

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1403.10.2.4.8

درصد همانندی: ۲٪

بررسی و تأثیر پیچک‌های میان‌مقیاس بر شاخص بازده انرژی کشتی‌های موجود (EEXI) و شاخص شدت کربن (CII) در خلیج فارس

سید سعید شریعتی^۱، سارا الهیاری بیگ^{۲*}^۱ دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. technicalshariati@gmail.com^{۲*} نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. s.allahyari@srbiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲

چکیده

با وجود تراکم بالای تردد کشتی‌ها و اهمیت جهانی خلیج فارس به عنوان یکی از حیاتی‌ترین آبراه‌های دنیا، اطلاعات موجود درباره ویژگی‌های پیچک‌های میان‌مقیاس و اثر آن‌ها بر عملکرد کشتی‌ها و شاخص‌های انرژی بسیار محدود است. هدف این پژوهش بررسی تأثیر پیچک‌های میان‌مقیاس بر شاخص بازده انرژی کشتی‌های موجود و شاخص شدت کربن در نفتکش‌ها است. برای این منظور، چهار پیچک میان‌مقیاس شناسایی شده با داده‌های اقیانوس‌شناسی مورد تحلیل قرار گرفتند. مدل با شرایط مرزی و داده‌های فصلی جریان‌ها اجرا شد و سرعت پیچک‌ها حدود 1 ms^{-1} به سمت غرب در ماه‌های مختلف سال استخراج گردید. سپس اثر این جریان‌ها بر سرعت، مصرف سوخت و شاخص‌های زیست محیطی یک نفتکش نمونه محاسبه شد. نتایج نشان داد که استفاده از مسیر پیچک‌ها به دلیل افزایش طول مسیر، موجب افزایش مصرف سوخت تا حدود ۸-۱۲٪ و افزایش شاخص‌های آلاینده‌گی می‌شود؛ در حالی که مسیرهای عمومی تردد کشتی‌ها کوتاه‌تر بوده و از نظر انرژی و هزینه مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند. با این حال، آگاهی از موقعیت و ویژگی پیچک‌ها می‌تواند در شرایط اضطراری مانند از دست دادن سامانه محرکه یا فرمان به پیش‌بینی مسیر حرکت کشتی و کاهش خطرات کمک کند.

واژه‌های کلیدی: پیچک‌های میان‌مقیاس، جریان‌های خلیج فارس، مصرف سوخت، نفتکش‌ها

۱. مقدمه

خلیج فارس به عنوان یکی از مهم ترین آبراه های جهان، تحت تأثیر جریان های میان مقیاس از جمله پیچک ها قرار دارد. پیچک ها ساختارهای دینامیکی پراثری هستند که می توانند گرما، جرم و تکانه را در فواصل طولانی منتقل کنند و بر فرآیندهای فیزیکی و زیست محیطی منطقه اثرگذار باشند. با وجود اهمیت این جریان ها، اطلاعات موجود درباره ویژگی ها و تأثیر آن ها در سواحل ایران محدود است.

در دهه های اخیر، داده های ماهواره ای و مدل های عددی ابزارهای مهمی برای شناسایی و تحلیل پیچک ها فراهم کرده اند، اما همچنان نیاز به مطالعات دقیق تر در مقیاس منطقه ای وجود دارد. یکی از جنبه های کمتر بررسی شده، تأثیر پیچک ها بر عملکرد کشتی ها و شاخص های زیست محیطی مرتبط با انرژی و انتشار کربن است.

این موضوع به ویژه در خلیج فارس اهمیت دارد، زیرا این آبراه علاوه بر تراکم بالای تردد نفتکش ها و کشتی های تجاری، تحت مقررات سختگیرانه سازمان بین المللی دریانوردی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای قرار دارد.

هدف این پژوهش بررسی تأثیر پیچک های میان مقیاس خلیج فارس بر شاخص بازده انرژی کشتی های موجود و شاخص شدت کربن در نفتکش ها است. نتایج این مطالعه می تواند علاوه بر اعتبارسنجی مدل های منطقه ای، به درک بهتر روابط بین دینامیک پیچک ها و عملکرد کشتی ها کمک کند و در نهایت در راستای اهداف زیست محیطی مورد استفاده قرار گیرد.

در حالی که مطالعات پیشین عمدتاً به شناسایی پیچک ها با داده های ماهواره ای یا مدل های اقلیمی بسنده کرده اند و ارتباط مستقیم آن ها با عملکرد واقعی کشتی ها را بررسی نکرده اند، روش پیشنهادی این پژوهش با ترکیب مدلسازی عددی جریان ها و داده های استاندارد عملکرد کشتی (ISO 15016) مزیت بیشتری دارد و امکان ارزیابی دقیق شاخص های انرژی و آلاینده گی را فراهم می سازد.

۲. مواد و روش ها

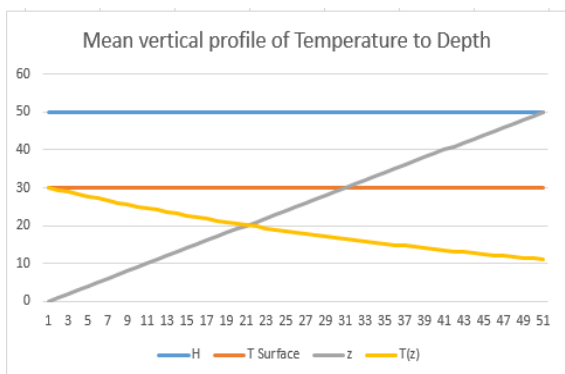
۲-۱. تنظیم عددی

برای بررسی منشأ و پویایی پیچک های میان مقیاس در خلیج فارس، از مدل جامع ساحلی اقیانوسی و منطقه ای استفاده شد. این مدل معادلات هیدرواستاتیک بوسینسک ناویر-استوکس را با در نظر گرفتن شتاب کوریولیس حل می کند. دامنه شبیه سازی در این راستا به ترتیب برابر با ۶۰۰ کیلومتر، ۲۰۰ کیلومتر و ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. شبکه افقی با تفکیک ۱ کیلومتر و لایه های عمودی با استفاده از مختصات تعریف شدند.

