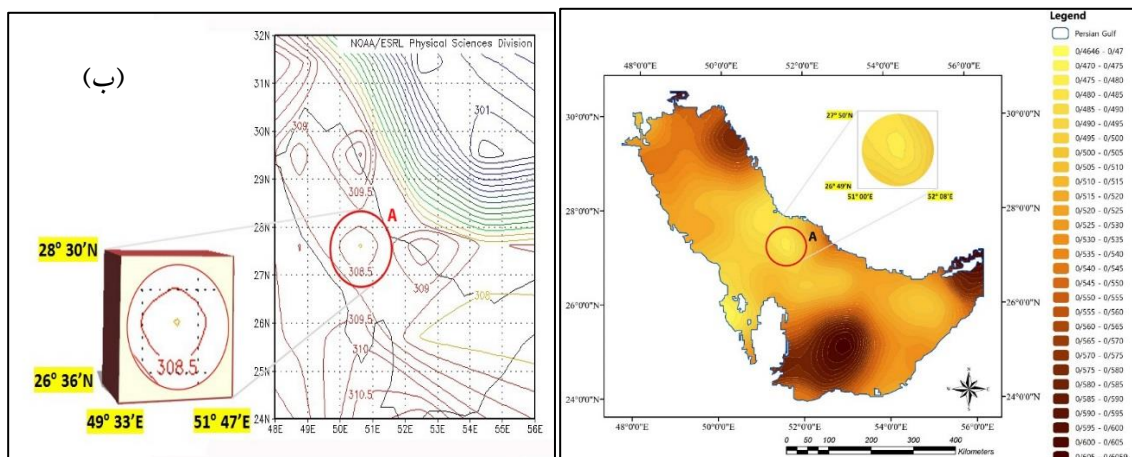
شکل ۵: محل پیچک‌ها در فصل‌های مختلف ۲۰۱۴ (الف) بهار (ب) تابستان (ج) پاییز (د) زمستان (پیچک‌های چرخندی و واچرخندی به ترتیب با دایره‌های آبی و قرمز مشخص شده‌اند)

پیچک‌ها در طول عمر خود می‌توانند جو مجاور خود را تحت تأثیر قرار دهند. به‌منظور بررسی اثر پیچک‌ها بر جو، نقشه‌های ارتفاع سطح دریا که حضور پیچک‌ها را به‌خوبی نشان می‌دهد با نقشه دمای هوای ارتفاع ۲ متر مقایسه شد که این تأثیر را با تأخیر ۱ روزه نشان داد. به‌عنوان نمونه در شکل ۶-الف، سه پیچک چرخندی A، B و C در روز ۳۰ جون ۲۰۱۴ مشخص شده‌اند و در شکل ۶-ب نقشه دمای هوای ارتفاع ۲ متر در روز ۱ جولای ۲۰۱۴ تأثیر دمایی سه پیچک مدنظر بر جو مشخص شده که مناطق متناظر A، B و C را تحت تأثیر قرار داده‌اند. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود این مناطق در محدوده جغرافیایی فعالیت پیچک‌ها هستند. معمولاً پیچک‌ها در دوره طول عمر خود بر روی دمای منطقه تأثیر دارند. به‌عنوان نمونه پیچک A در شکل‌های ۶-الف و ۷-الف با طول عمر ۲ هفته مشخص شده است و در شکل‌های ۶-ب و ۷-ب در نقشه‌های دمایی ارتفاع ۲ متر با تأخیر یک‌روزه، تأثیر پیچک‌ها بر جو منطقه کاملاً مشخص است که سبب گرادیان دمایی در ابعادی در حدود ابعاد پیچک شده است. پیچک‌ها در بازه زمانی فعالیت خود بر روی هوای مجاور مؤثر بوده و باعث خنک‌کنندگی هوای مجاور شده است. این خنک‌کنندگی سبب ایجاد اختلاف دمای جو در ابعاد مشابه با ابعاد پیچک گردید و به‌عنوان مثال حضور پیچک‌های چرخندی به‌خوبی تأثیر خنک‌کنندگی را بر روی جو مجاور نشان داد. این تأثیر در ماه‌های گرم که شاهد بیشترین فعالیت پیچک‌ها هستیم به حداکثر می‌رسد و از نظر مکانی در سواحل شمال و شمال غربی خلیج فارس که پیچک‌ها بیشترین فعالیت را دارند تأثیر بیشتری دارد.



