

محاسبه بودجه گرمایی خلیج چابهار و پزم

عباس عینعلی^{۱*}، وحید چگینی^۲

۱- کارشناس فیزیک دریا، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، استان مازندران، نوشهر، پست الکترونیکی: abbasinaly@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، استان تهران، تهران، پست الکترونیکی: v_chegini@inio.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۳۰

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱

© نشریه علمی - پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۴، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

بودجه گرمایی از مهم‌ترین موضوعات در تحقیقات دریایی و اقیانوسی است. شار گرمایی از سطح دریا شامل چهار مؤلفه‌ی تابش خورشیدی، تشعشع فروسرخ، انتقال مستقیم گرما بین دریا و هوا و گرمای انتقال یافته به واسطه‌ی تبخیر است. پارامترهای هواشناسی و دمای سطح آب مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر بودجه گرمایی است که در این تحقیق با گردآوری این داده‌ها به محاسبه و بررسی بودجه گرمایی خلیج چابهار و خلیج پزم که از بنادر مهم در سواحل جنوب شرق ایران محسوب می‌شوند، پرداخته شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه، به ترتیب، میانگین سالانه تابش خورشیدی رسیده با طول موج کوتاه، شار تشعشع فروسرخ، شار گرمای نهان و شار گرمای محسوس در خلیج پزم $231/02$ ، $-62/48$ ، $-77/74$ و $-6/62 \text{ W.m}^{-2}$ و در خلیج چابهار 234 ، $-56/16$ ، $-62/43$ و $-4/98 \text{ W.m}^{-2}$ به دست آمد. در هر دو خلیج، شار تابش خورشیدی رسیده با طول موج کوتاه و شار گرمای محسوس به ترتیب بیشترین و کمترین سهم را در بودجه گرمایی دارند. میانگین سالانه شار گرمای خالص در خلیج پزم $+84/17 \text{ W.m}^{-2}$ و در خلیج چابهار $+111/07 \text{ W.m}^{-2}$ محاسبه شد. بنابراین معادل $84/17 \text{ W.m}^{-2}$ و $111/07 \text{ W.m}^{-2}$ شار انرژی به ترتیب از طریق تبادل آب بین خلیج پزم و خلیج چابهار با دریای عمان، از آن‌ها خارج می‌شود.

کلمات کلیدی: تابش خورشیدی، شار تشعشع فروسرخ، شار گرمای نهان، شار گرمای محسوس.

۱. مقدمه

بزرگ گرمایی عمل می‌کند، تعدیل می‌شود. تقریباً نیمی از نور خورشید که به زمین می‌رسد به وسیله‌ی اقیانوس‌ها و خشکی جذب و موقتاً در نزدیک سطح ذخیره می‌شود. تنها در حدود یک پنجم نور قابل دسترس خورشید به وسیله‌ی اتمسفر جذب می‌شود. بخش مهمی از گرمایی که در اقیانوس ذخیره شده است، به وسیله‌ی تبخیر و تشعشع فروسرخ در اتمسفر آزاد خواهد شد و مابقی این گرما به

اقیانوس‌ها تقریباً ۷۰ درصد سطح زمین را می‌پوشانند. به دلیل ظرفیت گرمایی بالای آب در مقایسه با هوا و خاک، کسر بزرگی از گرمای ذخیره شده در زمین، در اقیانوس‌ها جای گرفته است. هر تغییر آب و هوایی بر روی زمین، توسط اقیانوس‌ها که به عنوان مخزن

کردند. شار تابش موج کوتاه جذب شده توسط آب خلیج چابهار در اردیبهشت ماه ۱۳۸۴ و آذرماه همان سال به ترتیب به بیشترین و کمترین حد خود رسید. این تحقیق نشان داد که زاویه تابش خورشید که یکی از عوامل مهم مؤثر در بودجه گرمایی است، در چابهار زیاد است و حتی در برخی ماه‌های سال نزدیک به ۹۰ درجه می‌باشد، به طوری که میانگین زاویه تابش سالیانه خورشید در این منطقه ۶۵/۲۲ درجه است (مروتی، ۱۳۸۷). Ahmad و Sultan (۱۹۹۹) میانگین سالانه شار گرمایی در خلیج فارس و انتقال گرمای خالص از تنگه هرمز را به دست آوردند. آنها اطلاعات هواشناسی و دمای سطح آب را از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۴ بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در این دوره شار گرمایی محسوس در تابستان منفی و در زمستان مثبت است و میانگین سالانه آن ۱- وات بر متر مربع است. شار گرمایی نهان در تابستان بیشتر و در زمستان کمتر است و میانگین سالانه آن ۱۶۸- وات بر متر مربع است. در این دوره میانگین سالانه تابش طول موج کوتاه و طول موج بلند به ترتیب، ۲۱۲ و ۶۶- وات بر متر مربع است که موجب کسری ۲۱ وات بر متر مربع در مرز میان هوا- دریا می‌شود. انتقال گرمای خالص به داخل خلیج فارس از تنگه هرمز ۲۵ وات بر متر مربع است. آنها همچنین در سال‌های ۱۹۸۷ و ۱۹۸۹ شار گرمایی نهان دریای سرخ را به ترتیب 169 w/m^2 به دست آوردند (Ahmad, 1990). Hastenrath و Lamb (۱۹۷۹) از طریق اطلس اقلیم شناسی اقیانوس هند، نمودارهایی برای شار گرمایی خلیج فارس ارائه دادند. در این نمودارها میانگین‌های سالانه تابش موج کوتاه، تشعشع امواج بلند و شار گرمایی نهان به ترتیب ۲۳۰، ۷۵ و 110 w/m^2 برآورد شده است (Chen, 2008). Bunker و Goldsmith (۱۹۷۹) شار گرمایی نهان برای دریای سرخ را مقداری معادل 183 w/m^2 برآورد کردند و Bunker و همکاران (۱۹۸۲)، برآورد فوق را برای توازن گرمایی در دریای سرخ تایید نمودند (Ahmad, 1990). هدف از انجام این تحقیق بررسی مؤلفه‌های بودجه گرمایی دو خلیج چابهار و پزم طی یک سال و مقایسه‌ی آنها با یکدیگر است.

