بررسی اثر پیچک‌ها بر اکوسیستم خلیج‌فارس با استفاده از مدلسازی عددی

امید ماه‌پیکر [۱]، امیر اشتری‌لرکی [۲*]، محمد اکبری‌نسب [۳]

۱- دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۲*- دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۳- دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران

ایمیل نویسنده مسئول: ashtari@kmsu.ac.ir

تاریخ دریافت : ۹۹/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۰۱/۲۲

چکیده

پیچک‌ها نوعی جریان چرخ شی ه ستند که تا ده‌ها روز می‌توانند پایدار با شند و باعث تغییرات دما و شوری در محدوده و سیعی شوند. خلیج‌فارس نیز به‌طور روزانه در معرض این رویداد قرار دارد و به‌خصوص در فصل تابستان، پیچک‌هایی با شعاعی در حدود ۵۰ کیلومتر (میان‌مقیاس) نیز در آن تشکیل می شوند که این تغییرات بر زندگی آبزیان مؤثر ا ست. در این مطالعه با ا ستفاده از مدل مایک که یک مدل هیدرودینامیکی ا ست شبیه سازی جریان در خلیج‌فارس صورت گرفت و نحوه تغییرات پارامترهای هیدروگرافی و همچنین انتقال مواد معلق حول پیچک‌ها تحت بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تشکیل پیچک باعث ایجاد تغییرات دمایی و شوری محسوس در محیط شده که با توجه به ساختار آن می‌تواند باعث مهاجرت گونه‌های دریایی بدون ا سترس شود. انتقال مواد مغذی تو سط پیچک‌ها نیز به صورتی ا ست که غلظت مواد معلق در م سیر دایره‌ای پیچک بی شترین مقدار را دارد. همچنین بررسی مطالعات نشان داد که در فصل تابستان الگوی بازگشت شیلاتی برای تعدادی از گونه‌ها که تحت بررسی قرار گرفته بودند، دارای بیشترین درصد است که در این فصل مطابق نتایج پیچک‌های میان‌مقیاس تشکیل می‌شوند.

کلمات کلیدی

"الگوی بازگشتی"," پیچک "،"دما" ،"شوری"،"مواد مغذی"

Investigation of the eddies effect on the Persian Gulf ecosystem using numerical modeling

Omid Mahpeykar[1], Amir AshatriLarki[2*], Mohammad Akbarinasab[3]

1. Ph.D. Student, Department of Physical Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

2*.Assistant Professor, Department of Physical Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

3.Associated Professor, Department of Physical Oceanography, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

*Email Address: Ashtari@ut.ac.ir

Abstract

Eddies are a circulating current that can be stable for tens of days and cause temperature and salinity changes over a wide area. The Persian Gulf is also exposed to this event on a daily basis, and especially in the summer, eddies with a radius of about 50 km (mesoscale) is formed in it, which changes the life of aquatic animals. In this study, using the Mike model, which is a hydrodynamic model, the flow simulation in the Persian Gulf was performed and the way of changing the hydrographic parameters as well as the transfer of suspended matter around the eddy was investigated. The results showed that ivy formation caused significant temperature and salinity changes in the environment, which due to its structure can cause the migration of marine species without stress. The transfer of nutrients by eddy is also such that the concentration of suspended matter in the circular path of the eddy is the highest. The study also showed that in summer the fish recruitment pattern for the number of species studied had the highest percentage, which in this season are formed according to the results of mesoscale eddies.

Keywords

“Recruitment Pattern”, “Eddy”, “Temperature”, “Salinity”, “Nutrient”

۱- مقدمه

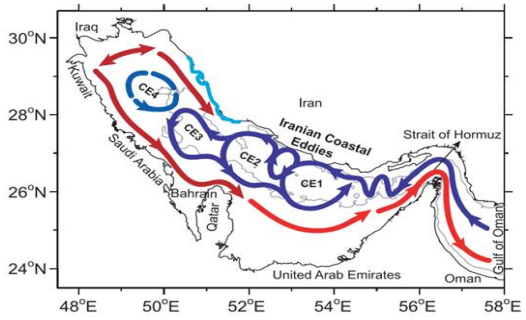
پیچک یا Eddy نوعی جریان چرخشی است که در همه دریاها و اقیانوس‌ها قابل‌مشاهده است. این نوع جریان‌ها دارای قطری بین ۱۰-۵۰۰ کیلومتر هستند و عمق آن‌ها نیز بسته به حوضه می‌تواند تا ۱۰۰۰ متر نیز برسد. پیچک‌های میان‌مقیاس دارای طول عمر چندروزه تا چندین ماه هستند و مسافت انتشار آن‌ها تا صدها کیلومتر نیز می‌رسد (Chelton et al., 2011; Zhang et al., 2014; Chang et al., 2015). همچنین جهت چرخش این جریان ها می‌تواند به‌صورت ساعت‌گرد یا پادساعت‌گرد باشد و سرعت چرخش آن‌ها به‌طور متوسط ۰/۱ تا ۰/۲ متر بر ثانیه است که در بعضی مواقع تا ۰/۴ متر بر ثانیه نیز می‌رسد (Chang et al., 2017). پیچک‌ها نقش مهمی در فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلف ایفا می‌کنند (Volkov et al., 2008). اثرات بیوشیمی پیچک ها و روابط بالقوه آن ها با موجودات دریایی طی دهه‌ها موردبحث و بررسی قرار گرفته است (Cotte et al., 2007; Luo et al., 2015; Brandt, 1981; Bakun, 2006). همچنین مطالعات نشان می‌دهد که پیچک ها به دلیل تولید بیولوژیکی فراوان، زیستگاه مطلوبی برای موجودات دریایی از قبیل لارو ماهی‌ها و پنگوئن‌ها به شمار می‌روند (Sanchez-Velasco et al., 2013). تأمین مواد مغذی توسط پیچک های میان‌مقیاس، جریان ها و جبهه ها عامل مهمی در تولید بیولوژیکی دریاها و اقیانوس‌ها است. این فرایندها توزیع مواد مغذی و تولید بیولوژیکی را تحت مقیاس‌های محلی از طریق انتقال مواد مغذی به ناحیه نوری اصلاح می‌کنند (Sasai et al., 2010). در زیر ناحیه نوری، انتقال مواد مغذی از نواحی عمیق‌تر به‌منظور حفظ تولید بیولوژیکی ضروری است که این عمل توسط فراجوشی پیچکی صورت می‌گیرد و بدین طریق بخش فراوانی از مواد مغذی تأمین می‌شود. برآورد اثر کلی انتقال مواد مغذی به ناحیه نوری توسط پیچک‌ها مقادیر مختلفی را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که در گزارش‌ها مقادیر کمتر از ۱۰٪ تا بیش از ۵۰٪ تولید بیولوژیکی سالانه جدید تخمین زده شده است (Falkowski et al., 1991; Oschlies and Garçon, 1999; Siegel et al., 1999; Oschlies, 2002; Martin and Pondaven, 2003; Williams and Follows, 2003). Sasai و همکاران (۲۰۱۰) اثرات پیچک‌های میان‌مقیاس بر روی اکوسیستم دریایی با استفاده از مدل ترکیبی فیزیکی بیولوژیکی را بررسی کردند. Nieto و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر پیچک‌ها و جریان‌های میان‌مقیاس بر روی زیستگاه تخم‌ریزی ساردین و بازگشت شیلاتی در کالیفرنیای مرکزی و جنوبی پرداختند. Chang و همکاران (۲۰۱۷) اثر دینامیکی پیچک های میان‌مقیاس بر روی مهاجرت لاروهای مارماهی ژاپنی را موردمطالعه قرار دادند. Levi و همکاران (۲۰۱۸) نقش جریان‌های زیرمیان‌مقیاس را بر روی ساختار اکوسیستم دریایی بررسی کردند. Chang و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثرات فیزیکی و بیولوژیکی پیچک‌های میان‌مقیاس بر روی پراکنش لاروهای مارماهی ژاپنی در غرب اقیانوس آرام شمالی پرداختند. در مطالعات زیر نیز گردش جریان در خلیج فارس و دریای عمان مورد مطالعه قرار گرفته است :