مأخذ (الف): نگارندگان و (ب): <https://www.esrl.noaa.gov/psd>

شکل ۶: الف) خطوط هم‌تراز ارتفاع سطح دریا (نقشه پیچک‌ها)، ۳۰ جون ۲۰۱۴، ب) خطوط هم‌دمای ارتفاع ۲ متر، ۱ جولای ۲۰۱۴



مآخذ (الف): نگارندگان و (ب): <https://www.esrl.noaa.gov/psd>

شکل ۷: الف) خطوط هم‌تراز ارتفاع سطح دریا (نقشه پیچک‌ها)، ۷ جولای ۲۰۱۴، ب) خطوط هم‌دمای ارتفاع ۲ متر، ۸ جولای ۲۰۱۴

نتیجه‌گیری

حرکت پیچک‌های واقع در شمال خلیج فارس به سمت غرب و پیچک‌هایی واقع در جنوب خلیج به سمت شرق است. بیشترین محدوده فعالیت پیچک‌ها در بخش‌های ورودی خلیج فارس از سمت تنگه هرمز و متمایل به سواحل ایران و همچنین شمال غربی خلیج فارس است. خروجی‌های مدل نیز نشان داد جریان سطحی به سمت جنوب، از مرکز خلیج به سمت فلات قاره بحرین، قطر و سواحل کم‌عمق امارات متحده عربی جریان دارد. این جریان در طول بهار و تابستان قوی‌تر و در زمستان ضعیف‌تر است که یکی از دلایل فعالیت بیشتر پیچک‌ها در فصول گرم همین مسئله است. با توجه به نتایج حاصل، ماه جولای، فعال‌ترین زمان برای پیچک‌ها می‌باشد، همچنین، نواحی شرقی و شمال غربی خلیج فارس از مناطق فعال از نظر حضور پیچک‌های قدرتمند است. نواحی شرقی مکان برخورد جریان‌های ساحلی ورودی به خلیج فارس و خروجی از آن هستند و نواحی شمال غربی خلیج فارس محل برخورد جریان اروند با جریان‌های خلیج فارس است که سبب ایجاد ناپایداری‌های باروکلینیکی می‌شوند که مطابق با نتایج مدل می‌باشد. قابل توجه است که عمده پیچک‌های قدرتمند تشکیل شده چرخندی هستند، و با توجه به سرد هسته بودن این نوع پیچک‌ها می‌توان نتیجه گرفت که پیچک‌های منطقه اثر خنک‌کنندگی و کاهش دما را در جو منطقه خواهند داشت، و در مناطقی که پیچک‌ها فعال‌تر هستند، این اثر خنک‌کنندگی بیشتر خواهد بود که با تأخیر تقریباً یک‌روزه نسبت به حضور پیچک‌ها این اثر رؤیت شد. این اثر باعث ایجاد گرادیان دمایی در جو منطقه در ابعاد متناظر با پیچک‌ها شده است.

از دیدگاه آماری و با توجه به شکل ۴ بیشترین تعداد پیچک‌ها در ماه ژانویه مشاهده شد. همچنین در ماه‌های ژانویه و جولای شاهد حضور بیشترین تعداد پیچک‌ها هستیم و در ماه‌های می و نوامبر با کمترین حضور تعداد پیچک‌ها روبرو هستیم و به‌صورت کلی پیچک‌ها در فصل تابستان در منطقه خلیج فارس فعال‌تر هستند. در ماه اول فصل تابستان و زمستان بیشترین

تعداد پیچک و در ماه‌های اولیه بهار و پاییز کمترین تعداد پیچک حضور دارند. همچنین نتایج شبیه‌سازی، شکل‌گیری پیچک‌ها را در تابستان بهتر از زمستان نشان داد. پیچک‌های کاملاً گسترش یافته در ماه‌های تابستان تشکیل می‌شوند. عمق پیچک‌های واچرخندی نسبت به پیچک‌های چرخندی بیشتر است و حاکی از نفوذ این پیچک‌ها تا کف و تأثیر ناپایداری باروکلینیکی در سرتاسر ستون آب است. به‌طور متوسط تعداد ۷۸ پیچک در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۰ رویت شد که ۵۹/۱٪ از آن‌ها چرخندی هستند که عمدتاً دارای طول عمر بیشتری نسبت به واچرخندی هستند.