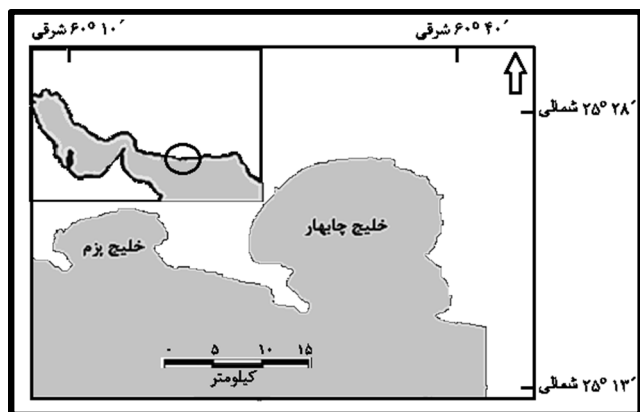
۲. کلیات و روش‌ها

۲-۱. منطقه‌ی مطالعه

خلیج چابهار با مساحتی در حدود ۳۲۰ کیلومتر مربع در قسمت شمال شرقی دریای عمان در استان سیستان و بلوچستان

وسيله‌ی جریان‌ها به نواحی دیگر، به خصوص عرض‌های میانی منتقل می‌شود. گرمای آزاد شده به وسیله‌ی اقیانوس‌ها در مناطق حاره، منبع اصلی گرمای مورد نیاز برای چرخش اتمسفری است. به همین دلیل برای فهم اقلیم زمین و تغییرات آن، بررسی بودجه گرمایی در اقیانوس‌ها بسیار مهم است (Hastenrath, 1979). دریای عمان همانند یک تنگه بین دریای عرب و خلیج فارس قرار دارد و در واقع منطقه‌ای انتقالی بین خور و دریای عمیق است به طوری که تبادل آب بین خلیج فارس و غرب دریای عرب بر ساختار توده‌های آب دریای عمان تاثیرگذار است (Reynolds, 1993). به طور کلی بادهای موسمی، آب شیرین وارد شده به دریای عمان از سواحل شمالی، توده‌ی آب عمیق خارج شونده از سمت سواحل جنوبی تنگه هرمز و جریان سطحی وارد شونده از تنگه هرمز به خلیج فارس از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر ساختار فیزیکی توده‌های آبی دریای عمان است (Piontkovski, 2014). بادهای موسمی شبه قاره-ی هند، خلیج چابهار و خلیج پزم که در شمال دریای عمان واقع شده‌اند را به خنک‌ترین بندر جنوبی در تابستان و گرم‌ترین نقطه‌ی کشور در زمستان تبدیل کرده است. این دو خلیج، هم‌عرض جغرافیایی با بندر میامی در شبه جزیره‌ی فلوریدای آمریکا و شرایط آب و هوایی آنها نیز دقیقاً مشابه با بندر میامی است. بوم‌سامانه‌های حاشیه‌ای این دو خلیج عمدتاً شامل سواحل شنی، ماسه‌ای، سنگی - صخره‌ای و همچنین پرتگاه‌های ساحلی است. این منطقه با توجه به ویژگی‌های خاص بوم‌شناختی و زیست‌محیطی، از مناطق حساس و آسیب‌پذیر ساحلی و دریایی تشکیل شده است که در بعضی از موارد منحصراً به فرد و بی‌نظیر هستند. از آن جمله می‌توان به آبنگ‌های مرجانی، صخره‌ها و پرتگاه‌های ساحلی اشاره کرد. همچنین این منطقه به لحاظ برخورداری از یک بوم‌سامانه‌ی مناسب، همه ساله با آغاز فصل سرما پناهگاهی مناسب برای پرندگان مهاجر است (سنجانی، ۱۳۸۷). مطالعات زیادی در ارتباط با برآورد بودجه گرمایی در منطقه مورد مطالعه انجام نشده و عموماً بیشتر کارهای انجام شده در ارتباط با برآورد شارهای گرمایی، در دریای سرخ و مناطقی که دارای شرایط جغرافیایی مشابه هستند، صورت گرفته است. مروتی و همکاران (۱۳۸۷) بودجه گرمایی خلیج چابهار را از دی‌ماه ۱۳۸۳ به مدت یک سال با استفاده از داده‌های مورد نیاز که از مراکز مختلف از جمله سازمان هواشناسی کشور و پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی تهیه شده بود بررسی کردند. در این تحقیق از جدیدترین روابط ارائه شده برای محاسبه بودجه گرمایی استفاده کرده و شار گرمایی خالص این خلیج را در این دوره $47/49 \text{ w/m}^2$ برآورد

که هر جسم سیاه در دمای T ، انرژی تابشی برابر R خواهد داشت که از رابطه $(R = \sigma T^4)$ به دست می‌آید. در این رابطه σ ، ثابت استفان - بولتزمن بوده و مقدار آن برابر با $5.67 \times 10^{-8} \text{ watts/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$ است.



شکل ۱: موقعیت قرارگیری خلیج‌های پزم و چابهار نسبت به یکدیگر و نسبت به آب‌های آزاد

همچنین براساس قانون وین، هر جسم بیشترین بخش از انرژی تابشی خود را در طول موجی که با دمای جسم رابطه‌ی عکس $(\lambda_{\text{max}} T = \gamma w)$ دارد، از خود گسیل می‌کند. در اینجا γw ، ثابت وین و برابر است با $2897 \mu\text{m}^\circ\text{K}$ و λ_{max} طول موج بیشینه تابش است. بنابراین قانون، اجسام گرمتر، در طول موج‌های کوتاه‌تر تابش می‌کنند (Ahmad, 1990).