- گردش سه‌بعدی در دریای عمان با استفاده از مدل MITGCM (خلیل‌آبادی، ۱۳۹۵)
- مطالعه پیچک های میان‌مقیاس تحت تأثیر جریان های ساحلی در خلیج‌فارس و نقش آن در اقلیم منطقه (رئیسی و همکاران، ۱۳۹۸)
- شبیه سازی جریان حجمی در مصب اروندرود با استفاده از مدل MIKE 21 (خلیل‌آبادی و بهروز، ۱۳۹۸)
- مدلسازی اثر جزر و مد بر چگالی خلیج فارس با استفاده از مدلسازی عددی (ماه‌پیکر و خلیل‌آبادی، ۱۳۹۸)
- مدل‌سازی گردش و پیچک‌های میان‌مقیاس در خلیج‌فارس (Thoppil and Hogan, 2010)
- مدل‌سازی گردش کلی در خلیج فارس و تنگه هرمز با رویکرد تغییرات فصلی و سالانه (Pous et al., 2015)

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

خلیج‌فارس یک حوضه کم‌عمق و نیمه‌بسته است که طول آن در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر، بیشینه عرض آن ۳۵۰ کیلومتر و متوسط عمق آن ۴۰ متر است و از طریق تنگه هرمز که دارای بیشینه عمق ۱۲۰ متر است، به خلیج عمان ارتباط پیدا می‌کند (Pous et al., 2012). این خلیج از سمت شمال غربی توسط فلات ایران، از سمت شمال شرقی توسط کوه‌های زاگرس و از جنوب غربی توسط بیابان عربستان محصور شده است. تبخیر بالا در خلیج‌فارس منجر به شکل‌گیری آب شور شده و این سبب خروج آب شور از خلیج به سمت دریای عمان و جایگزینی آن با آب های سطحی اقیانوس هند می‌شود. گردش کلی جریان در خلیج‌فارس یک گردش پادساعت‌گرد است به‌نحوی‌که آب سبک‌تر و با شوری کمتر از دریای عمان و سواحل ایران وارد خلیج‌فارس شده و بر اثر تبخیر شوری آن رفته‌رفته افزایش یافته و سنگین می‌شود و در نهایت از سمت سواحل جنوبی و اعماق از خلیج‌فارس وارد دریای عمان می‌شود. در فصل تابستان وقوع پیچک‌های میان‌مقیاس محتمل‌تر است به‌طوری‌که گردش کلی بین جولای و اوت دستخوش تغییرات محسوسی شده و به سه تا چهار گرداب پادساعت‌گرد و غالباً یک گرداب ساعت‌گرد تبدیل می شود (شکل ۱). ظهور این پیچک‌ها که در مجموع به پیچک‌های سواحل ایرانی معروف هستند، گردش جدیدی را طی ماه های اوت تا اکتبر بر خلیج فارس حکم‌فرما می‌کند. پیچک ها قطری در حدود ۱۱۵ تا ۱۳۰ کیلومتر دارند و به‌طور قائم در بیشتر ستون آب گسترش می‌یابند. بیشتر آن‌ها در همان محل ساکن می‌مانند، درحالی‌که تحت تأثیر برخی اغتشاشات ممکن است با هم ادغام یا از هم تجزیه شوند. بقایای گرداب‌ها تا نوامبر قابل‌مشاهده است و با سردشدن هوا در زمستان به دلیل از بین رفتن ترموکلاین ناپدید می‌شوند (Thoppil and Hogan, 2010).



