

بررسی تعادل انرژی گرمایی در خلیج فارس

سید محمد رضا رئیس السادات*^۱

Reza_reis@yahoo.com

سید حمیدرضا رئیس السادات^۲

تاریخ پذیرش: ۸۷/۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۱۵

چکیده

کشور ایران از طریق خلیج فارس و دریای عمان و دریای خزر با اقیانوس های آزاد جهان و سایر کشورها ارتباط دارد و بنابراین باید دانش و عملکرد علمی و عملی خود از دریاها را به سرعت افزایش دهد .

بحث تعادل انرژی گرمایی و چگونگی توزیع انرژی گرمایی همواره یکی از موارد مطالعه فیزیکی دریاها و اقیانوس ها می باشد. بررسی تعادل انرژی گرمایی در خلیج فارس از اهمیت زیادی برخوردار است . با دانستن چگونگی توزیع و تبدیل گرما در خلیج فارس پیش بینی های دقیقی از لحاظ هواشناسی، شیلات و تعیین محل زندگی آبزیان می شود و اطلاعات دقیقی در مورد رفتار دریا از لحاظ توزیع گرما و انرژی و موارد بسیار دیگر به دست می آید .

به طور کلی جمع تمام شارهای حرارتی وارد شده به اقیانوس و خارج شده از آن باید صفر باشد. در غیر این صورت اقیانوس ها به معنای کل آن یا یخ می زنند و یا داغ خواهند شد. در این مقاله هدف این است که این تعادل گرمایی را در خلیج فارس مورد بررسی قرار دهیم. با توجه به آن که میزان بارندگی و آب های ورودی در خلیج فارس در حدود 90 cm/a و میزان تبخیر حدود 213 cm/a می باشد پس میزان تبخیر $25-20 \text{ cm/a}$ در سال از بارش در خلیج فارس بیشتر است .

با توجه به آن که حجم آب های ورودی و خروجی در خلیج فارس برابر $10^6 \times 186$ و $10^6 \times 169$ متر مکعب بر ثانیه است، انتقال خالص گرما به خلیج فارس برابر ۲۵ وات بر متر مربع برآورد شده است . در این مطالعه کوشش شده است این میزان گرمای اضافه وارد شده به خلیج فارس توسط جمله های شار گرمای سطح توجیه شود. در این بررسی میانگین سالانه تشعشع امواج کوتاه مشاهده شده در سطح خلیج فارس حدوداً برابر ۲۴۵ و شار گرمای سطح ۴- و شار گرمای نهان ۱۷۹ و تشعشع خالص امواج بلند ۹۲ وات بر متر مربع محاسبه شده است بنابراین کمبودی برابر ۲۲ وات بر متر مربع وجود دارد که با گرمای اضافه وارد شده به خلیج فارس موافقت خوبی دارد.

واژه های کلیدی: تبخیر، گرمای نهان، تعادل انرژی گرمایی، شار گرمای سطح، خلیج فارس.

۱- استادیار گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، فارس، ایران* (مسئول مکاتبات).

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، گروه فیزیک، واحد شهرضا، اصفهان، ایران.

مقدمه

کارهای علمی بیشتر در این زمینه بر روی دریای سرخ صورت گرفته است. Bunker (۱۹۷۹) میزان شار گرمای نهان دریای سرخ را ۱۸۳ وات بر متر مربع و Sultan (۱۹۸۹) این مقدار را برای دریای سرخ ۱۶۵ وات بر متر مربع بر آورد کرده است. Naoki (۱۹۹۹) با استفاده از روابط موجود، انرژی گرمایی دریای ژاپن را محاسبه کرد (۴).

هدف از این تحقیق بررسی تعادل گرمای ورودی و خروجی از خلیج فارس می باشد، برای این منظور تمام ترم های ورودی و خروجی گرما در خلیج فارس محاسبه شده و با هم مقایسه شده اند.

روش بررسی جملات شارهای منابع گرمایی در خلیج فارس

دمای آب خلیج فارس از محلی به محل دیگر و از زمانی به زمان دیگر فرق می کند که این تفاوت ها از علائم انتقال حرارت توسط جریان ها، جذب انرژی خورشیدی، تبخیر و ... می باشد. شار گرما در لایه های عمیق تر خیلی کم تر از شار از طریق سطح می باشد. برای دسته بندی این انتقال حرارت از علائم زیر استفاده می کنیم.

Q_s : شار گرمایی با طول موج کوتاه، این شار میزان ورودی انرژی خورشیداست که از طریق سطح دریا دریافت می شود.

Q_b : شار گرمایی خالص با طول موج بلند این شار میزان خالص از دست دادن گرما توسط سطح خلیج است که به هنگام ساطع شدن امواج بلند بین سطح خلیج و اتمسفر و فضا مبادله می شود.

Q_h : شار گرمایی به خارج از دریا توسط رسانایی، که به علت اختلاف دما بین سطح خلیج و اتمسفر مبادله می شود.

Q_e : شار گرمایی که به صورت تبخیر آب خلیج از دست می دهد.

Q_v : شار گرمای گرفته شده یا از دست داده توسط محیط آبی، که معمولاً به طور افقی است.

Q_T : شار خالص گرما که به سطح خلیج اضافه یا از آن کاسته می شود و واحد آن وات بر متر مربع می باشد. البته منابع

خلیج فارس از طریق تنگه هرمز به عرض تقریبی ۶۰ کیلومتر به دریای عمان و اقیانوس هند مربوط می شود.

آب و هوای خلیج فارس خشک است و در خلیج فارس تبخیر بیشتر از بارش می باشد، انتقال خالص گرما به خلیج فارس برابر ۲۵ وات بر متر مربع برآورد شده است (۱). جریان آب ورودی دریای عمان از سطح با درجه حرارت متوسط ۲۴/۵ درجه سانتی گراد و شوری ۳۷/۱ جز در هزار وارد خلیج فارس می شود در صورتی که جریان خروجی آب خلیج فارس با درجه حرارت ۱۹/۵ درجه سانتی گراد و شوری ۴۰/۲ جز در هزار از کف به سمت خارج خلیج فارس می باشد (۲).

در زمستان در قسمت شمال خلیج فارس اغلب اختلاط عمودی اتفاق می افتد. در تابستان درجه حرارت سطحی خلیج فارس بیشتر از زمستان می باشد، اما به دلیل آن که آب با بیشینه شوری و چگالی به سمت عمق می رود در لایه های پائین تر خصوصیات مشابهی در تابستان و زمستان مشاهده می شود.

امروزه تحقیقات زیادی در زمینه انرژی گرمایی انجام یافته و برای اکثر اقیانوس ها و دریاها جهان محاسبه شده است. در مورد انرژی گرمایی در خلیج فارس کارهای زیادی صورت نگرفته اما بر اساس مطالعات Privekt (۱۹۵۹) و Hassans (۱۹۸۶) میزان تبخیر در خلیج فارس به ترتیب 144 cm/a و 202 cm/a تخمین زده شده است و در اطلس هواشناسی اقیانوس هند Lamb (۱۹۷۹) جدول های شار گرمایی سطح را داده است و بر اساس این جدول میانگین سالانه تشعشع امواج کوتاه 2300 و تشعشع خالص امواج بلند 75 و شار گرمای نهان 110 وات بر متر مربع برای خلیج فارس مشخص شده است. Kara (۱۹۹۹) به مقایسه محاسبه شارهای گرمایی و تنش باد از طریق روابط ریاضی و استفاده از مدل های جوی، اقیانوسی با به کارگیری بویه ها و ماهواره ها پرداخته که بیانگر دقت فرمول ها برای محاسبه انرژی گرمایی می باشد (۳).