مجموع شارش گرما به داخل و خارج اقیانوس باید صفر باشد، در غیراین صورت اقیانوس یا کامل یخ بسته یا بخار می‌شد. مجموع شار گرمایی ورودی و خروجی از یک حجم آب را بودجه‌ی گرمایی می‌نامند. جمله‌های اصلی این بودجه در سطح اقیانوس به صورت زیر است:

(۱) تابش خورشیدی رسیده Q_{sw} : شارش نور خورشید به داخل داخل دریا

(۲) تشعشع فروسرخ Q_{lw} : تشعشع فروسرخ از سطح دریا

(۳) شار گرمایی محسوس Q_{s} : شارش گرما به داخل یا خارج دریا به وسیله‌ی رسانش

(۴) شار گرمایی نهان Q_{i} (شار گرمایی تبخیری): شارش گرما و انتقال آن به وسیله‌ی بخار آب

¹ Insolation

² Net Long Wave Radiation

³ Sensible Heat Flux

واقع شده است. عمق متوسط آن ۶ متر و حداکثر عمق معادل ۲۲ متر در دهانه ورودی خلیج اندازه‌گیری شده است (کميجانی، ۱۳۹۰). طول دهانه‌ی ورودی خلیج در حدود ۱۴ کیلومتر، بیشترین عرض و طول خلیج به ترتیب برابر با ۱۷ و ۲۱ کیلومتر است. دو شهرستان چابهار و کنارک نیز در منتهی‌الیه شرقی و غربی خلیج واقع شده‌اند. خلیج چابهار به دلیل موقعیت خاص بوم‌شناختی در آب‌های سیستان و بلوچستان به لحاظ صیدگاه عمده‌ی لابستر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین به لحاظ راهبردی بودن خلیج چابهار، ادراکات و صنایع متفاوتی مانند اداره بنادر و دریانوردی استان (دارای دو اسکله‌ی شهید بهشتی و شهید کلانتری با قابلیت پهلوگیری کشتی‌های نفتکش و کانتینربر)، اسکله‌های صیادی هفت تیر، تیس و کنارک، اسکله نظامی نیروی دریایی سپاه، مجتمع کشتی‌سازی صدرا و کارخانه آب‌شیرین‌کن کنارک در حاشیه ساحلی آن مستقر شده است (سنجانی، ۱۳۷۸).

خلیج پزم در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری غرب خلیج چابهار در انتهای پادگان کنارک بزرگترین پایگاه هوایی خاورمیانه با ۱۸ کیلومتر طول واقع شده است. اگرچه شکل، موقعیت و پیکربندی خلیج پزم به طور کلی شبیه خلیج چابهار است، اما اندازه آن نصف خلیج چابهار است. بیشترین طول خلیج پزم ۱۲/۵ کیلومتر و فاصله‌ی آخرین نقطه ساحل آن از آب‌های آزاد دریای عمان حدود ۵ کیلومتر است. پادگان کنارک در شرق و پادگان گوردیم در غرب این خلیج واقع شده است. عمق آن کمتر از عمق خلیج چابهار است، به طوری که عمق دهانه ورودی آن حدود ۱۱ متر و عمق متوسط آن ۵ متر است. خلیج پزم با مساحت ۶۷،۷۸ کیلومترمربع کوچکترین خلیج استان است. دهانه‌ی ورودی این خلیج ۱۱،۵۴ کیلومتر و نوار ساحلی آن ۲۶،۵۶ کیلومتر است (آزرم‌سا، ۱۳۸۹). در شکل ۱ موقعیت قرارگیری خلیج چابهار و خلیج پزم نسبت به آب‌های آزاد و یکدیگر مشخص است.

۲-۲. بودجه‌ی گرمایی اقیانوسی

هر جسم که دمای آن بالاتر از صفر مطلق (0°K) باشد، از خود انرژی الکترومغناطیسی تابش می‌کند. این انرژی تابش شده که به صورت امواج الکترومغناطیسی در فضا منتشر می‌شود، با توان چهارم دمای جسم بر حسب کلویین متناسب است. این وابستگی که قانون استفان - بولتزمن نامیده می‌شود، بیان می‌کند

۵) شار فرارفت Q_{adv} : گرمای انتقال داده شده به وسیله جریان‌ها، فرافت قائم و اغتشاش لازمه‌ی پایستگی گرما از رابطه ۱ زیر حاصل می‌شود:

$$Q = Q_{sw} + Q_{lw} + Q_s + Q_r + Q_{adv} \quad (1)$$

که در آن Q مجموع گرمای گرفته شده یا از دست رفته است. مجموع چهار جمله‌ی اول در معادله‌ی بالا را شار گرمایی خالص سطحی (Q_{net}) به داخل یا خارج اقیانوس می‌گویند، به عبارت دیگر:

$$Q_{net} = Q_{rad} + Q_{lw} + Q_{se} + Q_{la} \quad (2)$$

واحد شارهای گرمایی $watts/m^2$ است. در بودجه گرمایی اقیانوس‌ها جمله‌های فرعی دیگری از جمله ۱- گرمای دریافت شده از طریق فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی انجام شده در اقیانوس‌ها، ۲- گرمای دریافت شده از طریق فعالیت‌های درونی زمین، ۳- گرمای دریافت شده از طریق اصطکاک جریان‌ات اقیانوسی و ۴- گرمای دریافت شده از طریق تشعشعات رادیواکتیویته در اقیانوس‌ها وجود دارد که به دلیل ناچیز بودن سهم آنها در بودجه گرمایی اقیانوسی، در بیشتر مطالعات از اعمال آنها چشم‌پوشی می‌شود. باید توجه داشت که اگر در طی یک فرآیند گرما وارد اقیانوس شود ما مقدار آن را مثبت و در صورت خروج گرما از سطح اقیانوس، مقدار آن را در محاسبات منفی در نظر می‌گیریم (Hastenrath, 1979). در ادامه به توضیح هر کدام از عواملی که بر شارگرمایی سطحی تاثیر دارند می‌پردازیم.