برای این منطقه دمای آب در هر عمقی نسبت به میانگین دمای آب از رابطه زیر به دست می آید:

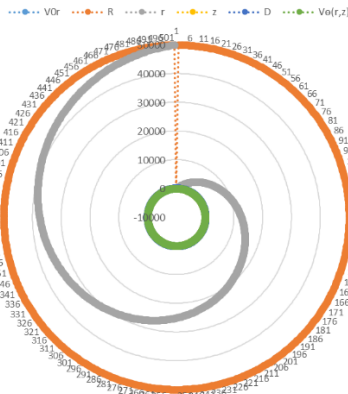
$$T(z) = T_0 \exp(z/H) \quad (1)$$

که در آن $T_0 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ و $H = 50 \text{ m}$ (میانگین عمق خلیج فارس). شوری روی ستون آب به مقدار ۴۰ psu مورد بررسی قرار گرفت.



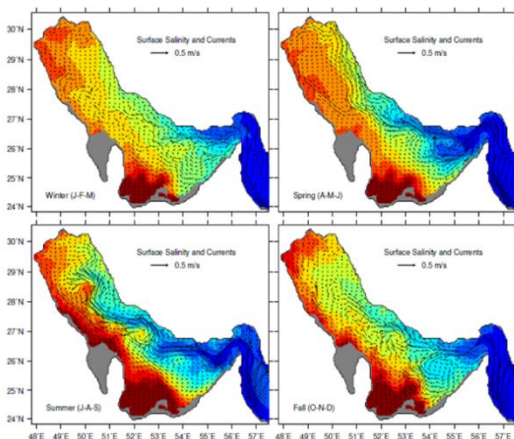
شکل ۱. میانگین مشخصات تغییرات دما نسبت به عمق با میانگین عمق خلیج فارس $H = 50 \text{ m}$ در دمای $T_0 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

با مقاردهی اولیه جریان، چهار پیچک میان مقیاس با جهت چرخش متناوب در امتداد طول محور کانال خواهیم داشت (شکل ۲).



شکل ۳. نمایش مسیر پیچک‌ها با افزایش عمق آب با استفاده از فرمول (۲)

میدان‌های سطحی و جریان‌ها بستر، که بر میدان‌های شوری منطبق شده‌اند، در شکل ۴ رسم شده‌اند [۳].

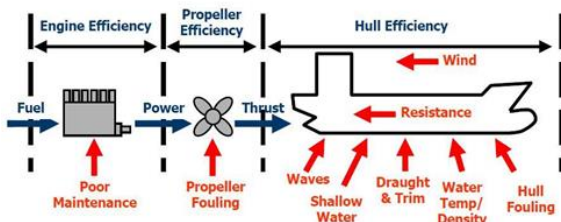


شکل ۴. میانگین فصلی میدان‌های شوری سطحی و جریان‌ها از خروجی مدل ده ساله

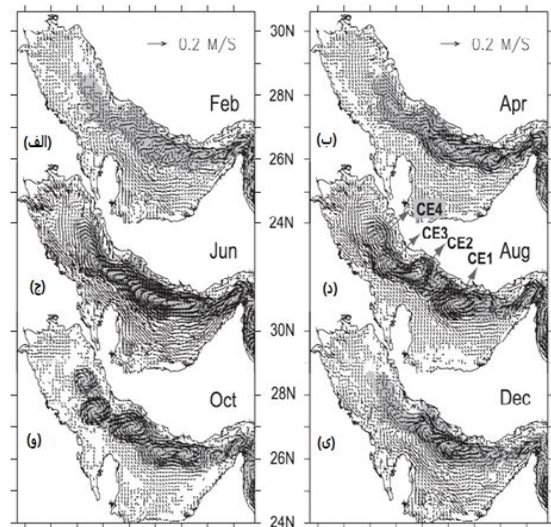
۲-۲. روش تجزیه و تحلیل عملکرد نیروی محرکه

کشتی و سرعت براساس ISO/DIS 15016

برای ارزیابی تأثیر جریان‌های پیچک بر عملکرد کشتی، از استاندارد ISO/DIS 15016 استفاده شد. داده‌های سرعت جریان از خروجی مدل استخراج و با مسیر حرکت یک نفتکش نمونه ترکیب گردید. سپس مصرف سوخت و توان پروانه در شرایط مختلف جریان محاسبه شد.



شکل ۵. متغیرهای عملکرد (پدرسن، ۲۰۰۹)



شکل ۲. میانگین جریان ماهانه در ارتفاع ۵۰ متری بالا در طی (الف)

فوریه، (ب) آوریل، (ج) ژوئن، (د) اوت، (و) اکتبر، و (ی) دسامبر که از مدل اقلیم شناسی ۵ ساله (۲۰۰۳-۰۷) استخراج شده است. چهار پیچک‌ها سیکلونی CE1، CE2، CE3، CE4 و ICC برجسب گذاری شده‌اند. برای وضوح، هر دوازده بردار و شدت جریان بزرگتر از ۵ سانتی متر بر ثانیه ترسیم شده است. عمق سنجی برای عمقی که بیشتر از ۵۰ متر به رنگ خاکستری است [۱].