منابع

- ۱- افشار، ساناز و ترابی آزاد، مسعود (۱۳۹۴): جریان‌های ساحلی ناشی از اختلاف چگالی و جزر و مد در مناطق شمالی خلیج فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد تهران شمال.
- ۲- ترابی آزاد، مسعود، بنا زاده ماهانی، محمدرضا و علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۸۰): چرخابه‌ها در خلیج فارس، فصل‌نامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۳، شماره ۳، صص ۱۷-۳۲.
- ۳- ثابت عهد، عبدالرضا، لاری، کامران، سلطانی فرد، محمدجعفر و رئیسی، امین (۱۳۹۰): مطالعه تأثیر پیچک‌های میان‌مقیاس بر توزیع گرادیان دما و شوری در خلیج فارس و تنگه هرمز، سیزدهمین همایش صنایع دریایی.
- ۴- زارعی، زهرا، صدیق مروتی، صفورا و ترابی آزاد، مسعود (۱۳۸۶): مطالعه پیچک‌های میان‌مقیاس خلیج فارس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
- ۵- زاهدی، رفیعه و ترابی آزاد، مسعود (۱۳۸۱): نقش تغییر اقلیم بر جریان‌های خلیج فارس، فصل‌نامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۴، شماره ۴، صص ۴۳-۵۲.
- 6- Alessi, C. A. Hunt, H. D. Abd Bower, A.S. (1999): Hydrographic Data From The U.S. Naval Oceanographic Office: Persian Gulf, Southern Red Sea And Arabian Sea, Woods Hole Oceanography Institution, Technical Report WHOI-99-02.
- 7- Arakawa, A. And Suarez M.J. (1983): Vertical Differencing Of The Primitive Equations In Sigma Coordinates, Monthly Weather Review, Vol. 111, Pp. 34-45.
- 8- Beron-Vera FJ, Wang Y, Olascoaga MJ, Goni GJ, Haller G. (2013): Objective Detection Of Oceanic Eddies And The Agulhas Leakage. Journal Of Physical Oceanography, Vol. 43(7), Pp. 1426-1438.
- 9- Bidokhti, A.A. And Ezam, M. (2009): The Structure Of The PG Outflow Subjected To Density Variations, Ocean Science, Vol. 5, Pp. 51-12.
- 10- Bower, A.S., Hunt, H.D. And Price, J.F. (2000): Character And Dynamics Of The Red Sea And Persian Gulf Outflows, Journal Of Geophysical Research Atmospheres, Vol. 105, Pp. 6387-6414.
- 11- Bruce JG, Kindle JC, Kantha LH, Kerling JL, Bailey JF. (1998): Recent Observations And Modeling In The Arabian Sea Laccadive High Region. Journal Of Geophysical Research, Oceans. Vol. 103(C4). Pp. 7593-7600

- 12- Busireddy NKR, Osuri KK, Sivareddy S, Venkatesan R. (2018): An Observational Analysis Of The Evolution Of A Mesoscale Anti-Cyclonic Eddy Over The Northern Bay Of Bengal During May–July 2014. *Ocean Dynamics*. Vol. 68(11), Pp. 1431-1441.
- 13- Chao, S-Y. Kao, T.W. And Al-Hajri, K.R. (1992): A Numerical Investigation Of Circulation In The Arabian Gulf. *Journal Of Geophysical Research Atmospheres*, Vol. 97(C7), Pp. 11219–11236.
- 14- Chelton, D.B. Schlax, M.G. And Samelson, R.M. (2011): Global Observations Of Nonlinear Meso-Scale Eddies, *Progress In Oceanography*, Vol. 91, Pp. 167-216.
- 15- Cyriac A, Ghoshal T, Shaileshbhai PR, Chakraborty A. (2016): Variability Of Sensible Heat Flux Over The Bay Of Bengal And Its Connection To Indian Ocean Dipole Events. *Ocean Science Journal*. Vol. 51(1), Pp. 97-107.
- 16- Dandapat S, Chakraborty A. (2016): Mesoscale Eddies In The Western Bay Of Bengal As Observed From Satellite Altimetry In 1993–2014: Statistical Characteristics, Variability And Three-dimensional Properties. *IEEE Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing*. Vol. 9(11), Pp. 5044-5054.
- 17- Ezam, M., Bidokhti, A.A. And Javid, A.H., (2010): Numerical Simulations Of Spreading Of The Persian Gulf Outflow Into The Oman Sea, *Ocean Sciences*, Vol. 6, Pp. 887-900.
- 18- Faghmous JH, Frenger I, Yao Y, Warmka R, Lindell A, Kumar V. (2015): A Daily Global Mesoscale Ocean Eddy Dataset From Satellite Altimetry, *Scientific Data*. 2:150028.
- 19- Frenger I, Gruber N, Knutti R, Münnich M. (2013): Imprint Of Southern Ocean Eddies On Winds, Clouds And Rainfall. *Nature Geoscience*. Vol. 6(8), 608.
- 20- Gopalan AKS, Krishna VV, Ali MM, Sharma R. (2000): Detection Of Bay Of Bengal Eddies From TOPEX And In Situ Observations. *Journal Of Marine Research*. Vol. 58(5), Pp.721-734.
- 21- Goni G.J., Trinanes J.A. (2003): Ocean Thermal Structure Monitoring Could Aid In The Intensity Forecast Of Tropical Cyclones. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. Vol. 84(51), Pp. 573-578.
- 22- Hong X, Chang SW, Raman S, Shay LK, Hodur R. (2000): The Interaction Between Hurricane Opal (1995) And A Warm Core Ring In The Gulf Of Mexico. *Monthly Weather Review*. Vol. 128(5). Pp. 1347-1365.
- 23- 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, Pp. 5884–5902.
- 24- Johns, W.E. Yao, F. And Olson, D.B. (2003): Observations Of Seasonal Exchange Through The Straits Of Hormuz And The Inferred Heat And Freshwater Budgets Of The Persian Gulf, *Journal Of Geophysical Research Atmospheres*, Vol. 108, Pp. 3391-3391.
- 25- Kampf, J. And Sadrinasab, M. (2006): The Circulation Of The Persian Gulf: A Numerical Study, *Ocean Sciences*, Vol. 2(1), Pp. 27–41.
- 26- Kumar BP, Vialard J, Lengaigne M, Murty VSN, Mcphaden MJ. (2012): Tropflux: Air-Sea Fluxes For The Global Tropical Oceans—Description And Evaluation. *Climate Dynamics*. Vol. 38(7-8), Pp. 1521-1543
- 27- Luyten P.J. Deleesnijder, E. . Ozer, J. Ruddick, K.G. (1996) :Presentation Of A Family Of Turbulence Closure Models For Stratified Shallow Water Flows And Preliminary Application To The Rhine Outflow Region, *Continental Shelf Research*, Vol. 16, Pp.101–130
- 28- Mainelli M, Demaria M, Shay L.K, Goni G. (2008): Application Of Oceanic Heat Content Estimation To Operational Forecasting Of Recent Atlantic Category 5 Hurricanes. *Weather And Forecasting*. Vol. 23(1), Pp. 3-16
- 29- 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(4), Pp. 851–875.