شکل ۱- الگوی کلی جریان در خلیج‌فارس و تشکیل پیچک‌های میان-مقیاس

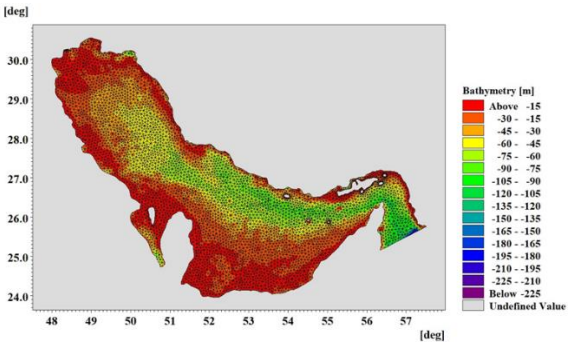
وقوع این پیچک‌ها به دلیل انتقال آب‌های ساحلی به نواحی میانی خلیج‌فارس، باعث تغییر در اکوسیستم آن می‌شود و ازآنجاکه نواحی میانی خلیج‌فارس دارای عمق بیشتری نسبت به سواحل هستند، این پیچک‌ها می‌توانند الگوی بازگشت شیلاتی و تخم‌ریزی آبزیان را تحت تأثیر قرار دهند. اولین تأثیر پیچک‌ها بر روی دما و شوری است به‌طوری‌که محیط اطراف پیچک دارای دما و شوری متفاوتی با مرکز آن است. علاوه بر این، به کمک پیچک‌ها تبادل مواد مغذی بین ساحل و نواحی میانی خلیج‌فارس تسهیل می‌شود زیرا این جریان‌های چرخشی در مقیاس‌ها و سرعت‌های مختلف باعث انتقال توده‌های آب می شوند. در این مطالعه به کمک مدل‌سازی عددی تغییرات دمایی و شوری در اثر پیچک‌ها و همچنین نحوه انتقال مواد معلق توسط آن‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد.

- **روش**

به‌منظور مدل‌سازی عددی پیچک‌های خلیج‌فارس و بررسی نحوه تغییرات دما و شوری آن‌ها و همچنین انتقال مواد مغذی توسط آن‌ها از نرم‌افزار MIKE3 استفاده شده است. در این تحقیق برای ایجاد شبکه محاسباتی، از داده‌های عمق‌سنجی JEBCO با دقت حدود یک کیلومتر استفاده شده است. سپس در قسمت Mesh Generator نرم‌افزار MIKE، شبکه محاسباتی نامنظم و مثلثی مدل شامل ۹۶۳۲ المان و ۵۲۰۶ گره ایجاد شد (شکل ۲). مرزهای محدوده‌ی مطالعاتی شامل دو مرز است که یکی در قسمت شرق واقع شده است و مرز اقیانوسی محسوب می‌شود به‌طوری‌که محدوده مدل‌سازی را به دریای آزاد متصل می‌کند و دیگری مرز رودخانه‌ای در قسمت شمال‌غربی خلیج‌فارس است که به‌عنوان تنها تأمین‌کننده آب شیرین خلیج‌فارس محسوب می‌شود. برای مقیاس قائم مدل نیز از دستگاه مختصات سیگما به تعداد ۳۱ لایه استفاده شده است. در مدل‌هایی که با یکی از روش‌های عددی المان محدود و یا تفاضل محدود اجرا می‌شوند، پایداری و همگرایی مدل به مشخصاتی همچون گام زمانی و فاصله گره‌های شبکه بستگی دارد. در ماژول هیدرودینامیک برنامه MIKE نیز شرط CFL برای پایداری به کار می‌رود که به‌صورت زیر است:

$$CFL = \left(\sqrt{gh} + |u|\right)\frac{\Delta t}{\Delta x} + \left(\sqrt{gh} + |v|\right)\frac{\Delta t}{\Delta y} \qquad (۱)$$

بدین منظور و با توجه به ابعاد مش و همچنین محدوده گام زمانی معادلات که بین ۰/۰۱ تا ۳۰ ثانیه است، مقدار CFL بحرانی ۰/۸ محاسبه شد که برای پایداری مدل مقادیر آن باید کمتر از این مقدار باشند.

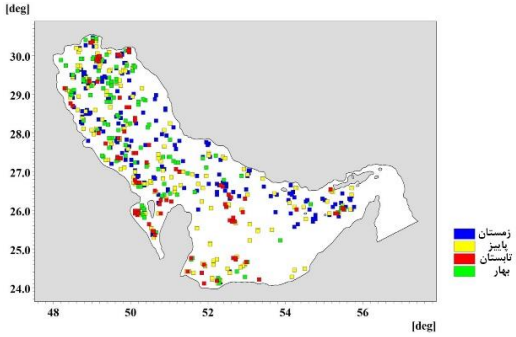


شکل ۲- شبکه استفاده‌شده در مدل‌سازی

مرز شرقی مدل به‌عنوان ارتباط‌دهنده خلیج‌فارس با آب‌های اقیانوسی در نظر گرفته شده است. در این مرز، دما و شوری به‌صورت روزانه که از میانگین ۵۰ ساله داده‌های سایت NOAA حاصل شده بود، با تکرار سالانه لحاظ شد. مرز رودخانه‌ای مدل نیز به‌صورت یک شار ورودی با دما و شوری متفاوت به حوضه خلیج‌فارس لحاظ شده است. دمای این مرز به‌صورت میانگین روزانه و شوری آن نیز به‌صورت ثابت برابر با ۵ PSU در نظر گرفته شده است. در مورد دبی رودخانه اروندرود که بزرگ‌ترین منبع آب شیرین خلیج‌فارس است، با توجه به عدم اندازه‌گیری دقیق آن تا به امروز، مطابق با مطالعات قبلی به‌صورت ثابت، ۱۴۰۰ m^3/s، در نظر گرفته شد (Pous et al., 2015). از مهم‌ترین پارامترهای هوا شناسی مؤثر در گردش جریان خلیج‌فارس باد و نرخ تبخیر هستند. تبخیر خود به عوامل دیگری ازجمله دما، باد و رطوبت نسبی ارتباط دارد. داده‌های دمای هوا و باد به‌صورت روزانه و طی دوره ده‌ساله از سایت ECMWF (ERA Interim, Daily) با دقت مکانی یک درجه استخراج گردید و پس میانگین‌گیری روزانه طی ده سال در Grid series نرم‌افزار MIKE ساخته و در ماژول هیدرودینامیک به کار گرفته شد. پس از اجرای مدل هیدرودینامیکی خلیج‌فارس به مدت ده سال و پایداری پارامترهای فیزیکی و استخراج داده‌های دما و شوری پیچک‌ها، از ماژول ردیابی ذرات برای بررسی انتقال مواد معلق توسط پیچک‌ها استفاده گردید.