۳-۲. تابش خورشیدی رسیده

بزرگ‌ترین جمله شار گرمایی سطحی اقیانوس که همیشه مقدار آن مثبت بوده، تابش خورشیدی رسیده است. کل تابش خورشیدی در بالای اتمسفر، به سطح زمین و اقیانوس‌ها نمی‌رسد. اگر کل تابش خورشیدی رسیده در بالای اتمسفر برابر ۱۰۰% باشد، تنها ۶۵% آن در سطح زمین قابل دسترسی است و ۳۵% آن عمدتاً به دلیل جذب و بازتابش در جو و انعکاس از سطح زمین و ابرها به فضای بیرون از زمین برمی‌گردد. تابش

خورشیدی رسیده به سطح زمین، براساس عرض جغرافیایی، فصل، طول روز و ابرناکی متغیر است. از عوامل مؤثر بر تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین می‌توان به ارتفاع خورشید از سطح افق، طول روز، مساحت ناحیه‌ای از سطح زمین که نور خورشید را جذب می‌کند (که به ارتفاع خورشید از سطح افق بستگی دارد)، تضعیف (که به میزان ابرناکی، طول مسیر عبور نور از جو زمین، مولکول‌های موجود در جو زمین و ذرات معلق در فضا بستگی دارد) و بازتابش از سطح دریا اشاره کرد. محدوده تغییرات میانگین سالانه تابش خورشیدی رسیده در حدود $30w/m^2 < Q_{rad} < 260w/m^2$ است (Hastenrath, 1979). تابش موج کوتاه رسیده به سطح زمین (دریا) از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$Q_{sw} = (1 - \alpha)Q_c(1 - 0.62C + 0.0019\theta_N) \quad (3)$$

که در اینجا α سپیدایی، Q_c ثابت خورشیدی ($1365 w/m^2 \leq Q_c \leq 1372 w/m^2$)، C میانگین ماهانه‌ی کسر پوشش ابر و θ_N زاویه (بر حسب درجه) ارتفاع خورشید در هنگام ظهر است (Ahmad, 1990).

۴-۲. تشعشع فروسرخ

طبق قانون استفان-بولتزمن، هر جسم، از جمله آب سطح دریاها نیز به‌علت دمای خود انرژی الکترومغناطیسی تشعشع می‌کنند. طبق قانون وین سطح آب دریاها با دمایی در حدود $290^\circ K$ (بسیار پایینتر از دمای خورشید) در محدوده‌ی طول موج‌های بلند تشعشع می‌کند. به‌علت این‌که تغییرات روزانه یا فصلی دمای سطحی اقیانوس‌ها نسبت به میانگین آن در مقیاس کلوین، بسیار کوچک است، بنابراین تاثیر اندکی در تشعشع فروسرخ انرژی دارد. شارش فرو سرخ به عواملی مانند ضخامت ابر (هرچه ضخامت ابر بیشتر باشد گرمای کمتری به فضا خواهد گریخت)، ارتفاع ابر، محتوای بخار آب جو (از جو مرطوب‌تر گرمای کمتری به فضا منتشر می‌شود)، دمای آب و پوشش برف و یخ بستگی دارد. محدوده تغییرات میانگین سالانه شارش فروسرخ در محدوده‌ی $-60w/m^2 < Q_{lw} < -30w/m^2$ است. چون در جمله تشعشع فروسرخ، گرما به‌صورت امواج با طول موج بلند از سطح اقیانوس خارج می‌شود، بنابراین شار گرمایی تنها از نوع خروجی بوده و مقدار آن همواره منفی است

¹ Latent Heat Flux

² Advection

³ Net heat flux

$$q_a = RH q_{sat}(T_a)$$

$$q_s = 0.98 q_{sat}(T_s)$$

$$q_{sat}(T) = \frac{0.622 e_s(T)}{P_a - 0.378 e_s(T)}$$

$$e_s(T) = 6.1112(1 + 3.46 \times 10^{-6} P_a) \exp\left(\frac{17.50}{(240.97 + T)}\right)$$

در اینجا q_a رطوبت ویژه هوا در ۱۰ متری بالای سطح دریا (kg) هوا / (kg) بخار آب، q_s رطوبت ویژه هوا در سطح دریا (جرم بخار آب به ازای واحد جرم هوا)، L_e گرمای نهان تبخیر ($2.5 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$)، Cl ضریب انتقال گرمای نهان، P_a فشار جو در سطح دریا (mb)، R_{gas} ثابت گاز ($287.1 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)، RH رطوبت نسبی (/) و e_s فشار بخار اشباع (mb) است.

ضریب انتقال گرمای نهان (CL) بر حسب سرعت باد و اختلاف دمای هوا- دریا محاسبه می‌شود که فرمول آن به صورت زیر است:

$$C_L = C_{L0} + C_{L1}(T_s - T_a) \quad (۶)$$

$$C_{L0} = 10^{-3} [0.994 + 0.061 V_a - 0.001 (V_a)^2]$$

$$C_{L1} = 10^{-3} [-0.020 + 0.691 \left(\frac{1}{V_a}\right) - 0.817 \left(\frac{1}{V_a}\right)^2]$$

$$V_a = \max[3.0, \min(27.5, V_a)]$$

V_a سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین است (Emery, 2005).

۲-۶. شار گرمایی محسوس

شار گرمایی محسوس تحت تاثیر سرعت باد و اختلاف دمای هوا- دریا است. انتقال گرما از دریا به جو بسیار آسان‌تر از انتقال گرما در جهت عکس آن است زیرا گرمای ورودی به جو از پایین (دریا)، عامل ناپایداری (کاهش چگالی در سطح زمین) است، که باعث همرفت اتمسفری و انتقال سریع گرما می‌شود، در حالی که گرمای وارد شده به اقیانوس از بالا (اتمسفر)، پایداری را افزایش داده (کاهش چگالی در سطح) و این موضوع مانع نفوذ بیشتر گرما به لایه‌های پایینی می‌شود. محدوده تغییرات میانگین سالانه شار گرمایی محسوس در محدوده $-2 \text{ W/m}^2 < Q_{se} < 42 \text{ W/m}^2$

(Hastenrath, 1979). شار تشعشع موج بلند از سطح دریا به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{lw} = \epsilon \sigma_{SB} T_s^4 T_a^4 (0.39 - 0.05 e^{0/5}) (1 - K C^2) + 4 \epsilon \sigma_{SB} T_s^3 (T_s - T_a) \quad (۴)$$

در اینجا ϵ ضریب زبری سطح آب دریا (0.98)، σ_{SB} ثابت استفان بولتزمن ($5.68 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)، e فشار بخار آب، C کسر پوشش ابر، K ضریب پوشش ابر (به‌طور خطی از 0.5 در استوا تا 1 در قطب بر اساس عرض جغرافیایی تغییر می‌کند)، T_a دمای هوا در ارتفاع 10 متری از سطح دریا (کلوین) و T_s دمای آب (کلوین) سطح دریا است (Ahmad, 1990).