بدین معنی است که میزان جبری اعداد طرف چپ معادله (۱) صفر است. به عبارت دیگر ورودی خالص گرما با خروجی خالص آن برابر شده است.

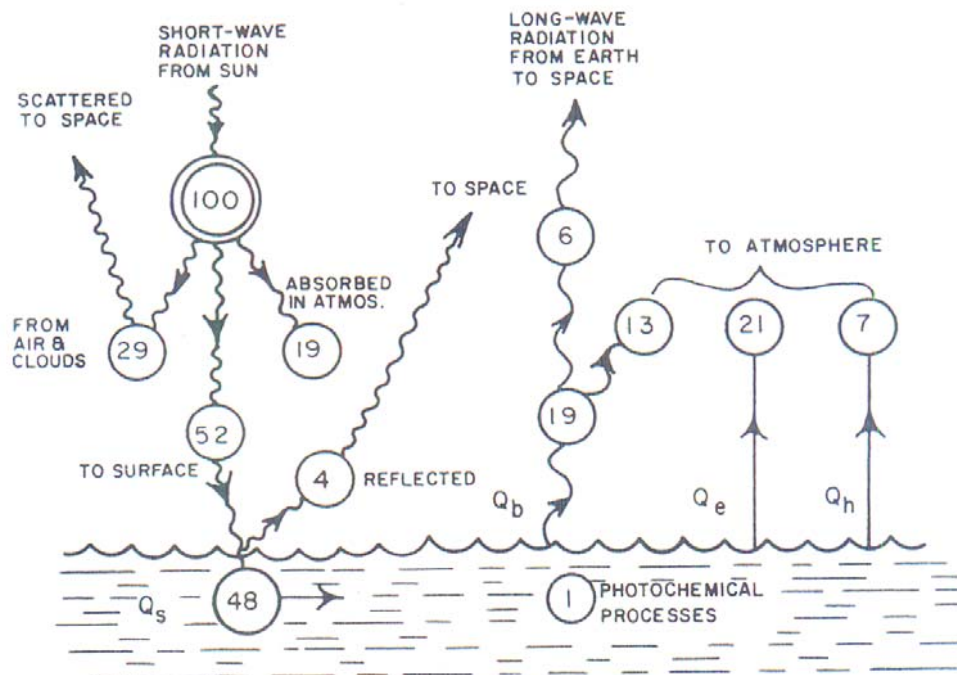
در اقیانوس های جهان میانگین سالانه Q_s ، Q_b ، Q_e و Q_h به ترتیب برابر ۱۵۰ و ۵۰ و ۹۰ و ۱۰ W/m^2 می باشد و میانگین سالانه Q_v به علت آن که گرما از طریق همرفت در داخل آب جابه جا می شود ولی در داخل آب این گرما باقی می ماند و تبدالی با بیرون ندارد برابر صفر می باشد. در شکل ۱ انرژی تابش شده از خورشید به اتمسفر و سطح دریا و میزان تبدیل شدن آن به جملات مختلف معادله گرمایی مشخص شده است (۵).

دیگری مانند گرمای درونی خود زمین، تغییر انرژی حرکتی، واکنش های شیمیایی یا هسته ای و ... نیز وجود دارد که در مقابل ترم های معرفی شده در بالا کوچک بوده و قابل صرف نظر کردن می باشد.

معادله ای را که می توان برای تعادل گرمایی این جمله ها به کار برد به شکل زیر می باشد:

$$Q_s + Q_b + Q_h + Q_e + Q_v = Q_T \quad (1)$$

فرمول (۱) کل شار گرمای به دست آمده یا از دست رفته می باشد. به طوری که مقادیر مثبت این پارامتر به معنای گرفتن انرژی گرمایی و مقادیر منفی به معنای از دست دادن انرژی گرمایی توسط آب خلیج فارس می باشد. در صورتی که دمای آب در یک محدوده زمانی تغییر نکند بدان معنی نیست که جابه جایی گرمایی در آن آب وجود ندارد، بلکه



شکل ۱- انرژی تابش شده از خورشید و میزان تبدیل آن به ترم های مختلف معادله گرمایی

- جمله شار تابش موج کوتاه (Q_s) -
میزان ورودی انرژی خورشید از طریق سطح خلیج تحت تاثیر پارامترهای مختلفی است که در زیر شرح داده می شود.
پارامتر اول ابر و اتمسفر است که انرژی خورشید را جذب می کنند و سبب می شوند انرژی کم تری به سطح دریا

بنابر این می توانیم تعادل گرمایی خالص در سطح جدایی هوا- دریا را در کل اقیانوس ها از رابطه زیر به دست آوریم.

$$Q_T = Q_s - Q_b - Q_e - Q_h \quad (2)$$

در ادامه بحث شرح مختصری در مورد هر یک از جملات معادله منبع گرمایی آورده می شود.

پارامتر بعدی موثر در Q_s زاویه میل خورشید است به طوری که هر چه به سمت عرض جغرافیایی بالاتر می رویم انرژی دریافت شده توسط سطح اقیانوس ها کاهش می یابد. این پارامتر تحت تاثیر عوامل زیر است .

۱- ارتفاع خورشید بالای افق که بستگی به عرض جغرافیایی و فصل دارد.

۲- طول روز که بستگی به عرض جغرافیایی و فصل دارد .

۳- سطح مقطعی که خورشید به آن می تابد که بستگی به ارتفاع خورشید از افق دارد.

پارامتر دیگر اثر تغییر فصول است که سبب تغییر طول روز می شود به طوری که هر چه طول روز بلند تر باشد مدت زمانی که خورشید بالای سطح افق قرار می گیرد بیشتر است و بنابر این انرژی جذب شده توسط اقیانوس افزایش می یابد .

پارامتر بعدی میزان انعکاس نور از سطح دریا است که این فاکتور به نوسانات سطح دریا و تغییرات زاویه انحراف خورشید بستگی دارد .

یک رابطه تجربی برای انعکاس به شکل معادله زیر است .

$$Q_r = 0.15 Q'_s - (0.01 Q'_s)^2 \quad (5)$$

به طور مثال در جدول (۱) نسبت زاویه تابش با مقدار بازتابیده شده و مقدار جذب شده مشخص شده است (۷) .

برسد . خود این پارامتر تحت تاثیر عوامل مختلفی به شرح زیر است.

۱. ابرها که باعث جذب و پخش تشعشع می گردند .

۲. طول مسیر اتمسفر که بستگی به زاویه خورشید با سطح افق دارد .

۳. مولکول های گاز مانند O_2 ، O_3 ، H_2O که در بعضی از لایه های آسمان تشعشع را جذب می کنند.

۴. غبار و بقیه عوامل در جو که تشعشع را پراکنده می کنند .

۵. انعکاس سطح که بستگی به ارتفاع خورشید و میزان صافی سطح دریا دارد .