۳- نتایج

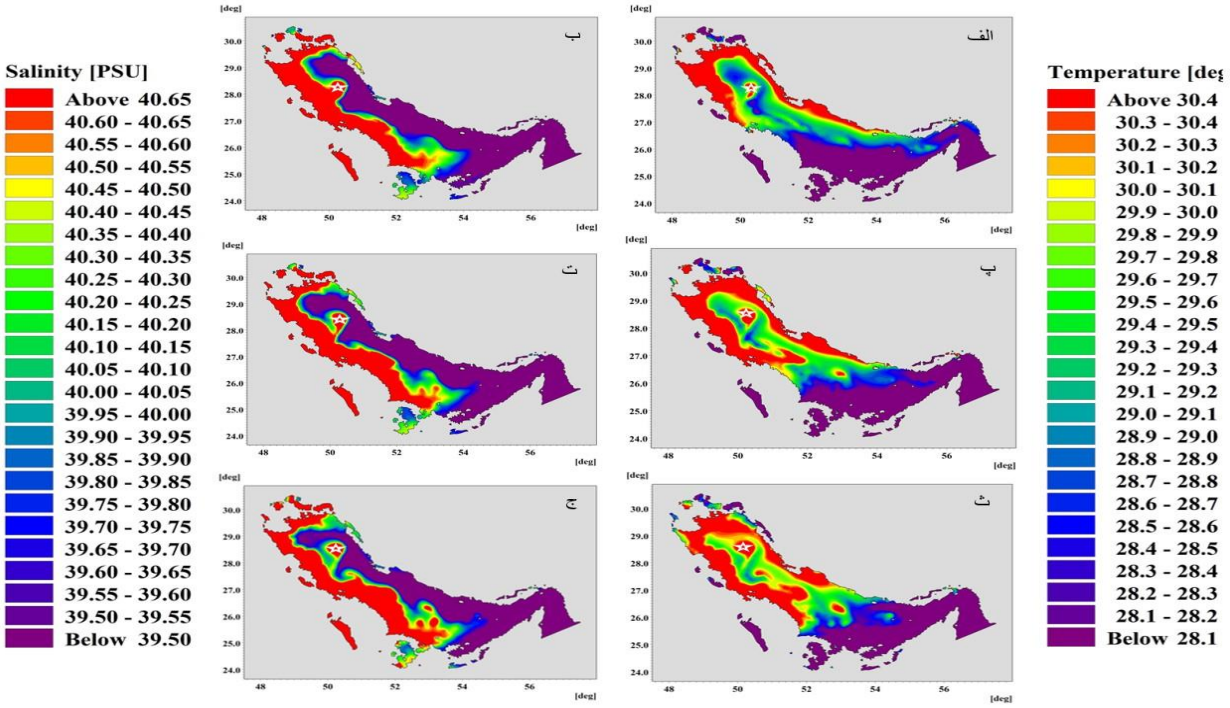
جهت در شکل ۳ توزیع فصلی مراکز پیچک‌ها که در مجموع ۳۶۵ روز سال در سطح خلیج‌فارس قابل‌مشاهده هستند، رسم شده است که تعداد کل آن‌ها ۶۲۹ است. در فصل زمستان بیشترین تعداد پیچک و در فصل تابستان کمترین تعداد پیچک وجود دارد. در فصل زمستان به علت همگن بودن ساختار قائم آب به لحاظ دمایی و شوری در هر نقطه احتمال وجود پیچک وجود دارد ولی در فصل تابستان به علت وجود لایه‌بندی دمایی (دمای آب در سطح گرم و در عمق سرد است) ساختار آب نسبتاً پایدار است و با توجه به گردش جریان کلی خلیج‌فارس که پادساعت‌گرد است پیچک‌های پادساعت‌گرد در محدوده‌های کوچک می‌توانند ادغام شود و پیچک‌های بزرگ‌تری تشکیل دهند؛ بنابراین تعداد پیچک‌ها در فصل تابستان نسبت به زمستان کمتر است. در فصل‌های پاییز و بهار تعداد پیچک‌ها در حالت میانی قرار دارد.



شکل ۳- توزیع فصلی مراکز پیچک در خلیج‌فارس

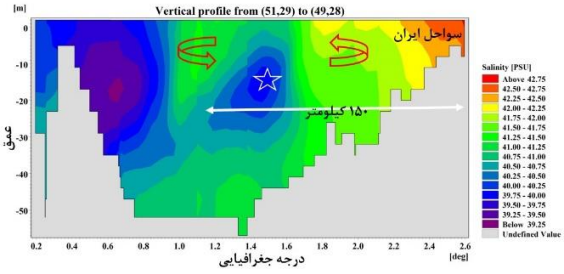
به‌منظور بررسی دما و شوری در اطراف پیچک‌ها، شکل ۴ که نشان‌دهنده تغییرات این دو پارامتر است در عمق ۱۵ متری نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می شود یکی از پیچک‌ها با علامت ستاره مشخص شده که در حوالی بندر بوشهر (طول جغرافیایی ۵۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه شمالی) واقع است. روند تشکیل، تکامل و انحلال این پیچک طی چهل روز نشان داده شده است. با ایجاد جریان چرخشی در اطراف مرکز پیچک ابتدا اختلاف دمایی مرکز محیط اطراف آن نمایان می شود و سپس اختلاف شوری بروز پیدا می‌کند و به همین ترتیب پس‌ازاینکه جریان چرخشی منحل