نیمرخ‌های عمودی سرعت دایره‌ای هر گردابه عبارت‌اند از:

$$V_{\theta}(r, z) = \pm \frac{V_0 r}{R} \exp\left(-\frac{r^2}{R^2}\right) \exp\left(-\frac{z^2}{D^2}\right) \quad (2)$$

با $V_0 r = 0.5$ رادیان بر ثانیه، $R = 50$ کیلومتر، $D = 100$ متر.

سپس میدان سرعت چهار پیچک میان‌مقیاس با میدان فشار آن‌ها با استفاده از تعادل سیکل ژئوستروفیکی و پیروی از روشی که در Ciani و همکارانش توضیح داده شده است، متعادل می‌شود [2] (2016).

مسیر پیچک‌ها با افزایش عمق آب براساس که بر اساس فرمول (۲) مقادیر جایگذاری را شده در شکل ۳ نشان می‌دهد.

مدل گردش آب در خلیج فارس ماهیتی سه‌بعدی دارد و می‌توان آن را به چرخاب‌های افقی و سلول‌های وارانه تجزیه کرد. میدان‌های جریان‌های افقی به شدت با میدان‌های هیدروگرافی، به‌ویژه میدان‌های شوری، درگیر شده‌اند.

ظرفیت وزن مرده یا تن ناخالص برای کروزو خودروبر است.
 $fiVSE$ کل مسافت طی شده می‌باشد.

$Dt-Dx$ مسافت طی شده ممکن است کسر شود.

ضریب تصحیح زمان بندر AFPT فقط برای کشتی‌های مسافری کروز است.

یعنی برای نفتکش هزار با وزن مرده ۳۱۷۰۰۰ تن مرجع CII در حدود خواهد بود:

$$CII=5247 \times 317000^{-0.61} = 2.313$$

ضریب تبدیل جرم $CF_j CO_2$ برای نوع سوخت به کار می‌رود.

FC_j مجموع جرم سوخت مصرفی از نوع z در سال تقویمی.

y_i و $y_i=0$ ، $y_i=1$ ، $y_i=2$ ، $2025=2$ ، $2024=1$ ، $2023=0$ ، y_i و غیره؛ سیستم شماره‌گذاری متوالی استفاده شده است.

$FC_{Electrical}$ مجموع جرم سوخت نوع $F_j z$ ، مصرف شده

برای تولید توان الکتریکی که معیار به کسر است.

FC_{Boiler} j

مجموع جرم نوع سوخت z ، مصرف شده توسط دیگ بخار

که ممکن است کسر شود.

راندمان عملکرد کشتی به سه بخش تقسیم شد:

- راندمان موتور: وابسته به نوع و نگهداری موتور است.
- راندمان پروانه: وابسته به طراحی و تمیزی پروانه است.
- راندمان بدنه: وابسته به مقاومت ناشی از امواج، باد، آب کم عمق و شرایط هیدرودینامیکی می‌باشد.

۳. تئوری و محاسبات

۳-۱. محاسبه شاخص بازده انرژی کشتی‌های موجود

($EEXI^1$) و شاخص شدت کربن (CII^2)

برای به دست آوردن مقادیر CII مرجع

$$CII_{Reference} = aCapacity^c \quad (3)$$

در حالی که a و c مطابق جدول ۱ می‌باشد.

مقدار سوخت Z حذفی برای STS یا عملیات شاتل تانکرست.

فاکتور برای کشتی‌های یخی طبقه‌بندی شده دارای A^+ و A^1 است.

ضرایب اصلاح ظرفیت مکعبی تانکرهای شیمیایی است.

ضریب تصحیح برای کشتی‌های فله‌برهای خود تخلیه

داوطلبانه بهبود ساختاری خاص کشتی است.

جدول ۱. a و c برای انواع مختلف کشتی به منظور تعیین مرجع CII نشان داده شده است. [۵]

C	a	Capacity	مشخصات	مدل کشتی
۰/۶۱۰	۵۲۴۷	DWT		نفتکش
۰/۴۸۹	۱۹۸۴	DWT		کانتینر بر
۰/۶۲۲	۴۷۴۵	۲۷۹۰۰۰	تناژ ۲۷۹۰۰۰ تن و به بالا	فله بر
۰/۶۲۲	۴۷۴۵	DWT	تناژ ۲۷۹۰۰۰ تن به پایین	
۲/۰۷۱	۱۴۴۰۵E۷	DWT	تناژ ۶۵۰۰۰ تن و به بالا	گاز بر
۰/۶۳۹	۸۱۰۴	DWT	تناژ ۶۵۰۰۰ تن به پایین	
۰/۷۹۲	۳۱۹۴۸	DWT	تناژ ۲۰۰۰۰ تن و به بالا	کشتی حمل عمومی
۰/۳۸۸۵	۵۸۸	DWT	تناژ ۲۰۰۰۰ تن به پایین	
۰/۵۵۷	۴۶۰۰	DWT		کشتی حمل مواد یخچالی
۰/۶۲۲	۵۱۱۹	DWT		کشتی ترکیبی
۰/۰۰۰	۹/۸۲۷	DWT	تناژ ۱۰۰۰۰۰ تن و به بالا	گاز طبیعی مایع بر
۲/۶۷۳	۱۴۴۷۹E۱۰	DWT	تناژ ۶۵۰۰۰ تن و به بالا ولی کمتر از ۱۰۰۰۰۰ تن	
۲/۶۷۳	۱۴۴۷۹E۱۰	۶۵۰۰۰	تناژ ۶۵۰۰۰ تن به پایین	
۰/۵۹۰	۳۶۲۷	۵۷۷۰۰	تناژ خالص ۵۷۷۰۰ تن و به بالا	کشتی خودرو بر (وسیله نقلیه بر)
۰/۵۹۰	۳۶۲۷	GT	تناژ خالص ۳۰۰۰۰ تن و به بالا ولی کمتر از تناژ خالص ۵۷۷۰۰ تن	
۰/۳۲۹	۳۳۰	GT	تناژ ۳۰۰۰۰ تن به پایین	
۰/۴۸۵	۱۹۶۷	GT		کشتی خودرو بر
۰/۴۶۰	۲۰۲۳	GT	کشتی مسافر و خودرو بر	کشتی مسافر و خودرو بر
۰/۴۶۰	۶۱۶۷	GT	فایق‌های تندرو که بر اساس SOLAS Chapter X طراحی شده‌اند	
۰/۳۸۳	۹۳۰	GT		کشتی کروز مسافر بر