میزان این تاثیر توسط رابطه زیر مشخص می شود (۶) .

$$Q'_s = Q_{s0} (1 - 0.0012 C^3) \quad (3)$$

در این فرمول Q'_s میزان انرژی تابشی رسیده به سطح دریا و Q_{s0} تابش ورودی خورشید که در آسمان و سهم پوشش ابر است. به طوری که اگر آسمان کاملاً ابری باشد $C=8$ و اگر آسمان نیمه ابری باشد $C=4$ و اگر هوا کاملاً صاف باشد $C=0$ است.

بنابر این در هوای کاملاً ابری می توان نوشت :

$$Q'_s = Q_{s0} (1 - 0.0012 * 8^3) = 0.39 Q_{s0} \quad (4)$$

و اگر هوا کاملاً صاف باشد $Q'_s = Q_{s0}$ می باشد .

جدول ۱- نسبت زاویه تابش با مقدار بازتابیده شده

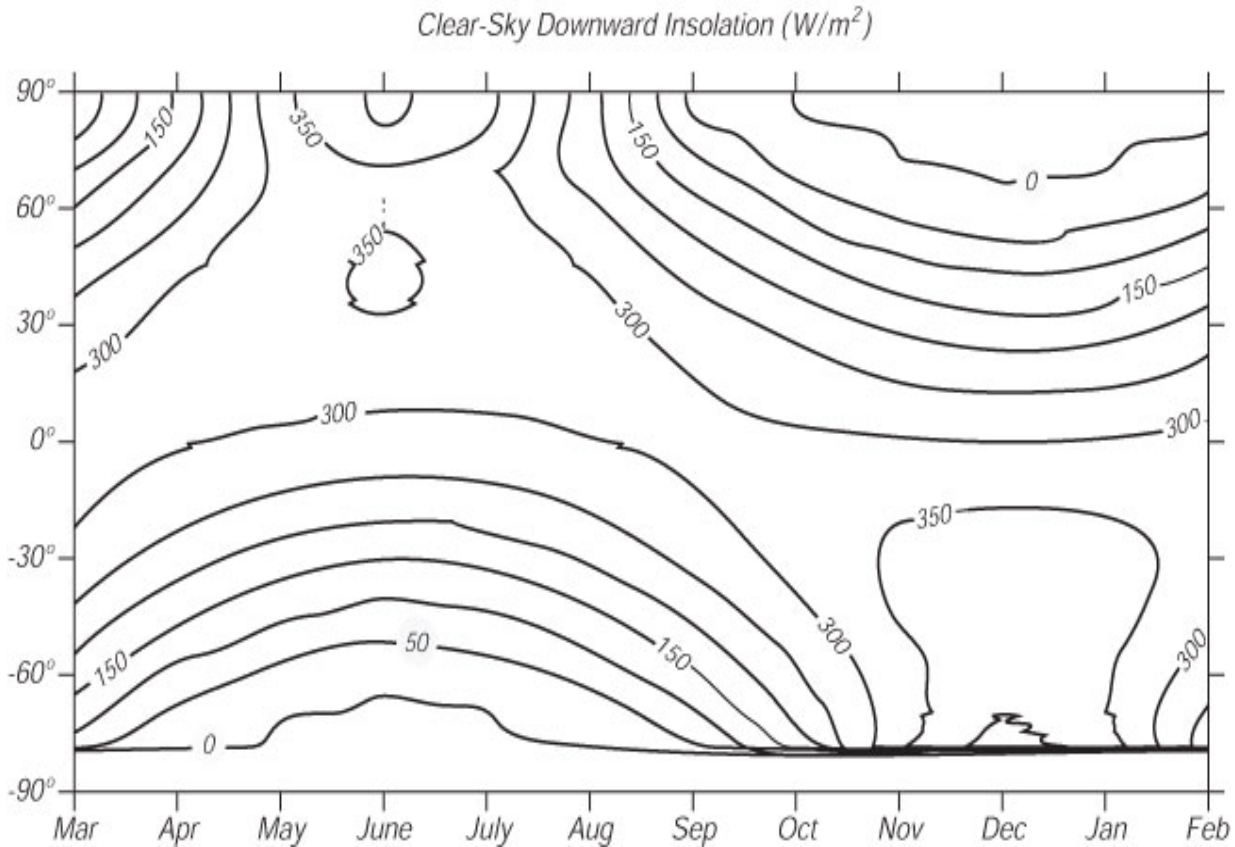
زاویه خورشید	۵°	۱۰°	۲۰°	۳۰°	۶۰°	۹۰°
مقدار بازتابیده شده	۴۰	۳۵	۱۲	۶	۳	۲
مقدار جذب شده	۶۰	۶۵	۸۸	۹۴	۹۷	۹۸

در آسمان صاف این مقدار نسبتاً بیش از حد می شود و برای آن که به مقدار واقعی نزدیک شود آن را در ضریب ۰/۷ که آن را ضریب هدایت اتمسفر در آسمان صاف می نامیم ضرب می کنیم (۴). شکل ۲ مقادیر مختلف تابش انرژی امواج کوتاه در غیاب ابرها به سطح اقیانوس ها را نشان می دهد .

با استفاده از معادله (۳) و معادله (۵) می توان میزان تابش امواج کوتاه وارد شده به درون آب از طریق خورشید را از رابطه زیر به دست آورد (Levastu ۱۹۶۳).

فرمول (۶)

$$Q_s = Q'_s - Q_r = 0.85 Q'_s - 10^{-4} Q'_s \text{ W/m}^2$$



شکل ۲ - بررسی میانگین روزانه تابش انرژی امواج کوتاه به سطح اقیانوس ها در غیاب ابرها

- شار خالص تابش موج بلند (Q_b)

تمام اجسامی که درجه حرارتی بیش از صفر مطلق دارند، از خودشان انرژی گرمایی تابش می کنند که این انرژی گرمایی را می توان از رابطه استفان بولتزمن با استفاده از فرمول زیر مشخص کرد (۸).

$$Q = \epsilon \sigma T^4 \quad \text{فرمول (۷)}$$

در این رابطه σ ثابت بولتزمن که برابر $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/M}^2\text{K}^4$ و T درجه حرارت مطلق جسم و Q آهنگ تابش گرما است. ϵ ثابت گسیلندگی جسم است که همواره بین صفر و یک می باشد و به صافی و ناصافی سطح جسم و رنگ آن بستگی دارد. برای جسم سیاه که جذب کننده و گسیلنده کامل تابش است این مقدار برابر یک می باشد.

Q_b کل مقدار انرژی از دست رفته از دریا به عنوان تشعشع بلند که مقدار آن تفاوت بین انرژی تشعشع شده به سمت خارج از سطح دریا و انرژی دریافت شده توسط دریا می باشد.

انگستروم (۱۹۲۰) نشان داد که نرخ از دست رفتن این انرژی هم به دمای مطلق سطح دریا و هم به محتویات بخار آب اتمسفر بستگی دارد. انگستروم ارزش های مختلف Q_b را به شکل جداول و نمودارهای مختلف ارائه داده است.

مقدار Q_b توسط رابطه لیواتسو با استفاده از فرمول ۸ نیز قابل محاسبه می باشد.