می‌شود ابتدا میدان دمایی و سپس میدان شوری به حالت طبیعی برمی گردند. این تغییرات آهسته ورود استرس به گونه‌های دریایی جلوگیری می‌کند و باعث می‌شود موجودات با شرایط جدید تطابق پیدا کنند. اختلاف دمایی بین مرکز پیچک و محیط اطراف آن به حدود ۲ درجه سانتی‌گراد و اختلاف شوری به ۱ psu می‌رسد که این مقادیر در فصول مختلف و بسته به میزان شدت پیچک متفاوت هستند؛ به‌عبارت‌دیگر این اختلاف دمایی و شوری همان کاهش یا افزایش دما و شوری است که در اثر وقوع پیچک رخ می‌دهد و دما و شوری نواحی میانی را به این مقدار تغییر می‌دهد. همچنین ایجاد جریان چرخشی و تغییرات دمایی و شوری متعاقب آن، این امکان را فراهم می‌کند تا گونه‌هایی که در یک محدوده شوری و دمایی خاصی زندگی می‌کنند، طی مدتی که یک پیچک فعال است بتوانند تا بین نواحی ساحلی و میانی خلیج‌فارس جابجا شوند و تخم‌گزاری کنند. در مورد پیچکی که در شکل نمایش داده شده است، در اواخر تابستان و اوایل پاییز ایجاد می‌شود و مدت دوام آن بیش از ۴۰ روز است؛ این در حالی است که برخی پیچک‌های خلیج‌فارس تا بیش از سه ماه نیز فعال هستند و از سویی وقوع این پیچک‌ها در فصول و شرایط مختلف محتمل است و این مسئله باعث می شود شرایط مهاجرت فصلی یا هفتگی برای انواع گونه‌ها در جای‌جای مختلف خلیج‌فارس فراهم شود.



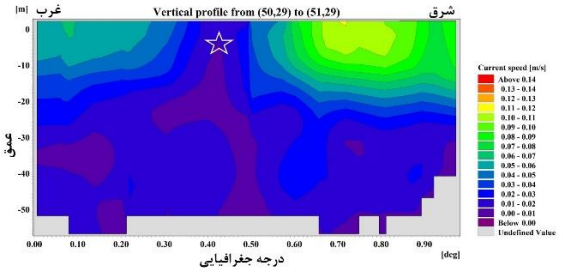
شکل ٤- الف) دما و ب) شوری در مراحل اولیه تشکیل پیچک، پ) دما و ت) شوری پس از ۲۰ روز، ث) دما و ج) شوری پس از ٤٠ روز حول پیچک

هدف در شکل ۵ نیمرخ قائم شوری در محل تشکیل پیچک نشان داده شده است که علامت ستاره نشان‌دهنده مرکز پیچک است. گونه‌های دریایی همراه با جریان چرخشی پیچک قادر هستند از سواحل کم‌عمق سمت ایران وارد ناحیه‌ای با عمق ۵۰ متر شوند که این ناحیه در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از خط ساحلی قرار دارد. در این شکل به‌خوبی مشاهده می‌شود که رویداد پیچکی سبب شده شوری بخش‌های میانی با نواحی نزدیک به ساحل یکسان شود که این امر می‌تواند بستر لازم برای مهاجرت گونه‌ها از ساحل به نواحی عمیق و بالعکس را فراهم کند.



شکل ۵- نیمرخ شوری در اطراف پیچک

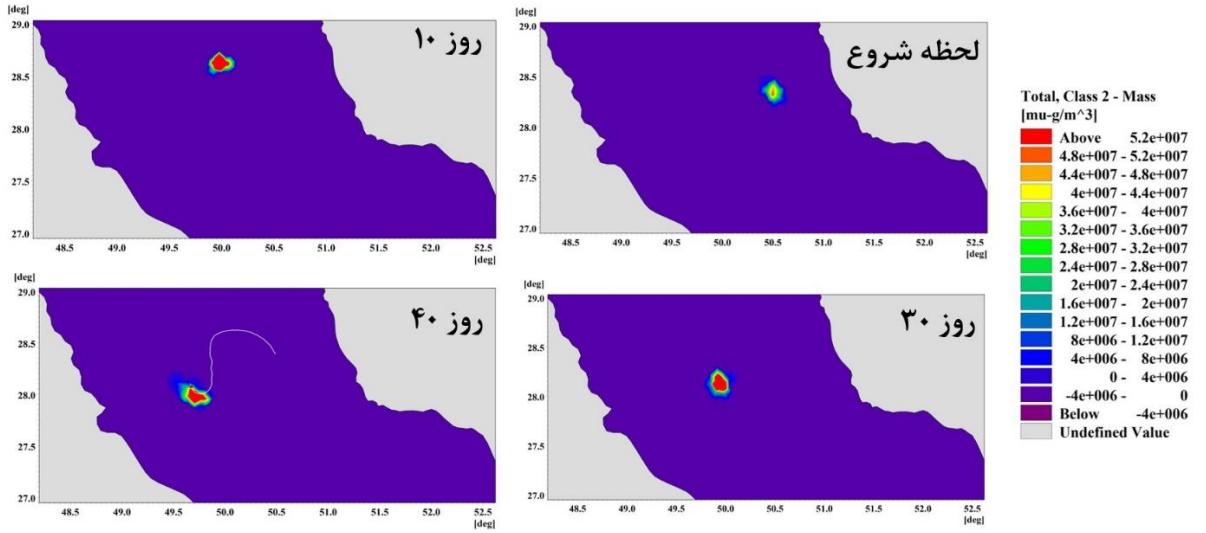
در شکل ۶ نیمرخ غربی- شرقی تغییرات سرعت جریان حول پیچک ترسیم شده است. سرعت جریان در مرکز پیچک حداقل و نزدیک به صفر است ولی با دور شدن از مرکز سرعت افزایش می‌یابد تا جایی که مقدار سرعت به ماکزیمم می‌رسد و آن محدوده به‌عنوان مرز بیرونی پیچک شناخته می شود. جهت حرکت آب نسبت به مرکز پیچک حالت معکوس دارد که این حالت باعث ایجاد چرخش می‌شود و همچنین در فواصل ثابت از مرکز پیچک مقادیر سرعت یکسان است. سرعت پایین پیچک باعث می‌شود محیط آن برای شنای آبزیان مناسب باشد و اثرات تلاطمی که می‌تواند سبب تحلیل توان آبزیان و مانع از حرکت آن‌ها شود در اینجا وجود نداشته باشد.