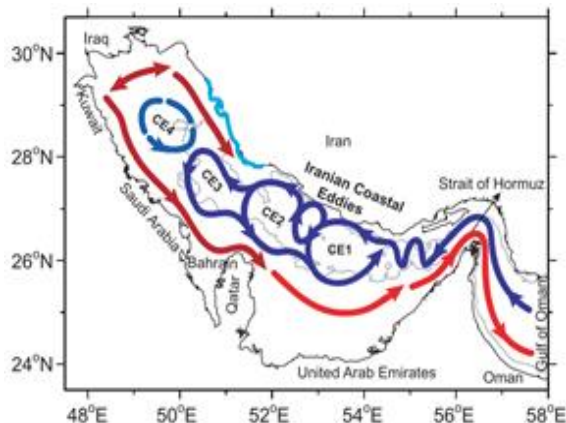
۴. یافته‌ها

۴-۱. تولید پیچک‌های ریز مقیاس در شبیه‌سازی‌ها

شبیه‌سازی‌های عددی نشان دادند که پیچک‌های ریز مقیاس عمدتاً در عمق حدود ۱۰۰ متر تشکیل می‌شوند و منشأ آن‌ها تعامل پیچک‌های میان‌مقیاس با توپوگرافی شیب‌دار کف دریا است. در شکل ۶، میدان پیچک‌های نسبی در سه عمق مختلف سطح، ۴۰ متر و ۱۰۰ متر طی ۲۰۰ روز نشان داده شده است.

نتایج بیانگر آن است که:

- در سطح، جریان‌های میان‌مقیاس غالب هستند.
- در عمق ۴۰ متر، رشته‌های پیچک‌های ریز مقیاس در اطراف پیچک‌های اصلی قابل مشاهده‌اند.
- در عمق ۱۰۰ متر، آشفتگی ریز مقیاس پراثری غالب است و مقدار نسبی پیچک‌ها به پیچک‌های سیاره‌ای نزدیک می‌شود.



شکل ۶. نمودار شماتیک گردش جریان پیچک‌ها در خلیج فارس [1]

۴-۲. تغییرات فصلی جریان‌ها

مدل‌سازی نشان داد که شدت جریان‌های سطحی در تابستان بیشترین مقدار حدود ۰/۱-۰/۲ و در زمستان کمترین مقدار حدود ۰/۰۵-۰/۱ را دارد. کاهش شدت جریان زمستانی ناشی از کاهش شیب چگالی بین خلیج فارس و دریای عمان و طبقه‌بندی ضعیف آب در اثر سرمای زمستانی است.

FCOthers.j مجموع جرم نوع سوخت zj، مصرف شده توسط سایر دستگاه‌های مصرف سوخت مرتبط ضریب تصحیح ظرفیت برای کشتی‌های طبقه‌بندی شده یخی می‌باشد.

FCVoyage.j جرم سوخت ممکن است کسر شود، ضریب تصحیح می‌باشد.

TFj برای تانکرهای شاتل یا سفرهای و STS^۳ اعمال می‌شود.

شاخص کربن:

$$CII = (\sum [FC_j \times C_{Fj}]) / (C \times D_t) \quad (۴)$$

ضریب اصلاحی که باید توسعه داده شود:

$$CII = \frac{\text{Annual Fuel Consumption} * \text{CO2 Factor}}{\text{Annual Distance Travelled} * \text{Capacity (DWT)}} \quad (۵)$$

برای همه کشتی‌ها نشان CIIship اخذ شد:

$$CII_{ship} = (\sum_j CF_j \cdot \{FC_j - (FC_{Voyage.j} + TF_j + (0.75 - 0.03y_i) \cdot (FC_{Electrical.j} + FC_{Boiler.j} + FC_{Others.j}))\}) / (f_i \cdot f_m \cdot f_c \cdot f_i VSE_{Capacity} \cdot (Dt - Dx) \cdot AFPT) \quad (۶)$$

کشتی CII به دست آمده است (تانکر، غیر شیمیایی/شاتل):

$$CII_{ship} = (\sum_j CF_j \cdot \{FC_j - (FC_{Voyage.j} + TF_j + (0.75 - 0.03y_i) \cdot (FC_{Electrical.j} + FC_{Boiler.j} + FC_{Others.j}))\}) / (f_i \cdot f_m \cdot Capacity \cdot (Dt - Dx)) \quad (۷)$$

محاسبه EEXI برای SFOC^۴ بهینه که حدود ۰/۷۵ بار کامل موتور است:

$$EEXI [g/ton.mile] = \left(\frac{\text{Conversion Factor} * \text{SFC} * \text{Engine Power}(75\% \text{ MCR})}{\text{Capacity}(DWT) * \text{Ship Speed at } 75\% \text{ MCR}} \right) \quad (۸)$$