فرمول (۸)

$$Q_b = (143 - 0.9 t_w - 0.46 e_a) (1 - 0.1 c) \quad \text{W/m}^2$$

در این رابطه C سهم پوشش ابر، e_a رطوبت نسبی بخار در بالای سطح دریا و t_w درجه حرارت آب برحسب درجه سانتی گراد می باشد.

میزان تشعشع امواج بلند به طور خالص از رابطه Budyko (۱۹۷۴) نیز با استفاده از فرمول ۹ قابل محاسبه می باشد.

فرمول (۹)

$$Q_b = \delta \delta T_w^4 (0.254 - 0.005e_a) + 4 \delta \delta T_w^3 (T_w - T_a)$$

در این رابطه درجه حرارت هوا و $\delta = 0.95$ می باشد. T_a در صورتی که میزان پوشش ابر را نیز در رابطه بالا در نظر بگیریم داریم (۷).

$$Q_b = 5.4 \cdot 10^{-3} [T_w^4 (0.254 - 0.0005 e_a) (1 - 0.6c) + 4 T_w^3 (T_w - T_a)] \quad \text{فرمول (۱۰)}$$

- (Q_e شار گرمای تبخیر)

جمله تبخیر یکی از مهم ترین ترم های گرمایی در خلیج فارس می باشد. اما تعیین مستقیم آن کار ساده ای نمی باشد. برای آن که تبخیر رخ دهد نیاز به فراهم آوردن انرژی گرمایی از یک منبع خارجی وجود دارد. و یا این انرژی گرمایی توسط گرفتن گرما از بقیه مایع فراهم می شود که این روش در اقیانوس معمول تر می باشد.

می دانیم که تبخیر باعث از دست رفتن انرژی گرمایی می شود. برای تبخیر یک گرم آب مقدار تقریبی 2200 جرم لازم است که این میزان تا حدودی با دما و شوری تغییر می کند.

Budyko تخمین می زند که اقیانوس ها هر ساله معادل $1/2$ متر از آبشان را از طریق تبخیر از دست می دهند که حدوداً برابر گرمای 100 وات بر متر مربع است.

برای اندازه گیری تبخیر فرمول های زیادی در نظر گرفته شده است. یکی از فرمول هایی که برای اندازه گیری تبخیر استفاده می شود به شکل زیر است.

$$Q_e = F_e \times L_t \quad \text{فرمول (۱۱)}$$

در این رابطه F_e میزان تبخیر آب بر حسب کیلوگرم بر ثانیه در متر مربع سطح دریا می باشد و L_t گرمای نهان تبخیر است که از رابطه زیر به دست می آید.

$$L_t = (2494 - 2/2t) \text{KJ/Kg} \quad \text{فرمول (۱۲)}$$

$$e_s = 0.98 e_d \quad \text{فرمول (۱۵)}$$

در این رابطه t دمای آب بر حسب درجه سانتی گراد می باشد. برای محاسبه F_e می توان یک طرف آب را روی عرشه کشتی قرار داد و با محاسبه تفاوت جرم آب موجود در آن در زمان های مختلف F_e را محاسبه کرد. اما این روش دارای خطای زیادی می باشد چون اولاً فشار بخار آب در ارتفاعی که عرشه کشتی قرار دارد از سطح دریا کم تر است و ثانیاً وزش باد بر روی سطح دریا می تواند متفاوت از وزش باد روی عرشه کشتی باشد. همچنین از فرمول نیمه تجربی زیر نیز می توان استفاده کرد.

$$F_e = 1/4 (e_s - e_a) w \quad \text{فرمول (۱۳)}$$

در این رابطه e_s فشار بخار اشباع روی سطح دریا و e_a فشار بخار در ارتفاع ده متری از سطح آب در هوا و w سرعت باد در ارتفاع ده متری بالای سطح آب می باشد.

اگر روابط (۱۲) و (۱۳) را با یکدیگر ترکیب کنیم به رابطه (۱۴) خواهیم رسید.

فرمول (۱۴)

$$Q_e = F_e \times L_t = 1/4 (e_s - e_a) w (2494 - 2/2t) \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

در این رابطه e_s فشار بخار آب اشباع بالای سطح دریا e_a فشار بخار آب واقعی در ارتفاع 10 بالای سطح آب بر حسب کیلو پاسکال و w سرعت باد در ارتفاع 10 متر بالای سطح آب می باشد.

مقدار e_a بالای سطح آب دریا مقداری کمتر از اندازه آن بالای سطح آب مقطر یعنی e_d می باشد. مقدار e_d در جداول مربوط به هواشناسی موجود است مثلاً برای شوری 35 داریم:

برای محاسبه Q_e از فرمول **Smith** (۱۹۸۸) نیز استفاده می شود (۹).

$$Q_e = LC_E \rho_a (e_s - e_a) w \quad \text{فرمول (۱۶)}$$

از صفر تا مثبت و منفی ۴ درجه سانتی گراد باشد، با یکدیگر برابرند. برای شرایط خلیج فارس می توان این ضرایب را برابر $C_T = C_E = 1/3 \times 10^{-3}$ در نظر گرفت.

Smith نمودارها و جداولی را برای C_T به عنوان تابعی از درجه حرارت و سرعت باد ارائه داده است که نمونه ای از آن در جدول (۲) نشان داده شده است (۱۰).

برای محاسبه Q_h از فرمول Wyrski (۱۹۶۵) مطابق زیر نیز استفاده می شود.

$$Q_h = -1/88 W(T_w - T_a) W/m^2 \quad (18)$$

جدول ۲- معرفی بعضی از مقادیر C_T بر حسب تابعی از

درجه حرارت و سرعت باد

۲	۵	۱۰	۲۰	$(T_w - T_a)k$	W
		۰/۷۵	۰/۹۶	-۱۰	
	۰/۶۲	۰/۹۳	۰/۹۹	-۳	
۰/۳۴	۰/۸۷	۰/۹۸	۱/۰۰	-۱	
۱/۳۰	۱/۱۰	۱/۰۲	۱/۰۰	+۱	
۱/۵۰	۱/۱۹	۱/۰۶	۱/۰۱	+۳	
۱/۸۷	۱/۳۵	۱/۰۱۳	۱/۰۳	+۱۰	

نتایج

همچنین در این جدول نتیجه محاسبات مربوط به تشعشع خورشید مشاهده شده، شار گرمای محسوس محاسبه شده، شار گرمای نهان محاسبه شده، شار تشعشع امواج بلند محاسبه شده و شار گرمای خالص در سطح جدایی هوا- دریا در جدول آورده شده است.

داده های اقیانوس شناسی و هوا شناسی برای مدت ۱۵ سال در خلیج فارس میانگین گیری شده و برای درجه حرارت هوا، درجه حرارت سطح، رطوبت نسبی، سرعت باد و داده های مربوط به ابر در جدول ۳ آورده شده است.

در این رابطه L گرمای نهان ویژه تبخیر آب ($2/5 \times 10^6$ j/kg) و C_E ضریب شار گرمای نهان که بر حسب سرعت باد و اختلاف دمای هوا- دریا از جداول مربوطه به دست می آید (۳).