۲-۵. شار گرمایی نهان

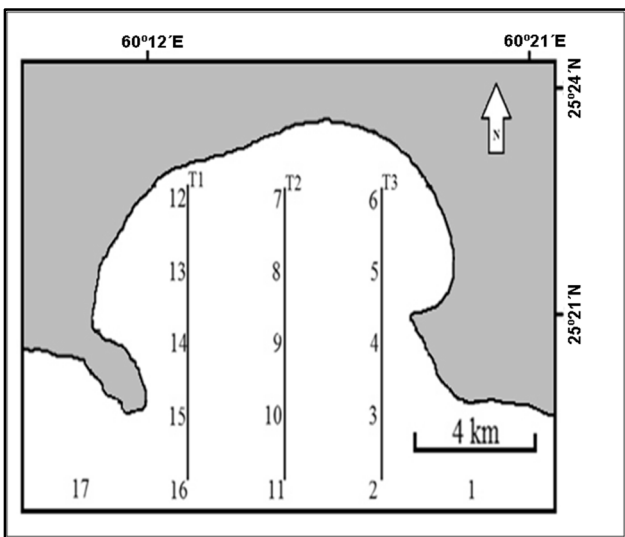
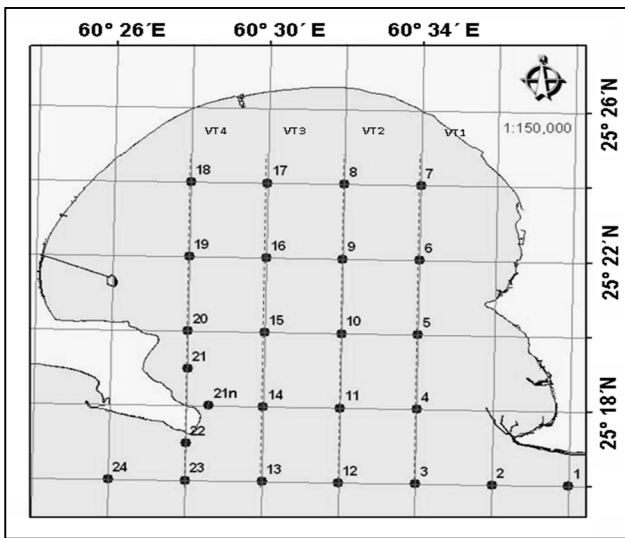
۵۱ درصد از گرمای وارد شده به اقیانوس باعث تبخیر آب از سطح آن‌ها می‌شود. علاوه بر سهم مهمی که تبخیر در بودجه اقیانوسی دارد، همچنین در بودجه‌ی جرمی اقیانوس نیز نقش مهمی را ایفا می‌کند. هوای گرم، رطوبت بیشتری نسبت به هوای سرد در خود نگه می‌دارد. تبخیر زمانی اتفاق می‌افتد که هوا از رطوبت اشباع نشده باشد. شرایط معمول آن است که هوا از رطوبت اشباع نشده باشد و تبخیر رخ دهد، بنابراین معمولاً جهت انتقال گرما از دریا به هوا است. میعان هنگامی رخ می‌دهد که هوای اشباع از رطوبت بر روی آب سرد قرار گیرد. بیشتر انرژی که هنگام میعان آزاد می‌گردد، وارد اتمسفر می‌شود. بنابراین سهم میعان در بودجه گرمایی اقیانوسی بسیار اندک است. شار گرمایی نهان اصولاً متأثر از سرعت باد و رطوبت نسبی است.

چون در جمله شار گرمایی نهان، گرما هم به صورت تبخیر می‌تواند از سطح اقیانوس خارج و یا هنگام میعان گرما به داخل اقیانوس وارد شود، بنابراین شار گرمایی نهان می‌تواند به هر دو صورت ورودی یا خروجی به‌وقوع بپیوندد. محدوده‌ی تغییرات میانگین سالانه شار گرمایی نهان در محدوده‌ی $-130 \text{ W/m}^2 < Q_{la} < 10 \text{ W/m}^2$ است (Hastenrath, 1979). شار گرمای نهان در سطح دریا از رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_l = \rho C_l L_E U_{10} (q_a - q_s) \quad (۵)$$

$$\rho = \frac{100 P_a}{[R_{gas}(T_a + 273.16)]}$$

مراحل نمونه‌برداری در خلیج چابهار و پزم در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲: نقشه‌ی جانمایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در خلیج چابهار (راست) و خلیج پزم (چپ)

جدول ۱: تاریخ مراحل نمونه‌برداری‌ها در خلیج چابهار و خلیج پزم

مراحل نمونه‌برداری	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
خلیج چابهار	۳۱ مرداد ۱۳۹۱	۳۱ تیر ۱۳۹۱	۱۶ خرداد ۱۳۹۱	۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۱	۲۱ اسفند ۱۳۹۰	۱۱ بهمن ۱۳۹۰	۱۴ دی ۱۳۹۰	۱ آذر ۱۳۹۰	۴ آبان ۱۳۹۰
خلیج پزم	۳ شهریور ۱۳۹۱	۲۱ مرداد ۱۳۹۱	۱ خرداد ۱۳۹۱	۲۱ فروردین ۱۳۹۱	۸ اسفند ۱۳۹۰	۶ بهمن ۱۳۹۰	۴ آذر ۱۳۹۰	۱۵ آبان ۱۳۹۰	۱۵ مهر ۱۳۹۰

است (Hastenrath, 1979). شار گرمای محسوس در سطح دریا به صورت رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌شود:

$$Q_s = \rho C_s C_p U_{10} (T_a - T_s) \quad (7)$$

در اینجا ρ چگالی هوا (kg.m^{-3})، C_p ظرفیت گرمایی ویژه هوا ($1004.5 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)، C_s ضریب انتقال گرمای محسوس و U_{10} سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین است. ضریب انتقال گرمای محسوس (C_s) بر حسب سرعت باد و اختلاف دمای هوا-دریا محاسبه می‌شود که چون اختلاف آن با ضریب انتقال گرمای نهان ناچیز است به صورت ($C_s = 0.96 \times C_L$) به دست می‌آید (Emery, 2005).