شکل ٦- نیمرخ تغییرات سرعت جریان در اطراف پیچک

در شکل ۷ نحوه حرکت مواد معلق در اطراف پیچک نمایش داده شده است. این مواد معلق می‌توانند به‌عنوان ماده مغذی و یا پلانکتون‌هایی که توانایی شناکردن و جابجا شدن در آب ندارند، تلقی شوند. در لحظه اولیه که همان لحظات شروع رویداد پیچک در شکل ۴ است، غلظت

این مواد در سواحل نزدیک بوشهر بیشترین مقدار است و پس از قرارگیری در پیچک بر اثر جریان طی یک مسیر منحنی‌شکل پس از ۴۰ روز به نواحی میانی خلیج‌فارس منتقل می‌شوند. این رویداد هم‌زمان به‌صورت بالعکس نیز صورت می‌پذیرد، یعنی مواد معلق موجود در قسمت‌های میانی نیز می‌توانند به نواحی ساحلی منتقل شوند. ازاین‌رو می‌توان گفت طی دوره‌ای که الگوی دما و شوری در اثر پیچک دچار تغییر می‌شود، انتقال مواد معلق نیز انجام می‌گیرد. در روز چهلم مسیر حرکت ذرات از ابتدا تا انتها ترسیم شده است. همچنین با گذشت زمان مواد معلق بیشتر منتشر می‌شوند و مساحت بیشتری از محدوده شبکه محاسباتی را دربرمی‌گیرند. در این مدل از ته‌نشینی ذرات معلق صرف‌نظر شده است زیرا لحاظ کردن ضریب ته‌نشینی نیازمند نمونه‌برداری میدانی و تعیین درصد انواع گونه‌ها و سپس محاسبه ضریب هر یک از گونه‌ها بر اساس وزنشان است.



شکل ۷- انتقال مواد معلق تحت تأثیر پیچک

٤- نتیجه‌گیری

تولیدمثل و الگوی بازگشتی از رویدادهای مهم در طول حیات گونه‌های دریایی به شمار می‌روند. در برخی موارد این رویدادها با مهاجرت گونه‌ها بین نواحی مختلف همراه هستند؛ بدین‌صورت که بعضی از گونه‌ها برای تخم‌ریزی به مناطق خاصی مهاجرت می‌کنند و ترجیح می‌دهند در جایی باشند که بچه‌ماهی‌ها رشد و زندگی می‌کنند (King, 1995). پیچک‌ها با ایجاد جریان چرخشی حول یک نقطه مرکزی شرایطی فراهم می‌کنند تا گونه‌های مختلف امکان مهاجرت داشته باشند بدون اینکه تحت تأثیر استرس‌های ناشی از تغییرات ناگهانی دما، شوری و یا کمبود مواد مغذی قرار گیرند. ازآنجاکه ابعاد مکانی و زمانی پیچک‌ها وسیع و متنوع است، می‌توانند شرایط مختلف را برای مهاجرت انواع گونه‌ها تحت پوشش قرار دهند. خلیج‌فارس روزانه در معرض ده‌ها رویداد پیچک قرار دارد که این پیچک‌ها باعث ارتباط دمایی و شوری بین نقاط با اعماق مختلف می‌شوند. در ادامه به بررسی برخی از مطالعات صورت گرفته حول مهاجرت گونه‌های خلیج‌فارس و ارتباط آن‌ها با پیچک‌های شناخته شده می‌پردازیم. Yimin و Mohammad (۱۹۹۹) بیان کردند که Penaeus semisulcatus جز گونه‌های میگوی غالب در آب‌های مرکزی و جنوبی کویت است و این امکان بسیار محتمل است که برخی از لاروهای این گونه‌ها که در آب‌های شمالی ایران تخم‌ریزی شده‌اند، به آب‌های کم‌عمق کویت منتقل شوند؛ به عبارتی این گونه‌ها در آب‌های ایران و کویت از یک نسل واحد هستند و باید به‌این‌ترتیب مدیریت شوند. Niamaimandi و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که گونه P. semisulcatus طی دو نوبت در سال در آب‌های بوشهر تخم‌گذاری انجام می‌دهد به‌طوری‌که تخم‌ریزی بهاره منجر به بازگشت در فصل پاییز شده و تخم‌ریزی زمستانی منجر به بازگشت در فصل تابستان می‌شود. مطابق با شکل ۱ در ناحیه شمالی خلیج‌فارس یک پیچک با مشخصه CE4 مشاهده می‌شود که این پیچک ارتباط‌دهنده بین آب‌های ناحیه شمالی خلیج‌فارس است. بعلاوه گردش کلی خلیج‌فارس هم که باعث چرخش آب در کل خلیج‌فارس می‌شود، می تواند به مهاجرت این گونه کمک نماید. Salarpouri و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی رشد، مرگ‌ومیر و بهره‌برداری از Encrasicholina punctifer در شمال خلیج‌فارس و دریای عمان پرداختند. در این مطالعه الگوی بازگشتی برای این گونه دومرتبه در سال رخ می‌دهد که بیشترین مقدار آن با ۱۶/۰۳٪ در سپتامبر اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه جریان سطحی ورودی از دریای عمان به خلیج‌فارس و همچنین جریان عمقی خروجی از خلیج‌فارس به دریای عمان در تابستان تقویت می‌شود و وقوع پیچک‌ها در ماه سپتامبر حتمی است، این جریان‌ها به انتقال گونه‌ها بین دریای عمان و خلیج‌فارس کمک می‌کنند. در مطالعه دیگری که بر روی خرچنگ شناور آبی Portunus segnis در آب‌های محدوده استان هرمزگان انجام شده است، بیش از ۲۰٪ بازگشت شیلاتی برای این گونه در مهرماه رخ می دهد که این مورد نیز همانند مطالعه قبلی با نتایج این مطالعه همخوانی دارد (Safaei and momeni, 2015).Darvishi و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی گروه‌های هم‌سن و الگوی بازگشت شیلاتی ماهی هوور در آب‌های استان هرمزگان پرداختند. نتایج بررسی الگوی بازگشت شیلاتی در این مطالعه نشان داد که تنها یک اوج از این ماهی در طی سال دیده می‌شود. بیشترین توان نسبی الگوی بازسازی در تیر