- شار گرمایی به خارج از دریا به واسطه هدایت مولکولی (Q_h)

در اکثر اقیانوس ها عموماً دمای اقیانوس گرم تر از دمای هوا است که در این صورت گرمای محسوس از دریا به هوا شارش دارد و در نتیجه علامت این جمله منفی است.

برای محاسبه شار گرمای محسوس با مشاهده اختلاف دمای هوا - دریا و سرعت باد در مدل های عددی و پیش بینی هوا با استفاده از رابطه Smith (۱۹۸۸) می توان از فرمولی مشابه فرمول تبخیر به شکل زیر استفاده کرد (۳).

$$Q_h = \rho_a C_T C_p L_T (T_w - T_a) W \quad (17)$$

در این رابطه ρ_a چگالی هوا و C_T ضریب شار گرمایی که بر حسب سرعت باد و اختلاف دمای هوا- دریا از جداول مربوطه به دست می آید، می باشد (۳). C_p ظرفیت گرمایی ویژه هوا در فشار ثابت ($1004/5$ j/kgk) و W سرعت وزش باد و T_w دمای سطح و T_a دمای هوای بالای آب بر حسب درجه کلون می باشد. در صورتی که دمای هوا به طرف بالا کاهش پیدا کند در این صورت گرما از سطح دریا به سمت بالا هدایت می شود و جمله Q_h منفی می باشد.

و اگر دما به سمت پایین کاهش پیدا کند، گرما از هوا به داخل آب هدایت می شود و می توان گفت در این صورت Q_h منفی می باشد. و اگر دما به سمت پایین کاهش پیدا کند، گرما از هوا به داخل آب هدایت می شود و می توان گفت در این صورت Q_h یک جمله دریافت کننده انرژی و مثبت است.

با آزمایش های Blance (۱۹۸۵) مشخص شد که ضرایب C_T و C_E ثابت نمی باشند و وابسته به سرعت باد و اختلاف درجه حرارت بین هوا و سطح دریا می باشند (۳) Masag و Utov (۱۹۸۱) پیش نهاد کردند که این ضرایب برای وقتی که سرعت باد بین ۲ تا ۲۱ متر بر ثانیه و اختلاف درجه حرارت هوا و آب

جدول ۳- مقادیر دمای هوا، دمای سطح، رطوبت نسبی و سرعت باد

T_w (oC)	T_a (oC)		W(m/S)	C	E_s (KPa)	e_a (KPa)	A_n (oC)	T_d (hr)	
دمای سطح	دمای هوا	درصد رطوبت	سرعت باد	ضریب ابری	فشار بخار اشباع روی سطح دریا	فشار بخار در ارتفاع ده متری از سطح آب	میانگین زاویه میل خورشید	میانگین طول روز	ماه های سال
۲۰/۱	۲۰/۱	۸۱	۷/۵	۱/۸	۱۴/۵	۸/۴	۵۲	۱۱/۵	فروردین
۲۳/۸	۲۵	۶۸/۳	۷	۲/۳	۱۷/۵	۱۳	۶۰	۱۲	اردیبهشت
۲۶/۴	۳۰	۷۰/۶	۷	۱/۴	۲۱/۵	۱۹	۶۹	۱۳	خرداد
۲۹	۳۳/۹	۷۰/۶	۶/۵	۱/۱	۲۶	۲۱	۷۷	۱۳/۵	تیر
۳۱/۶	۳۵	۷۰	۶/۵	۱/۴	۳۰	۲۱	۷۹	۱۳/۵	مرداد
۳۳	۳۳/۹	۸۲	۷	۱/۶	۳۲	۱۹/۵	۷۷	۱۳	شهریور
۳۱/۸	۳۱/۴	۷۲/۶	۶	۱/۲	۲۸/۵	۱۷	۶۸	۱۲	مهر
۲۹/۷	۲۷/۱	۶۶/۶	۵/۵	۱/۳	۲۳	۱۳/۶	۶۰	۱۱/۵	آبان
۲۴/۸	۲۱/۸	۶۲	۶/۵	۳	۱۷	۹	۵۲	۱۱	آذر
۲۰/۵	۱۶/۶	۵۵	۷	۲/۷	۱۴	۵	۴۴	۱۱/۵	دی
۱۹/۸	۱۵	۶۵/۳	۷/۵	۲/۴	۱۲/۵	۴/۴	۳۶	۱۰/۵	بهمن
۱۹/۲	۱۶/۵	۶۷/۳	۸	۲	۱۳	۵/۵	۴۴	۱۱	اسفند
۲۵/۸۱	۲۵/۵۳	۶۹/۷۸	۶/۸۳	۱/۸۵	۲۰/۷۹	۱۳/۰۳	۵۹/۸۳	۱۱/۹۲	میانگین سالانه

-جمله Q_s

$$Q_{so} = K_a Q_b \sin \theta_N \quad \text{فرمول (۱۹)}$$

در این رابطه θ_N زاویه ارتفاع خورشید در ظهر (درجه) و K_a ضریب هدایت اتمسفر در آسمان صاف (۰/۷) و Q_b تابش ورودی خورشید به جو در عرض مورد نظر (W/m^2) که از طریق ماهواره ها اندازه گیری می شود می باشد (۱۱) و θ_N را می توان از رابطه زیر به دست آورد (۳).

$$\theta_N = 90 - (\delta - \phi) \quad \text{فرمول (۲۰)}$$

در این رابطه ϕ عرض جغرافیایی و δ زاویه میل خورشید است.

با استفاده از جدول ۳ و معادلات ۳ و ۶ مقادیر Q_s

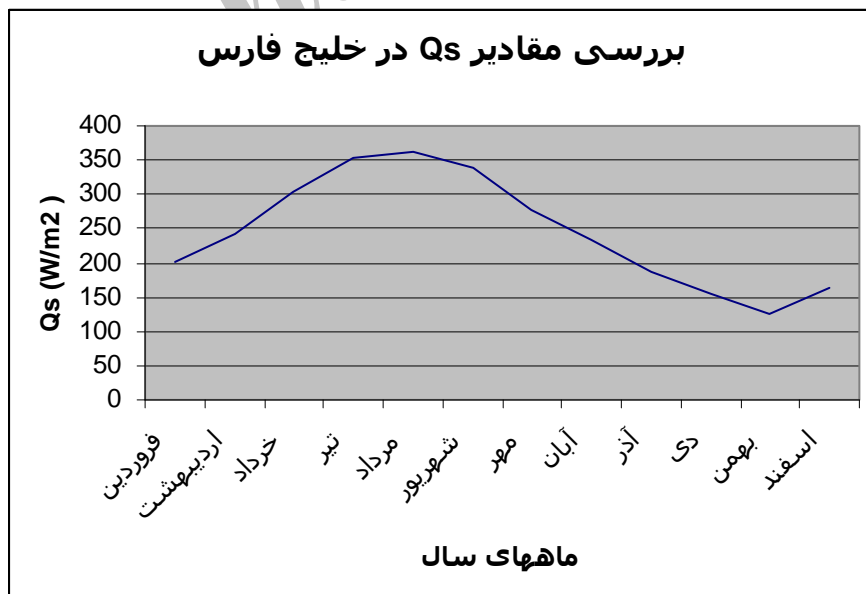
برای ماه های مختلف سال و میانگین سالانه آن در جدول ۴ آورده شده است.