۲-۷. جمع‌آوری اطلاعات

دو طرح پژوهشی با عنوان "مطالعه روند تغییرات فصلی پارامترهای فیزیکی آب خلیج چابهار" و "بررسی روند تغییرات فصلی پارامترهای فیزیکی خلیج پزم" از اواخر تابستان ۹۰ تا اواسط تابستان ۹۱ در پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی انجام شد. داده‌های دمای سطحی آب^۱ مورد استفاده برای این مطالعه در خلیج چابهار و خلیج پزم، از نتایج این دو طرح حاصل شده است.

اندازه‌گیری دمای آب خلیج چابهار طی ۹ دوره، از شهریورماه ۱۳۹۰ تا مردادماه ۱۳۹۱ انجام شد. برای انجام این اندازه‌گیری، تعداد ۲۵ ایستگاه ثابت در محدوده خلیج چابهار انتخاب گردید که تعداد ۷ ایستگاه خارج از خلیج به عنوان شاهد و ۱۸ ایستگاه دیگر داخل خلیج بر روی ۴ ترانسکت عمود بر ساحل با فواصل ۲ دقیقه‌ای در یک شبکه منظم انتخاب شدند.

اندازه‌گیری دمای آب خلیج پزم طی ۹ دوره نمونه‌برداری، از مهرماه ۱۳۹۰ تا شهریورماه ۱۳۹۱ انجام شد. برای انجام این پژوهش، تعداد ۱۷ ایستگاه ثابت در محدوده‌ی خلیج پزم انتخاب گردید که تعداد ۵ ایستگاه خارج از خلیج به عنوان شاهد و ۱۲ ایستگاه دیگر داخل خلیج بر روی ۳ ترانسکت جنوبی-شمالی در یک شبکه منظم انتخاب شدند. جانمایی ایستگاه‌های انتخاب شده در هر دو خلیج در شکل ۲ نشان داده شده است. تاریخ

^۱ SST (Sea Surface Temperature)

۳. نتایج

۳-۱. نتایج به‌دست آمده برای خلیج چابهار

میانگین سالانه تابش خورشیدی رسیده به سطح آب خلیج 234 w/m^2 است، که در اردیبهشت‌ماه با مقدار $287/69 \text{ w/m}^2$ به بیشینه و در دی و بهمن‌ماه با مقدار $180/76 \text{ w/m}^2$ به کمینه خود می‌رسد. میانگین سالانه تشعشع فروسرخ از سطح آب $56/16 \text{ w/m}^2$ است، که مقدار بیشینه آن در آذرماه معادل $80/51 \text{ w/m}^2$ و مقدار کمینه آن در تیرماه برابر با $25/59 \text{ w/m}^2$ است. میانگین سالانه شار گرمای نهان $62/43 \text{ w/m}^2$ است، که در دی‌ماه با مقدار $130/03 \text{ w/m}^2$ به بیشینه و در خردادماه با مقدار $18/96 \text{ w/m}^2$ به کمینه خود می‌رسد. میانگین سالانه شار گرمای محسوس برابر با $4/98 \text{ w/m}^2$ است، که بیشترین شار گرمای محسوس خارج شده از سطح آب خلیج در آذرماه با مقدار $15/44 \text{ w/m}^2$ و بیشترین شار گرمای محسوس وارد شده به سطح آب خلیج در تیرماه با مقدار $2/23 \text{ w/m}^2$ محاسبه شد. میانگین سالانه شار گرمای خالص در سطح خلیج چابهار $111/07 \text{ w/m}^2$ است، که در خردادماه با مقدار $237/67 \text{ w/m}^2$ به بیشینه و در دی‌ماه با مقدار $32/54 \text{ w/m}^2$ به کمینه خود می‌رسد.

۳-۲. نتایج به‌دست آمده برای خلیج پزم

میانگین سالانه تابش خورشیدی رسیده به سطح آب خلیج پزم $231/02 \text{ w/m}^2$ است، که در خردادماه با مقدار $287/69 \text{ w/m}^2$ به بیشینه و در بهمن‌ماه با مقدار $180/76 \text{ w/m}^2$ به کمینه خود می‌رسد. میانگین سالانه تشعشع فروسرخ از سطح آب $62/48 \text{ w/m}^2$ است، که مقدار بیشینه آن در بهمن‌ماه معادل $100/95 \text{ w/m}^2$ و مقدار کمینه آن نیز در فروردین‌ماه برابر با $19/73 \text{ w/m}^2$ است. میانگین سالانه شار گرمای نهان $77/74 \text{ w/m}^2$ است، که در بهمن‌ماه با مقدار $156/84 \text{ w/m}^2$ به بیشینه و در شهریورماه با مقدار $50/18 \text{ w/m}^2$ به کمینه خود می‌رسد. میانگین سالانه شار گرمای محسوس $6/62 \text{ w/m}^2$ است، که بیشترین شار گرمای محسوس خارج شده از سطح آب خلیج در تیرماه با مقدار $15/44 \text{ w/m}^2$ و بیشترین شار گرمای محسوس وارد شده به سطح آب خلیج در فروردین‌ماه با مقدار $7/74 \text{ w/m}^2$

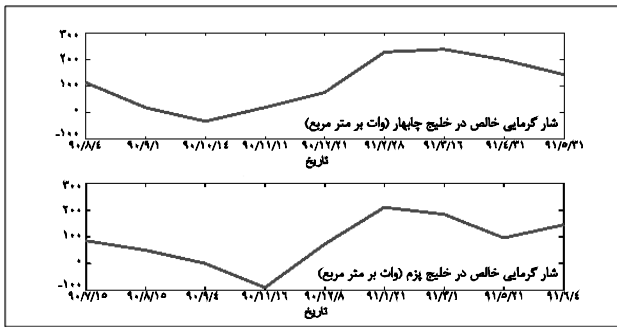
نمونه‌برداری پارامترهای فیزیکی آب در هر دو خلیج، از سطح تا بستر دریا به وسیله‌ی دستگاه نمونه‌بردار CTD (مدل OceanSeven316 ساخت شرکت Idronaut کشور ایتالیا) انجام شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به وسیله‌ی این دستگاه عبارتند از: دما، شوری، چگالی، هدایت الکتریکی، سرعت صوت، کدورت، اکسیژن محلول، اسیدیته (pH) و کلروفیل a. دستگاه CTD به نحوی تنظیم شد که دمای آب در هر ثانیه یک بار اندازه‌گیری شود. بنابراین با ننگه داشتن سنسور دستگاه در لایه‌ای از سطح آب تا عمق ۳۰ سانتی‌متری، چندین داده از دمای این لایه از آب در هر ایستگاه به‌دست آمد که با میانگین‌گیری از این داده‌ها دمای آب سطحی هر ایستگاه حاصل شد. سپس با میانگین‌گیری از داده‌های دمای سطحی کل ایستگاه‌ها عددی به عنوان میانگین دمای سطح خلیج به‌دست آمد که در محاسبات مورد استفاده قرار گرفت. عملیات میدانی برای اندازه‌گیری دمای آب در هر مرحله، در نصف روز انجام می‌شد. آنجا که الگوی جزر و مدی در این منطقه نیم روزانه است، تعدادی از ایستگاه‌ها در حالت جزر و تعدادی در حالت مد اندازه‌گیری شدند و بنابراین از تاثیر جزر و مد بر دمای آب چشم‌پوشی شده است. مشخصات سنسور دمای دستگاه CTD در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مشخصات سنسور دمای دستگاه CTD