با ٪۱۶/۶۳ و پس‌ازآن در مرداد با ٪۱۵/۶۲ است و بیش از ۴۷ درصد از کل نسبت بازگشت شیلاتی مربوط به ماه‌های خرداد، تیر و مرداد است. بیشترین نسبت بازگشت شیلاتی در فصل تابستان مطابق با الگوی دما و شوری در این فصل است زیرا در تابستان نفوذ آب دریای عمان به داخل خلیج بیشتر است و آب‌های تنگه هرمز ازلحاظ شوری اختلاف بسیار کمی با دریای عمان دارند که در شکل ۴ نیز دیده می شود.بررسی مهاجرت و الگوی بازگشت شیلاتی تعدادی از گونه‌های موجود در خلیج‌فارس نشان داد که بیشترین درصد بازگشت شیلاتی در فصل تابستان رخ می‌دهد. در این فصل دمای سطح آب به‌تبع از دمای هوا گرم و دمای اعماق تا ۱۱ درجه با دمای سطحی اختلاف دارد (Sadrinasab, 2009). وجود پیچک‌ها در این فصل باعث تغییرات آرام دما بین نقاط مختلف خلیج‌فارس می‌شود و جابجایی گونه‌ها را ممکن می‌سازد. پیچک‌های میان‌مقیاس تابستانی (شکل ۱) که دارای چرخش پادساعت‌گرد هستند باعث می‌شوند گونه‌ها در دوره تخم‌ریزی از ساحل دور شوند و پس از تخم‌ریزی و تشکیل لاروها تا روزها شرایط برای رشد لاروها توسط این پیچک‌ها حفظ می‌شود و در انتها با سرد شدن آب ساختار پیچک‌های میان‌مقیاس از بین می‌رود. Logerwell و Smith (۲۰۰۱) این فرضیه را مطرح کردند که لاروهای ساردین که درون پیچک‌ها هستند دارای نرخ بقای بزرگ‌تری نسبت به آن‌هایی که در بیرون پیچک‌ها هستند، می‌باشند به‌طوری‌که پیچک‌ها تبدیل به زیستگاه اصلی آن‌ها می‌شوند. انتقال مواد مغذی و غلظت مواد معلق در پیچک‌ها نیز از نکاتی است که می‌تواند بر روی فاکتورهای رشد آبزیان مؤثر باشد. Sasai و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که غلظت کلروفیل مرتبط با پیچک‌های پادساعت‌گرد در مقایسه با آب‌های اطراف افزایش می‌یابد و این درنتیجه مکش مواد مغذی از لایه‌های زیرین دریا به دلیل چرخش ناشی از پیچک‌ها است که منجر به بالاروی لایه nutricline[1] می‌شود. در مطالعه Kim و همکاران (۲۰۱۲) نیز غلظت کلروفیل a در زیر لایه آمیخته و در مرکز پیچک ۵/۵ میلی‌گرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شد درحالی‌که در کناره‌های پیچک این مقدار تقریباً ۲/۵ میلی‌گرم بر مترمکعب بود؛ بنابراین وجود پیچک‌ها علاوه بر اینکه باعث انتقال مواد معلق از طریق جریانات می شود، قدرت انتقال مواد مغذی از لایه‌های زیرین به لایه‌های سطحی را نیز دارد و درنتیجه‌ی این دو فرآیند (انتقال و مکش) محیط پیرامون و مرکز پیچک یک محیط مستعد برای جذب آبزیان و رشد آن‌ها به شمار می‌آید.

منابع

- خلیل‌آبادی، م.ر.، ۱۳۹۵، مدل سازی سه‌بعدی گردش آب در دریای عمان با استفاده از مدلMITgcm، نشریه علمی پژوهشی هیدروفیزیک، دوره ۲، شماره ۱، ۶۱-۶۸.
- خلیل‌آبادی، م.ر.، بهروز، ب.، ۱۳۹۸، شبیه سازی جریان حجمی در مصب اروندرود با استفاده از مدل MIKE 21، نشریه علمی پژوهشی هیدروفیزیک، دوره ۵، شماره ۲، ۱-۱۰.
- رئیسی، الف، مهرفر، ح.، علی‌اکبری‌بیدختی، ع.ع.، ترابی‌آزاد، م.، لاری، ک.، ناظم‌السادات، م.ج.، عظام، م.، ۱۳۹۸، مطالعه پیچک‌های میان‌مقیاس تحت تأثیر جریان‌های ساحلی در خلیج‌فارس و نقش آن در اقلیم منطقه، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۶، ۷۵-۹۰.
- ماه‌پیکر، الف.، خلیل‌آبادی، م.ر.، ۱۳۹۸، مدلسازی اثر جریان های جزر و مدی بر تغییرات چگالی خلیج فارس با استفاده از مدل مایک، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، انتشار آنلاین

- Bakun, A. 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. Scientia Marina 70. 105–122.
- Brandt, S. 1981. Effects of a Warm-Core Eddy on Fish Distributions in the Tasman Sea of East Australia. Marine Ecology Progress. Series 6. 19–33.
- Chang, Y. L., Miyazawa, Y., Beguer-Pon M. 2017. The dynamical impact of mesoscale eddies on migration of Japanese eel larvae. PLoS ONE 12 (3): e0172501.
- Chang, Y.-L., Miyazawa, Y. & Guo, X. 2015. Effects of the STCC eddies on the Kuroshio based on the 20-year JCOPE2 reanalysis results. Progress in Oceanography 135. 64–76.
- Chang, Y-L., Miyazawa, Y., Beguer-pon, M., et al. 2018. Physical and biological roles of mesoscale eddies in Japanese eel larvae dispersal in the western North Pacific Ocean. Scientific Reports. 8. 5013.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G. & Samelson, R. M. 2011. Global observations of nonlinear mesoscale eddies. Progress in Oceanography 91. 167–216.
- Cotte, C, Park Y.H., Guinet,C., Bost, C.A. 2007. Movements of foraging king penguins through marine mesoscale eddies. Proceedings of the Royal Society of London B. Biological Sciences 274. 2385–2391.
- Darvishi, M., Momeni, M., Behzadi, S., Salarpouri, A., Akbarzadeh, G.A. 2020, A Study on Cohort and Recruitment pattern of Thunnus tonggol (Bleeker,1851) in Hormozgan waters. Journal of Animal Environment, Volume 11. Issue 4, 125-132.