نمودار Q_s بر حسب ماه های مختلف سال نیز در نمودار ۳ رسم شده است.

مقدار Q_{so} تابش ورودی خورشید که در آسمان صاف به سطح آب می رسد می باشد و برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می شود (۷).

جدول ۴- مقادیر شار امواج کوتاه در ماه های مختلف سال در خلیج فارس

A_n (oC)	T_d (H)	C	Q_{s0}	Q'_s	Q_s	ماه های سال
میانگین زاویه میل خورشید	میانگین طول روز	ضریب ابری				
۵۲	۱۱/۵	۱/۸	۲۳۹/۲۰	۲۳۷/۵۳	۲۰۱/۸۷	فروردین
۶۰	۱۲	۲/۳	۲۸۸/۰۰	۲۸۳/۸۰	۲۴۱/۲۰	اردیبهشت
۶۹	۱۳	۱/۴	۳۵۸/۸۰	۳۵۷/۶۲	۳۰۳/۹۴	خرداد
۷۷	۱۳/۵	۱/۱	۴۱۵/۸۰	۴۱۵/۱۴	۳۵۲/۸۲	تیر
۷۹	۱۳/۵	۱/۴	۴۲۶/۶۰	۴۲۵/۲۰	۳۶۱/۳۷	مرداد
۷۷	۱۳	۱/۶	۴۰۰/۴۰	۳۹۸/۴۳	۳۳۸/۶۳	شهریور
۶۸	۱۲	۱/۲	۳۲۶/۴۰	۳۲۵/۷۲	۲۷۵/۸۳	مهر
۶۰	۱۱/۵	۱/۳	۲۷۶/۰۰	۲۷۵/۲۷	۲۳۳/۹۵	آبان
۵۲	۱۱	۳	۲۲۸/۸۰	۲۲۱/۳۹	۱۸۸/۱۶	آذر
۴۴	۱۰/۵	۲/۷	۱۸۴/۸۰	۱۸۰/۴۴	۱۵۳/۳۵	دی
۳۶	۱۰/۵	۲/۴	۱۵۱/۲۰	۱۴۸/۶۹	۱۲۶/۳۷	بهمن
۴۴	۱۱/۱۱۰۹۲	۲	۱۹۳/۶۰	۱۹۱/۷۴	۱۶۲/۹۶	اسفند
۵۹/۸۳		۱/۸۵	۲۹۰/۸۰	۲۸۸/۴۱	۲۴۵/۱۲	میانگین سالانه



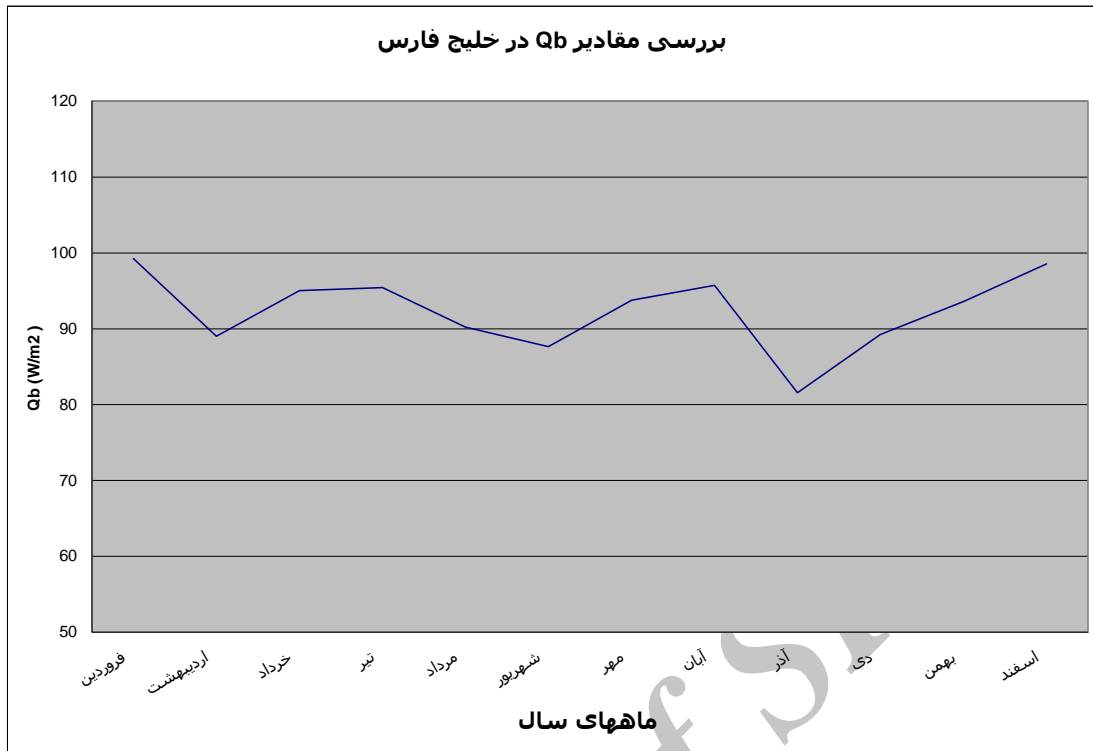
شکل ۳- نمودار Q_s برحسب ماه های مختلف سال

جمله Q_b

با استفاده از جدول ۳ و معادله ۸ مقادیر Q_b برای ماه های مختلف سال و میانگین سالانه آن در جدول ۵ آورده شده است. نمودار Q_b بر حسب ماه های مختلف سال نیز در نمودار ۴ رسم شده است.

جدول ۵ - مقادیر شار امواج بلند تشعشع شده از سطح دریا به فضا در ماه های مختلف سال

T_w (oC)	e_a	C	Q_b	ماه های سال
		ضریب ابری		
۲۰/۱	۸/۴	۱/۸	۹۹/۲۶	فروردین
۲۳/۸	۱۳	۲/۳	۸۹/۰۱	اردیبهشت
۲۶/۴	۱۹	۱/۴	۹۵/۰۳	خرداد
۲۹	۲۱	۱/۱	۹۵/۴۴	تیر
۳۱/۶	۲۱	۱/۴	۹۰/۲۱	مرداد
۳۳	۱۹/۵	۱/۶	۸۷/۶۴	شهریور
۳۱/۸	۱۷	۱/۲	۹۳/۷۷	مهر
۲۹/۷	۱۳/۶	۱/۳	۹۵/۷۱	آبان
۲۴/۸	۹	۳	۸۱/۵۸	آذر
۲۰/۵	۵	۲/۷	۸۹/۲۴	دی
۱۹/۸	۴/۴	۲/۴	۹۳/۶۰	بهمن
۱۹/۲	۵/۵	۲	۹۸/۵۵	اسفند
۲۵/۸۱	۱۳/۰۳	۱/۸۵	۹۲/۴۲	میانگین سالانه