Parameter	Range	Accuracy	Resolution	Time Constant
Temperature	-3...+50 °C	0.003 °C	0.0005 °C	50 ms

پارامترهای هواشناسی در روزی که عملیات میدانی انجام می‌شد در ایستگاه هواشناسی چابهار به‌صورت ساعتی ثبت شد و میانگین این داده‌ها (در زمان اندازه‌گیری میدانی) برای محاسبه‌ی بودجه گرمایی هر مرحله مورد استفاده قرار گرفت. ایستگاه هواشناسی چابهار در ضلع شرقی خلیج چابهار قرار دارد و فاصله‌ی آن تا خلیج پزم در حدود ۱۰ کیلومتر است. موقعیت قرارگیری این ایستگاه در شکل ۱ مشخص است.

در این مطالعه تشعشع فروسرخ، شار گرمایی نهان و شار گرمایی محسوس، به‌ترتیب از روابط ۴ تا ۶ محاسبه شده است. اما تابش خورشیدی رسیده از رابطه‌ی $Q_s = \chi(1 - 0.09c)$ محاسبه شد که در اینجا χ تابش خورشیدی رسیده در آسمان کاملاً صاف بر حسب (w/m^2) و C پوشش ابر بر حسب (%) از پایگاه اینترنتی ناسا (<https://eosweb.larc.nasa.gov>) به‌دست آمد.



شکل ۶: روند تغییرات شار گرمایی خالص در خلیج چابهار (بالا) و خلیج پزم (پایین)

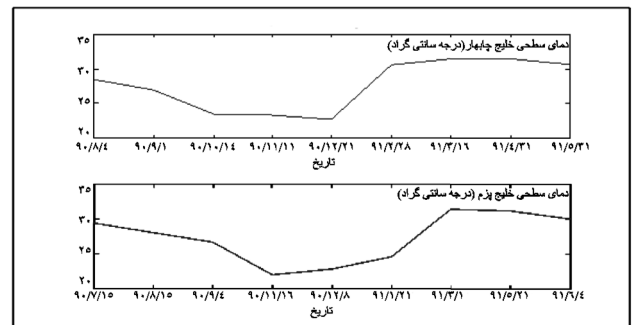
۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها و محاسبات انجام شده نشان می‌دهند که شار تابش خورشیدی رسیده و گرمای محسوس به ترتیب بیشترین و کمترین نسبت از شار گرمای کل را دارند. برای خلیج‌های چابهار و پزم بیشینه تابش خورشیدی رسیده به ترتیب در اواخر اردیبهشت و خردادماه (که زاویه ارتفاع خورشید نسبت به افق نزدیک به قائم و طول روز به حد نهایی خود نزدیک است) و کمینه‌ی آن نیز برای چابهار در دی و بهمن‌ماه و برای پزم در بهمن‌ماه (که زاویه ارتفاع خورشید نسبت به افق و طول مدت روز به کمینه‌ی حد خود نزدیک می‌شود) به دست آمد. از آنجا که در طی یک سال تغییرات دمای آب سطحی این دو خلیج در مقیاس کلونین، نسبت به میانگین سالانه آن اندک است، بنابراین دمای آب مؤثرترین پارامتر تأثیرگذار بر شار تشعشع فروسرخ از سطح دریا نیست. تأثیر پوشش ابر و میزان بخار آب موجود در جو نیز حائز اهمیت است. به همین دلیل بیشترین شار تشعشع فروسرخ خلیج پزم در بهمن‌ماه که دمای سطحی آب کمینه است و بیشترین شار تشعشع فروسرخ خلیج چابهار در آذرماه که دمای سطحی آب خلیج به کمترین حد خود نزدیک می‌شود، به دست آمد. کمینه و بیشینه شار گرمای نهان منطبق با کمینه و بیشینه رطوبت نسبی است.

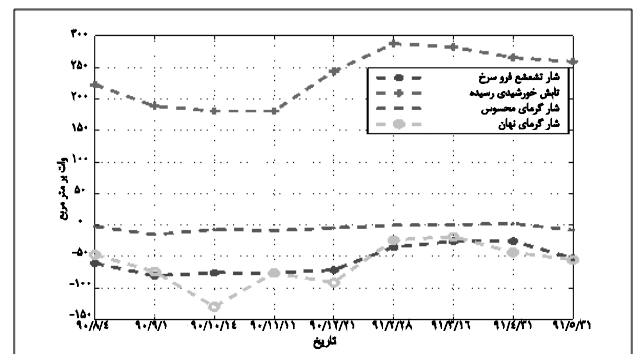
در خلیج پزم و در طی دوره‌ی اندازه‌گیری مربوط به آن، به جز در فروردین‌ماه، دمای سطح آب از دمای هوای بیشتر بود و در نتیجه شار گرمای محسوس در طی این دوره، به جز در فروردین‌ماه از هوا به دریا است. این درحالی است که در خلیج چابهار و در طی دوره‌ی اندازه‌گیری مربوط به آن، شار گرمای محسوس در خرداد و تیرماه از هوا به دریا (به مقدار بسیار اندک) است و در

۱۵/۵۸ + به دست آمد. میانگین سالانه شار گرمای خالص در سطح خلیج پزم $84/17 \text{ w/m}^2$ است، که در فروردین‌ماه با مقدار $211/23$ + به بیشینه و در بهمن‌ماه با مقدار $89/96$ - به کمینه خود می‌رسد.