سرعت نسبت با ظرفیت:

$$\text{Speed} \propto DWT^{-2/9} \quad (۹)$$

پیش‌فرض محاسبه EEXI برای بار کامل موتور است:

$$EEXI [g/ton.mile] = \left(\frac{\text{Conversion Factor} * \text{SFC} * \text{Engine Power}(83\% \text{ MCR})}{\text{Capacity}(DWT) * \text{Ship Speed at } 83\% \text{ MCR}} \right) \quad (۱۰)$$

۳-۴. تکامل پیچک‌های ساحلی ایران

جریان ساحلی ایران در اثر ناپایداری باروکلینیک طی ماه‌های اوت تا سپتامبر به مجموعه‌ای از پیچک‌های میان‌مقیاس تکامل یافت. این پیچک‌ها نقش مهمی در تبادل آب کم‌شور ورودی از دریای عمان و خروج آب پرشور خلیج فارس دارند. شکل ۶ همچنین فرآیند فراجوشی ناشی از پیچک‌ها می‌تواند آب زیرسطحی غنی از مواد مغذی را به سطح منتقل کند.

۴-۴. ارتباط با عملکرد کشتی‌ها

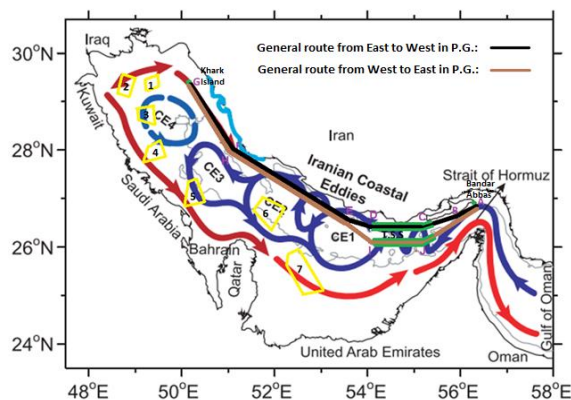
با ترکیب داده‌های جریان با مسیر حرکت نفتکش نمونه، مشخص شد که:

- حرکت در مسیر پیچک‌ها به دلیل افزایش طول مسیر، مصرف سوخت را بین ۸-۱۲٪ افزایش می‌دهد.
- شاخص‌های و در مسیرهای پیچک‌ها مقادیر بالاتری نسبت به مسیرهای عمومی دارند.
- مسیرهای عمومی کشتی‌ها کوتاه‌تر بوده و از نظر انرژی و هزینه مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند.
- در بهترین حالت ممکن که زاویه جریان پیچک و جهت کشتی در راستای همدیگر باشند مقدار صرفه‌جویی سوخت مصرفی در طول یک شبانه روز به مقدار ۰/۳۹ تن می‌باشد.

۵-۱. مکانیسم‌های فیزیکی اثر پیچک‌ها

پیچک‌ها با ایجاد تغییر در سرعت جریان و مقاومت هیدرو پنامیکی، بر عملکرد کشتی اثر می‌گذارند:

- افزایش مقاومت بدنه در اثر جریان‌های مخالف یا جانبی، موجب افزایش توان مورد نیاز موتور می‌شود.
- تغییر سرعت نسبی کشتی در جریان‌های موافق یا مخالف، مستقیماً در فرمول‌های محاسبه و وارد می‌شود. به‌طور خاص، افزایش مقاومت یا کاهش سرعت باعث افزایش مصرف سوخت و انتشار گاز گلخانه‌ای به‌ازای هر مایل دریایی می‌شود.
- در شرایطی که پیچک‌ها موافق مسیر حرکت باشند، می‌توانند مصرف سوخت را کاهش دهند؛ اما نتایج نشان داد که چنین شرایطی در خلیج فارس به‌ندرت رخ می‌دهد و از نظر عملیاتی قابل اتکا نیست.



شکل ۷. مسیر عمومی کشتی در خلیج فارس.

مقایسه با مطالعات مشابه و مطالعات انجام‌شده در سایر مناطق جهان نشان داده‌اند که استفاده از جریان‌های قوی اقیانوسی مانند جریان‌های آفریقا جنوبی یا جریان گلف استریم در اقیانوس اطلس می‌تواند مصرف سوخت کشتی‌ها را کاهش دهد. در این مناطق، جریان‌ها پایدارتر و قابل پیش‌بینی‌تر هستند. در مقابل، پیچک‌های خلیج فارس ماهیت فصلی و ناپایدار دارند و طول عمر آن‌ها کوتاه‌تر است حدود یک ماه این تفاوت نشان می‌دهد که نتایج این مطالعه با شرایط محلی خلیج فارس سازگار است و نمی‌توان الگوهای موفق سایر مناطق را به این آبراه پر تراکم و محدود تعمیم داد.

۵. بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از مسیرهای پیچک‌های میان‌مقیاس در خلیج فارس به دلیل افزایش طول مسیر، موجب افزایش مصرف سوخت و در نتیجه افزایش شاخص‌های و می‌شود. این یافته در ظاهر با فرض اولیه تحقیق بهینه سازی مسیر با کمک پیچک‌ها مغایرت دارد. برای درک این موضوع لازم است مکانیسم‌های فیزیکی اثر پیچک‌ها بر عملکرد کشتی بررسی شوند.