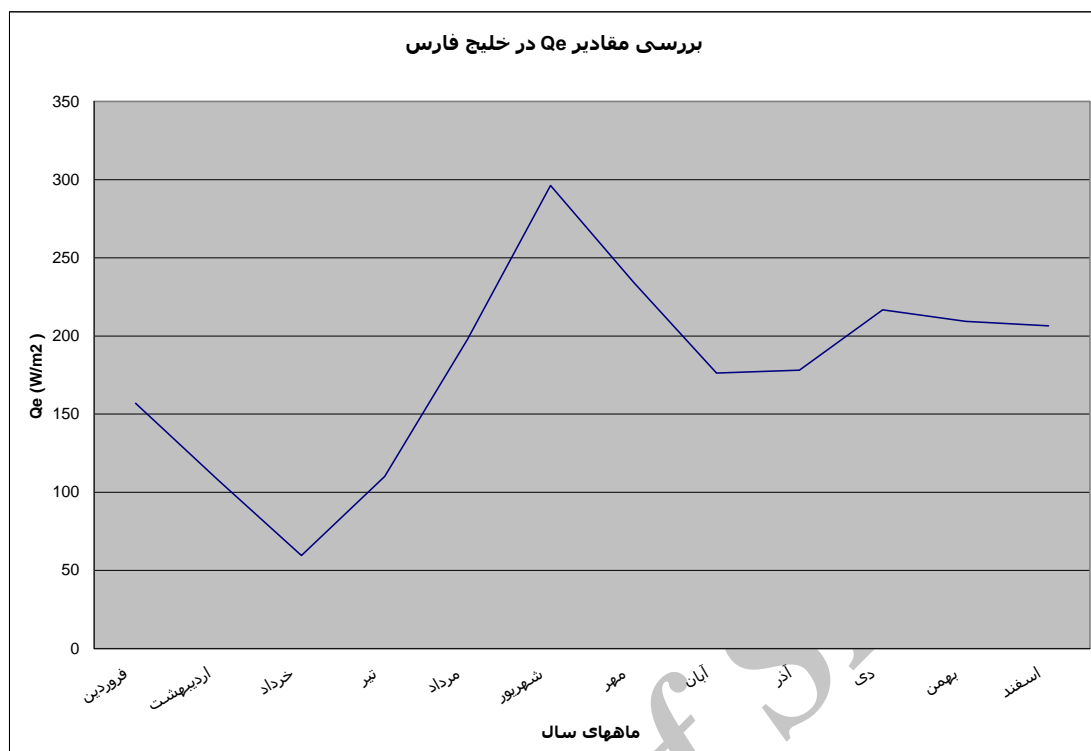
شکل ۴- نمودار Q_b بر حسب ماه های مختلف سال

جمله Q_s

با استفاده از جدول ۳ و معادله ۱۴ مقادیر Q_e برای ماه های مختلف سال و میانگین سالانه آن در جدول ۶ آورده شده است. نمودار Q_e بر حسب ماه های مختلف سال نیز در نمودار ۵ رسم شده است.

جدول ۶- گرمایی که به صورت تبخیر در ماه های مختلف سال خلیج فارس از دست می دهد

ماه های سال	Q_e	e_a	e_s	T_a (oC) دمای هوا	T_w (oC) دمای سطح آب	سرعت باد W(M/S)
فروردین	۱۵۶/۹۱	۸/۴	۱۴/۵	۲۰/۱	۲۰/۱	۷/۵
اردیبهشت	۱۰۷/۵۶	۱۳	۱۷/۵	۲۵	۲۳/۸	۷
خرداد	۵۹/۴۹	۱۹	۲۱/۵	۳۰	۲۶/۴	۷
تیر	۱۱۰/۰۸	۲۱	۲۶	۳۳/۹	۲۹	۶/۵
مرداد	۱۹۷/۹۵	۲۱	۳۰	۳۵	۳۱/۶	۶/۵
شهریور	۲۹۶/۳۸	۱۹/۵	۳۲	۳۳/۹	۳۳	۷
مهر	۲۳۴/۲۵	۱۷	۲۸/۵	۳۱/۴	۳۱/۸	۶
آبان	۱۷۶/۲۰	۱۳/۶	۲۳	۲۷/۱	۲۹/۷	۵/۵
آذر	۱۷۸/۰۷	۹	۱۷	۲۱/۸	۲۴/۸	۶/۵
دی	۲۱۶/۷۵	۵	۱۴	۱۶/۶	۲۰/۵	۷
بهمن	۲۰۹/۳۱	۴/۴	۱۲/۵	۱۵	۱۹/۸	۷/۵
اسفند	۲۰۶/۴۵	۵/۵	۱۳	۱۶/۵	۱۹/۲	۸
میانگین سالانه	۱۷۹/۱۲	۱۳/۰۳	۲۰/۷۹	۲۵/۵۳	۲۵/۸۱	۶/۸۳



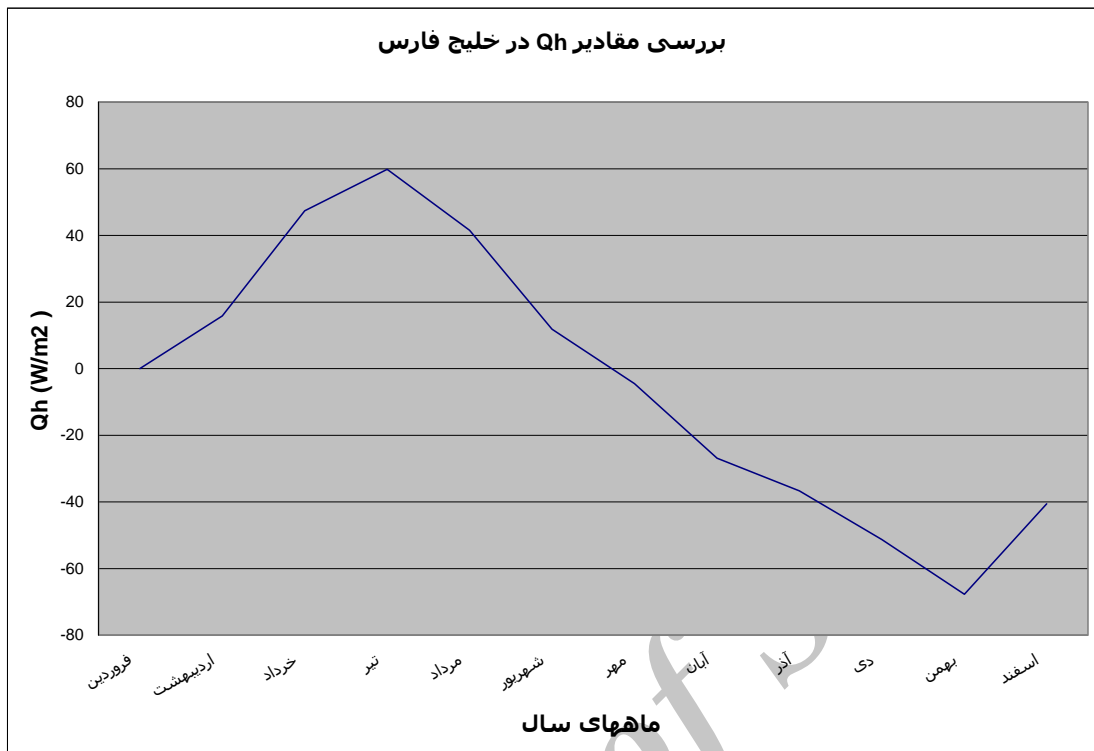
شکل ۵- نمودار Q_e بر حسب ماه های مختلف سال

- جمله Q_h

با استفاده از جدول ۳ و معادله ۱۷ مقادیر Q_h برای نمودار Q_h بر حسب ماه های مختلف سال نیز در ماه های مختلف سال و میانگین سالانه آن در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- گرمایی که به صورت رسانایی خلیج فارس با اتمسفر مبادله می کند.