- 30- Mohandesi, M., Bidokhti, A.A., Khaniki, A.K., Hasanzadeh, I. & Torabi Azad, M. (2016): A study Of The Performances Of Different Turbulence Schemes In Numerical Simulation Of Hydrodynamics Of A Semi-Closed Sea (Persian Gulf). *Marine Geodesy*, 39(2):141-64.
- 31- Noori, R. Abbasi, M.R. Aamowski, J.F. And Dehghani, M. (2017): A Simple Mathematical Model To Predict Sea Surface Temperature Over The Northwest Indian Ocean, *Estuarine, Coastal And Shelf Science*, Vol. 197, Pp. 236-243.
- 32- Noori R. Fuqiang, T. Ronny, B. Abbasi, M.R. Vesalinaseh, M.R. Modabberi, A. Soltani, A. Klove, B. (2019): Recent And Future Trends In Sea Surface Temperature Across The Persian Gulf And Gulf Of Oman, *PLOS ONE*, Pp. 1-19
- 33- Oropeza F, Raga GB. (2015): Rapid Deepening Of Tropical Cyclones In The Northeastern Tropical Pacific: The Relationship With Oceanic Eddies. *Atmosfera*. Vol. 28(1), Pp. 27-42
- 34- Patnaik KVKRK, Maneesha K, Sadhuran Y, Prasad KVSR, Ramana Murty TV, Brahmananda Rao V. (2014): East India Coastal Current Induced Eddies And Their Interaction With Tropical Storms Over Bay Of Bengal, *Journal Of Operational Oceanography*, Vol. 7(1), Pp. 58-68
- 35- Pous S. Lazure P. And Xavier, C. (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, Pp. 55-70.
- 36- Prasanna Kumar S, Muraleedharan PM, Prasad TG, Gauns M, Ramaiah N, De Souza SN. (2002): Why Is The Bay Of Bengal Less Productive During Summer Monsoon Compared To The Arabian Sea. *Geophysical Research Letters*. Vol. 29(24). Pp. 88-81
- 37- 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, Pp.35 – 59.
- 38- Thoppil, P.G. And Hogan, P.J. (2010): A Modeling Study Of Circulation And Eddies In The Persian Gulf, *Journal Of Physical Oceanography*, Vol. 40(9), Pp. 2122–2134
- 39- Yao, F. And Johns, W. E. (2010): A HYCOM Modelling Study Of The Persian Gulf: 2: Formation And Export Of Persian Gulf Water, *Journal Of Geophysical Research Atmospheres*, 115. C11018. 1-23
- 39- 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 Atmospheres*, Vol. 115, C11017. Pp. 1-17.