۱.لایه‌ای از اقیانوس که غلظت مواد مغذی نسبت به عمق تغییرات شدیدی دارد.

- Falkowski, P., Zieman, D., Kolber, Z., Bienfang, P. 1991. Role of eddypumping in enhancing primary production in the ocean. Nature 353.55–58.
- Kim, D., Yang, E.J., Kim, K.H., et al. 2012. Impact of an anticyclonic eddy on the summer nutrient and chlorophyll a distributions in the Ulleung Basin, East Sea (Japan Sea). ICES Journal of Marine Science. 69(1). 23–29.
- King, M. 1995. Fisheries Biology, Assessment and Management. Oxford University Press. Oxford. UK. 342 pp.
- Levy, M., Franks, P.J.S., Smith, K.S. 2018. The role of submesoscale currents in structuring marine ecosystems. Nature Communications. 9. 4758.
- Logerwell, E., Smith, P. 2001. Mesoscale eddies and survival of late stage Pacific sardine (Sardinops sagax) larvae, Fish. Oceanogr. 10(1). 13–25.
- Luo, J., Ault, J.S., Shay, L.K., Hoolihan, J.P., Prince, E.D., Brown, C.A., et al. 2015. Ocean Heat Content Reveals Secrets of Fish Migrations. PLoS ONE 10. e0141101.
- Martin, A.P., Pondaven, P. 2003. On estimates for the vertical nitrate flux due to eddy-pumping. J Geophys Res. 108. 3359.
- Niamaimandi, N., Aziz, A., Khalijah, D.S., et al., 2008. Reproductive biology of the green tiger prawn (Penaeus semisulcatus) in coastal waters of Bushehr, Persian Gulf. ICES Journal of Marine Science. Volume 65. Issue 9. 1593–1599.
- Nieto, K., McClatchie, S., Weber, E.D., Lennert-Cody, E. 2014. Effect of mesoscale eddies and streamers on sardine spawning habitat and recruitment success off Southern and central California. J Geophys Res Oceans. 119. 6330–6339.
- Oschlies, A. 2002. Can eddies make ocean deserts bloom?. Global Biogeochem. Cycles 16. 1106.
- Oschlies, A., Garçon, V. 1999. An eddy-permitting coupled physicalbiological model of the North Atlantic 1. Sensitivity to advection numerics and mixed layer physics. Glob Biogeochem Cycles 13. 135–160.
- Pous, S., Carton, X., Lazure, P. 2012. A process study of the tidal circulation in the Persian Gulf. Open J. Mar. Sci. 2 (4). 131–140.
- Pous, S., Lazre, P., 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,94, 55–70.
- Sadrinasab, M. 2009. Three Dimensional Numerical Modeling Study of the coastal Upwelling in the Persian Gulf. Research Journal of Environmental Sciences. 3 (5). 560-566.
- Safaie. M., Momeni, M. 2015. Virtual population analysis, recruitment pattern and cohort analysis of blue swimming crab, Portunus segnis (Forskal, 1775) in coastal waters of Persian Gulf and Gulf of Oman, Iran. J. Aqu. Eco. 5 (1). 61-51.
- Salarpouri, A., Kamrani, E., Kaymaram, F., Mahdavi Najafabadi, R., 2018, Growth, mortality and exploitation of buccaneer anchovy (Encrasicholina punctifer Fowler, 1938) from the north Persian Gulf and Oman Sea. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 17(2). 313-326.
- Sanchez-Velasco, L., Lavin, M.F., Jimenez-Rosenberg, S.P.A., Godinez, V.M., Santamaria-del-Angel, E., Hernandez-Becerril, D.U. 2013. Three-dimensional distribution of fish larvae in a cyclonic eddy in the Gulf of California during the summer. Deep Sea Research Part I. Oceanographic Research Papers 75. 39–51.
- Sasai, Y., Richards, K. J., Ishida, A., Sasaki, H. 2010. Effects of cyclonic mesoscale eddies on the marine ecosystem in the Kuroshio Extension region using an eddy-resolving coupled physical-biological model. Ocean Dynamics 60. 693-704.
- Siegel, D.A., McGillicuddy, D.J., Fields, E.A. 1999. Mesoscale eddies, satellite altimetry, and new production in the Sargasso Sea. J Geophys Res, 104. 13359–13379.
- Thoppil, P.G., Hogan, P.J. 2010. A modeling study of circulation and eddies in the Persian Gulf. J Phys Oceanogr. 40. 2122–2134.
- Volkov, D. L., Lee, T. & Fu, L.-L. 2008. Eddy-induced meridional heat transport in the ocean. Geophysical Research Letters 35, n/a–n/a.
- Williams, R.G., Follows, M.J. 2003. Physical transport of nutrients and the maintenance of biological production. In: Fasham MJR (ed) Ocean biogeochemistry. the role of the ocean carbon cycle in global change. Springer. New York. pp 19–51.
- Yimin, Y., Mohammad, H. M. A. 1999. An analysis of variation in catchability of green tiger prawn, Penaeus semisulcatus, in waters off Kuwait. Fishery Bulletin US. 97. 702–712.
- Zhang, Z., Wang, W. & Qiu, B. 2014. Oceanic mass transport by mesoscale eddies. Science 345. 322–324.