طول کل سفر کشتی پیچک‌ها با جهت کاملاً مطلوب و سرعت $1/5 \text{ m}^{-1}$ را تجربه کنید که در عمل امکان‌پذیر نیست، چه از نظر مسیر کاملاً موافق با پیچک‌ها و چه از نظر حضور پیچک‌هایی با این سرعت در طول سفر.

با توجه به همه جهات و فصلی بودن پیچک‌ها در خلیج فارس، مسیر عبور از نظر مصرف سوخت و در نتیجه افزایش هزینه‌ها، مقرون به صرفه نبوده و مسیر عمومی به دلیل کوتاه بودن مدت زمان مصرف سوخت کمتری دارد.

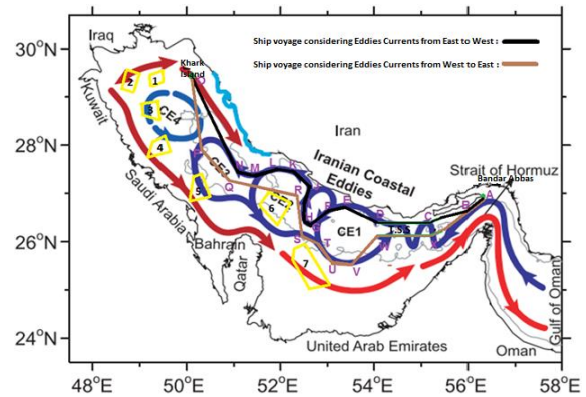
به طور کلی در مناطقی مانند خلیج فارس، باب المندب، کانال‌های مالاکا و تایوان، کانال بریتانیا و مناطقی که در بالا به دلایل مختلف ذکر شده و به راحتی قابل دسترسی نیستند، همواره از مسیرهای عمومی استفاده می‌شود.

استفاده از جریان‌های آب و پیچک‌ها در مناطقی مانند محل تلاقی اقیانوس‌های هند و اطلس در پایین قاره آفریقا که جریان‌های آب قوی است و مشکلی در مسیریابی وجود ندارد، باعث کاهش سوخت می‌شود. با توجه به همه جوانب و فصلی بودن پیچک‌ها در خلیج فارس، تردد از مسیر پیچک‌ها باعث افزایش چشمگیر مسافت مورد نظر و در نتیجه مصرف سوخت بیشتر و هزینه‌ها که مقرون به صرفه نبوده، می‌شود و این امر افزایش شاخص‌های CII و EEXI را در پی دارد. پس به دلیل کوتاه‌تر بودن مسیر عمومی تردد کشتی‌ها نسبت به مسیر پیچک‌ها ارجحیت دارد.

در جدول ۲ نمودار جریان شاخص‌ها و محاسبات مقدار EEXI را که در Excel برنامه‌نویسی شده را به نمایش گذاشته است.

۵-۲. ارتباط بین اقیانوس‌شناسی و بخش کشتیرانی

برای ایجاد ارتباط مستقیم بین نتایج اقیانوس‌شناسی و عملکرد کشتی، داده‌های سرعت جریان استخراج شده از مسیر حرکت نفتکش نمونه اعمال شد.



شکل ۸. مسیر کشتی در خلیج فارس با در نظر گرفتن جریان پیچک‌ها.

مسیر شرق به غرب، شامل مسافت طی شده به ازای سوخت مصرف شده (مایل در تن)، معادل $0/31$ تن سوخت در مایل است.

مسیر غرب به شرق پیچک‌ها 540 مایل دریایی است که با احتساب سرعت پیچک $0/1$ متر بر ثانیه میانگین سرعت کشتی به $12/7$ گره دریایی در $42/5$ ساعت به مقصد می‌رسد. کشتی در این فاصله حدود $167/4$ تن سوخت سنگین می‌سوزاند. افزایش طول مسیر شرق به غرب و همچنین مسیر غرب به شرق باعث افزایش زمان ناوبری کشتی و در نتیجه افزایش مصرف سوخت می‌شود. بر اساس محاسبات و تحلیل‌های انجام شده موارد زیر را می‌توان نتیجه‌گیری کرد: مسیر شرق به غرب مسیر پیچک‌ها:

افزایش 85 مایلی ($85 = 420 - 505$) نسبت به مسیر عمومی از شرق به غرب و افزایش مصرف سوخت تنها با این واقعیت قابل جبران است که در طول سفر، پیچک‌ها با جهت کاملاً موافق و سرعتی برابر $1/3$ متر بر ثانیه وجود دارد. که عملاً، چه از نظر اینکه مسیر کاملاً موافق با جریان پیچک و چه از نظر وجود پیچک با این سرعت در طول سفر غیرممکن است.

مسیر غرب به شرق پیچک‌ها:

فقط 105 مایل ($105 = 435 - 540$) نسبت به مسیر عمومی از غرب به شرق مصرف سوخت را می‌توان جبران کرد اگر در

جدول ۲. نمودار جریان شاخص‌ها و محاسبات مقدار EEXI

M.T. Amber EEXI Result

EEXI Calculation report

Ship Name	MT Amber	Ship Owner	NITC	Date:	13/10/2021
IMO No.:	9357406	Ship Builder	HHI	DOC No.:	
Ship Type	Tanker	Hull No.:	1856		

Deadweight (DWT)	317356	Breadth, Moulded	60
Depth, Moulded	30.541	Length Overall (L.O.A)	333.17
Summer Load Line Draught, Moulded	22.523	Length Between Perpendiculars	319