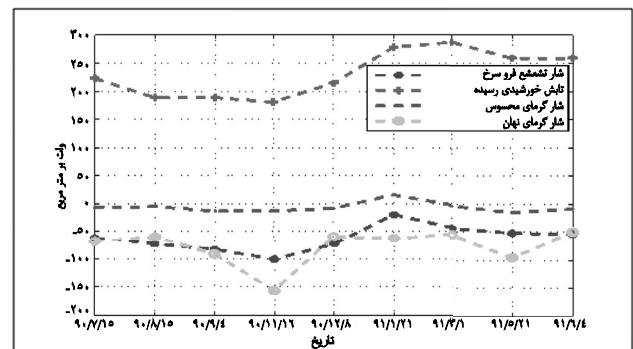
روند تغییرات دمای سطحی آب در شکل ۳ و هر یک از جمله‌های شار گرمایی به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است. در شکل ۶ روند تغییرات شار گرمایی خالص در خلیج ارائه شده است.



شکل ۳: روند تغییرات دمای سطحی آب در خلیج چابهار (بالا) و خلیج پزم (پایین)



شکل ۴: روند تغییرات هر یک از جمله‌های شار گرمایی (w/m^2) در خلیج چابهار



شکل ۵: روند تغییرات هر یک از جمله‌های شار گرمایی در خلیج پزم

سنجانی، م. س.؛ چگینی، و.، ۱۳۸۷. گزارش "مطالعه روند تغییرات فصلی پارامترهای فیزیکی آب خلیج چابهار (مرحله دوم: ۱۳۸۷)". پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی. تهران.

کمیجانی، ف.؛ چگینی، و.، ۱۳۹۱. تحلیل فضایی و میدانی کمیت‌های فیزیکی آب خلیج چابهار در مونسون زمستانه سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵. نشریه اقیانوس‌شناسی، دوره ۳، شماره ۹، صفحات ۶۹-۷۷.

مروتی، ح.؛ داداش‌پور، ج.؛ مهرفر، ح.، ۱۳۸۷. محاسبه بودجه گرمایی در حوضه خلیج چابهار. هشتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی. سازمان بنادر و کشتیرانی تهران. ۸ صفحه.

Ahmad, F.; Sultan, S.A.R., 1999. Annual mean surface heat fluxes in the Persian Gulf and the net heat transport through the Strait of Hormoz. *Atmosphere-Ocean*, 29(1): 54-61.

Chen, C.; Cowles, G.; Goodman, L., 2008. General physical oceanography. School for marine science and technology university of Massachusetts-Dartmouth. <http://www.umassd.edu/smast>.

Emery, J.W.; Talley, L.D.; Pickard, G.L., 2005. Descriptive physical oceanography. Elsevier.

Hastenrath, S.; Lamb, P.J., 1979. Climatic atlas of the Indian ocean. University of Wisconsin Press, Madison, USA.

Piontkovski, S.A.; Chiffings, T., 2014. Long-term changes of temperature in the sea of Oman and the western Arabian Sea. *International Journal of Oceans and Oceanography*, 8(1): 53-72.

Reynolds, R.M., 1993. Physical oceanography of the Persian Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman, Results from the Mt Mitchell Expedition. *Marine Pollution Bulletin*, 27: 32-60.

Stewart, R.H., 2005. The oceanic heat budget. the University of California, Texas A & M University, 344 p.

بقیه سال از دریا به هوا است. شار تابش خورشیدی رسیده، بیشترین سهم را در بودجه گرمایی هر دو خلیج دارد و به‌همین دلیل بیشینه و کمینه‌ی شار گرمایی خالص منطبق با شار تابش خورشیدی رسیده است. برای محاسبه شار گرمای فرارفت، فرمول دقیق و عملیاتی ارائه نشده است. به‌همین دلیل امکان محاسبه این شار گرمایی وجود ندارد. اما بر اساس نتایج به‌دست آمده در این مطالعه علامت این شار در هر دو خلیج پزم و چابهار منفی است، یعنی شار گرمای فرارفت باید از این دو خلیج خارج گردد. در یک منطقه محدود نمی‌توان از مقدار این شار چشم‌پوشی کرد. با توجه به اینکه موازنه گرمایی در این خلیج برقرار است، یعنی $(Q_{adv} = -Q_{net})$. بنابراین نتیجه می‌گیریم که شار گرمای فرارفت در خلیج پزم از مهرماه ۱۳۹۰ تا شهریورماه ۱۳۹۱ برابر با $(-۸۴/۱۷ \text{ w/m}^2)$ و شار گرمای فرارفت در خلیج چابهار از آبان‌ماه ۱۳۹۰ تا اوایل شهریورماه ۱۳۹۱ برابر با $(-۱۱۱/۰۷)$ است. شار گرمای فرارفت در خلیج چابهار بیشتر از خلیج پزم است، یعنی تبادل آب بین خلیج چابهار و دریای آزاد بیشتر از تبادل آب بین خلیج پزم و دریای آزاد است، به‌همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که چرخش آب در خلیج پزم از چرخش آب در خلیج عمیق‌تر و بزرگ‌تر چابهار کمتر است. خلیج پزم نسبت به خلیج چابهار کم حجم‌تر است. این موضوع سبب می‌شود که ظرفیت گرمایی خلیج پزم نسبت به خلیج چابهار کمتر باشد. به‌همین علت تغییرات دمای سطحی آب خلیج پزم و به دنبال آن تغییرات شار گرمای محسوس خلیج در طی سال، نسبت به خلیج چابهار بیشتر است.

۵. سیاست‌گذاری

این پژوهش با استفاده از امکانات و تجهیزات پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی انجام شده است که بدین وسیله از زحمات همه مسئولین و کارکنان این پژوهشگاه تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

منابع

آزرم‌سا، ع.؛ رزمخواه، ف.، ۱۳۸۹. پیش‌بینی موقعیت و نحوه تغییرات خط ساحلی در خلیج پُرم تا سال ۲۰۱۰. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۴، صفحات ۸۹-۹۸.