Attained EEXI

The Ship is ICE Class:	No
The Ship is CSR:	No
The Ship is Enhanced:	No

P _{ME,1} (KW)	22005
Shaft gen. Output power	0

C _{FME,1}	3.114
SFC _{ME,1} (g/kWh)	172

P _{ME,2} (KW)	0
Shaft gen. Output power	0

C _{FME,2}	0
SFC _{ME,2} (g/kWh)	0

P _{ME,3} (KW)	0
Shaft gen. Output power	0

C _{FME,3}	0
SFC _{ME,3} (g/kWh)	0

P _{ME,4} (KW)	0
Shaft gen. Output power	0

C _{FME,4}	0
SFC _{ME,4} (g/kWh)	0

P _{AE} (KW)	983.5
----------------------	-------

C _{F_{AE}}	3.114
SFC _{AE} (g/kWh)	190.3

f	1
V _{ref}	15.55

Attained EEXI	2.506414725
---------------	-------------

Reference Line	2.518707001
----------------	-------------

Reduction Rate	15%
----------------	-----

Required EEXI	2.140900951
Percentage	17.07289514

Status	Not Comply
--------	------------

Remarks:

تحلیل عملکرد کشتی وارد شوند و ارتباط بین دو حوزه به طور کامل برقرار گردد.

۶. نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پیچک‌های میان‌مقیاس خلیج فارس بر شاخص بازده انرژی کشتی‌های موجود و شاخص شدت کربن در نفتکش‌ها انجام شد. نتایج مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها نشان داد که استفاده از مسیرهای پیچک‌ها به دلیل افزایش طول مسیر، موجب افزایش مصرف سوخت

سرعت نسبی کشتی در هر نقطه مسیر با ترکیب سرعت جریان و سرعت کشتی محاسبه گردید و سپس این مقادیر در مدل استاندارد ISO/DIS 15016 برای تعیین مقاومت هیدرودینامیکی، توان موتور و مصرف سوخت استفاده شد. به این ترتیب، تغییرات ناشی از پیچک‌ها مستقیماً در شاخص‌های CII و EEXI منعکس شده‌اند. این رویکرد باعث میشود نتایج اقیانوس شناسی به صورت کاربردی در

۷-۲. کاهش شاخص

- لجستیک و دیجیتال سازی: کاهش سرعت عملیاتی، انتخاب مسیرهای جایگزین، و استفاده از کشتی‌های با اندازه مناسب.
- هیدرودینامیک: بهینه‌سازی فرم بدنه، استفاده از رنگ‌های ضدخزه، ایجاد لایه مرزی هوا بین بدنه و آب، و تمیز نگه داشتن بدنه.
- ماشین‌آلات: بهبود راندمان موتور، بازیابی گرمای اتلاف، و استفاده از سیستم‌های هیبریدی باتری.
- سوخت و انرژی: جایگزینی سوخت‌های سنتی با سوخت‌های زیستی، متانول، آمونیاک، هیدروژن یا برق.
- اقدامات تکمیلی: جذب و ذخیره کربن

سپاسگزاری

با سپاس و تقدیر از مدیر محترم امور فنی و عملیات ناوگان شرکت ملی نفتکش ایران که مشوق من در مراحل مختلف کاری و این پروژه بوده و از هیچ کوششی در این زمینه دریغ ننمودند.

مراجع

- [1] Thoppil PG, Hogan PJ .A modeling study of circulation and eddies in the Persian Gulf . Journal of Physical oceanography .2010 Sep;40(9):2122-34.
- [2] Morvan M, L'Hégaret P, Carton X, Gula J, Vic C, de Marez C, Sokolovskiy M, Koshel K .The life cycle of submesoscale eddies generated by topographic interactions .Ocean Science .2019 Nov 22;15(6):1531-43.
- [3] Yao F .Water mass formation and circulation in the Persian Gulf and water exchange with the Indian Ocean .University of Miami; 2008 .
- [4] Pedersen BP, Larsen J .Modeling of ship propulsion performance .InWorld Maritime Technology Conference WMTTC2009 2009 Jan 21 .
- [5] Bazari Z .VI IM .Prevention of air pollution from ships [Internet] .2010
- [6] Hou Y, Jin FF, Gao S, Zhao J, Liu K, Qu T, Wang F .An "Eddy β -Spiral" mechanism for

حدود ۱۲-۸٪ و در نتیجه افزایش شاخص‌های آلاینده‌گی می‌شود. در مقابل، مسیرهای عمومی کشتی‌ها کوتاه‌تر بوده و از نظر انرژی و هزینه مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند.

با این حال، آگاهی از موقعیت و ویژگی پیچک‌ها اهمیت عملی دارد؛ زیرا در شرایط اضطراری مانند از دست دادن سامانه محرکه یا فرمان، می‌تواند به پیش‌بینی مسیر حرکت کشتی و کاهش خطرات کمک کند.

به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در خلیج فارس به دلیل تراکم ترافیک دریایی، محدودیت‌های حقوقی و فصلی بودن پیچک‌ها، مسیرهای عمومی همچنان گزینه برتر برای ناوبری هستند. یافته‌ها همچنین می‌توانند به بهبود مدل‌های منطقه‌ای و پشتیبانی از اهداف زیست‌محیطی سازمان بین‌المللی دریانوردی (کمک کنند).

۷. پیشنهادها

با توجه به نتایج این مطالعه و در راستای کاهش مصرف سوخت و بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی کشتی‌ها، اقدامات زیر پیشنهاد می‌شود:

۷-۱. بهبود شاخص

- محدودیت توان موتور برای کاهش مصرف سوخت در شرایط عملیاتی.
- بازطراحی پروانه و استفاده از پروانه‌های با راندمان بالاتر.
- نصب تجهیزات صرفه‌جویی در انرژی مانند باله‌های سرپوش پروانه
- استفاده از شفت ژنراتور برای کاهش مصرف انرژی کمکی.
- بهره‌گیری از بادبان‌های چرخشی به‌عنوان نیروی کمکی.
- افزایش ظرفیت حمل بار تا حدود ۱۰٪ برای بهبود کارایی انرژی.

- [17] Rocha CB, Simoes-Sousa IT .Compact mesoscale eddies in the South Brazil Bight . Remote Sensing .2022 Nov 16;14(22):5781 .
- [18] Cui W, Yang J, Jia Y, Zhang J .Oceanic eddy detection and analysis from satellite-derived SSH and SST fields in the Kuroshio Extension . Remote Sensing .2022 Nov 16;14(22):5776.
- [19] Zhu J, Zhang Y, Cheng X, Wang X, Sun Q, Du Y .Effect of mesoscale eddies on the transport of low-salinity water from the Bay of Bengal into the Arabian Sea during winter .Geoscience Letters .2022 Sep 17;9(1):37.
- [20] Shan X, Jing Z, Sun B, Wu L .Impacts of ocean current-atmosphere interactions on mesoscale eddy energetics in the Kuroshio extension region .Geoscience Letters .2020 Mar 20;7(1):3.
- [21] Teng F, Dong C, Ji J, Bethel BJ, Pan A, Xu C . Does the wind stress always damp an oceanic eddy? Geoscience Letters .2021 Dec 5;8(1):36 .
- [22] Talley LD, Pickard GL, Emery WJ, Swift JH . Introduction to descriptive physical oceanography .Descriptive physical oceanography .2011:1-6 .
- [23] Jones SR, Jeffs TM, Norris WW .Near-surface sea temperatures in coastal waters of the North Sea, English Channel and Irish Sea .Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food, Directorate of Fisheries Research; 1991.
- [24] Levitus S, Burgett R, Boyer TP .World Ocean Atlas 1994 .Vol .3, Salinity .
- [25] Al Saafani MA, Shenoi SS, Shankar D, Aparna M, Kurian J, Durand F, Vinayachandran PN . Westward movement of eddies into the Gulf of Aden from the Arabian Sea .Journal of Geophysical Research: Oceans .2007 Nov;112(C11) .
- [26] Banse K. Irregular flow of Persian Gulf water to the Arabian Sea. Oceanographic Literature Review. 1998;6(45):907.
- [27] Reynolds RM .Overview of physical oceanographic measurements taken during the Mt .Mitchell Cruise to the ROPME Sea Area . Brookhaven National Lab.(BNL), Upton, NY (United States); 1993 Mar 31 .
- [28] Terray P .An evaluation of climatological data in the Indian Ocean area .Journal of the Meteorological Society of Japan .Ser .II .1994 Jun 25;72(3):359-86.
- [29] Nitta T, Yamada S .Recent warming of tropical sea surface temperature and its vertical velocity dipole patterns of isolated oceanic mesoscale eddies .Frontiers in Marine Science .2022 Oct 21;9:1036783.
- [7] Pierre L, Hégaret P, Carton X, Stephanie Louaze S, and Boutin G .Mesoscale eddies and submesoscale structures of Persian Gulf Water off the Omani coast in spring 2011, 20 May 2016,
- [8] Lardner RW, Al-Rabeh AH, Gunay N, Hossain M, Reynolds RM, Lehr WJ .Computation of the residual flow in the Gulf using the Mt Mitchell data and the KFUPM/RI hydrodynamical models .Marine pollution bulletin .1993 Jan 1;27:61-70.
- [9] Hassanzadeh S .Interannual variability in the Ocean and Atmosphere in the 1980s and early 1990s [Doctoral dissertation]. University of Liverpool;1997.
- [10] Yang C, Yang H, Chen Z, Gan B, Liu Y, Wu L . Seasonal variability of eddy characteristics and energetics in the Kuroshio Extension .Ocean Dynamics .2023 Aug;73(8):531-44.
- [11] Li W, Liu Q, Fang W, Zu T, Chen H . Interannual variability of eddy kinetic energy in the South China Sea related to two types of winter circulation events .Journal of Oceanology and Limnology .2023 May;41(3):831-51 .
- [12] Kuroda H .History, current status, and future vision of particle-tracking simulation applied to marine biology, fisheries science, and ecological engineering around Japan .Fisheries Science .2023 Mar;89(2):129-46 .
- [13] Martínez-Moreno J, Hogg AM, England MH, Constantinou NC, Kiss AE, Morrison AK . Global changes in oceanic mesoscale currents over the satellite altimetry record .Nature Climate Change .2021 May;11(5):397-403 .
- [14] Von Appen WJ, Baumann TM, Janout M, Koldunov N, Lenn YD, Pickart RS, Scott RB, Wang Q .Eddies and the distribution of eddy kinetic energy in the Arctic Ocean . ceanography .2022 Dec 1;35(3/4):42-51 .
- [15] Li W, Liu Q, Fang W, Zu T, Chen H . Interannual variability of eddy kinetic energy in the South China Sea related to two types of winter circulation events .Journal of Oceanology and Limnology .2023 May;41(3):831-51 .
- [16] Jeon J, Tomita T .Investigating the effects of super typhoon HAGIBIS in the Northwest Pacific Ocean using multiple observational data .Remote Sensing .2022 Nov 9;14(22):5667 .

relationship to the Northern Hemisphere circulation .Journal of the Meteorological Society of Japan .Ser .II .1989;67(3):375-83.

پی‌نوشت‌ها

1. EEXI: Energy Efficiency Existing Ship Index
2. CII: Carbon Intensity Indicator
3. STS: Ship to Ship
4. SFOC: Specific Fuel Oil Consumption