ماه های سال	Q_h	T_a (oC) دمای هوا	T_w (oC) دمای سطح آب	W(M/S) سرعت باد
فروردین	۰/۰۰	۲۰/۱	۲۰/۱	۷/۵
اردیبهشت	۱۵/۷۹	۲۵	۲۳/۸	۷
خرداد	۴۷/۳۸	۳۰	۲۶/۴	۷
تیر	۵۹/۸۸	۳۳/۹	۲۹	۶/۵
مرداد	۴۱/۵۵	۳۵	۳۱/۶	۶/۵
شهریور	۱۱/۸۴	۳۳/۹	۳۳	۷
مهر	-۴/۵۱	۳۱/۴	۳۱/۸	۶
آبان	-۲۶/۸۸	۲۷/۱	۲۹/۷	۶/۵
آذر	-۳۶/۶۶	۲۱/۸	۲۴/۸	۶/۵
دی	-۵۱/۳۲	۱۶/۶	۲۰/۵	۷
بهمن	-۶۷/۶۸	۱۵	۱۹/۸	۷/۵
اسفند	-۴۰/۶۱	۱۶/۵	۱۹/۲	۸
میانگین سالانه	-۴/۲۷	۲۵/۵۳	۲۵/۸۱	۶/۸۳



شکل ۶- نمودار Q_h برحسب ماه های مختلف سال

تفسیر نتایج

ماه ها اختلاف دمایی بین هوا و سطح خلیج فارس از بقیه ماه ها بیشتر است. این امر طبیعی است. در ماه های مهر، آبان، آذر، بهمن و اسفند نیز با توجه به این که دمایی آب از دمایی هوا گرم تر است مقدار Q_h منفی است. در ماه فروردین نیز با توجه به آن که اختلاف دمایی بین هوا و سطح خلیج فارس وجود ندارد مقدار Q_h صفر می باشد.

بررسی مقادیر Q_e از جدول ۷ نمودار ۶ نشان می دهد که مقدار Q_e در ماه های شهریور و مهر بیشترین مقادیر را دارد. با مراجعه به جدول ۷ در این ماه ها $e_s - e_a$ بیشترین مقدار خود را دارند بنابراین زیاد بودن Q_e در این ماه ها طبیعی است. کمترین مقدار Q_e در ماه های فروردین و اردیبهشت است که در این ماه ها $e_s - e_a$ کمترین مقدار است.

جمله Q_T

- با استفاده از جدول ۳ و معادله ۲ مقادیر Q_T برای ماه های مختلف سال و میانگین سالانه آن در جدول ۸ آورده شده است.

بررسی مقادیر Q_s از جدول ۴ و نمودار ۳ نشان می دهد که مقدار Q_s در ماه های تیر و مرداد و شهریور بیشترین مقدار را دارد. با مراجعه به جدول ۳ در این ماه ها زاویه تابش خورشید و طول روز، بیشترین مقدار و میزان ابر کم می باشد. بنابراین زیاد بودن Q_s در این ماه ها طبیعی است. در ماه های دی، بهمن و اسفند به دلیل زیاد بودن میزان ابر و کم شدن زاویه تابش خورشید و طول روز، کم ترین مقدار Q_s را داریم.

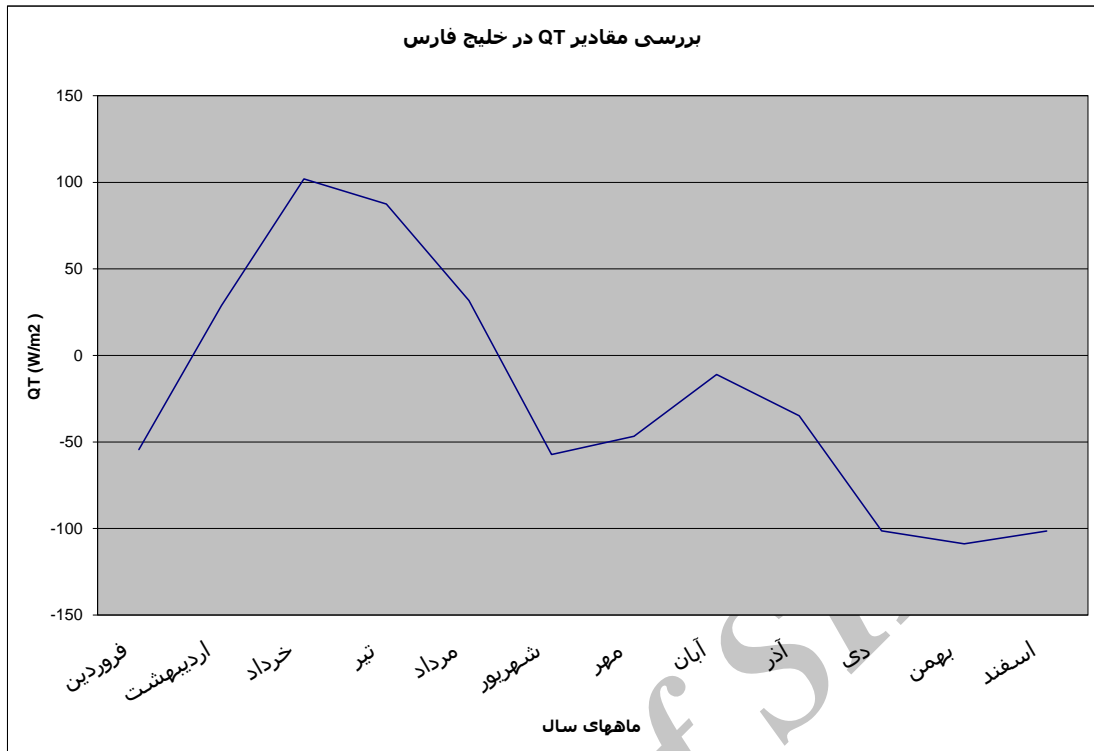
بررسی Q_b از جدول ۵ و نمودار ۴ نشان میدهد که مقدار Q_b در ماه های اسفند و فروردین بیشترین مقادیر را دارد با مراجعه به جدول ۵ در این ماه ها مقادیر درجه حرارت سطح کم ترین مقدار خود را دارد. بنابراین زیاد بودن Q_b در این ماه ها طبیعی است. کم ترین مقدار Q_b در ماه های آذر و دی می باشد. البته تفاوت بین بیشترین مقدار و کم ترین مقدار Q_b در سال حدود 17 W/m^2 می باشد. بررسی مقادیر Q_h از جدول ۶ و نمودار ۵ نشان می دهد که مقدار Q_h در ماه های خرداد، تیر و مرداد بیشترین مقادیر را دارد. با مراجعه به جدول ۶ در این

در نمودار ۸ با استفاده از یک نمودار قیاسی کلیه ترم های مختلف معادله گرمایی با یکدیگر مقایسه شده اند. از این نمودار نیز مشخص است که تغییرات سالانه Q_b خیلی کم و تغییرات سالانه Q_s زیاد است.

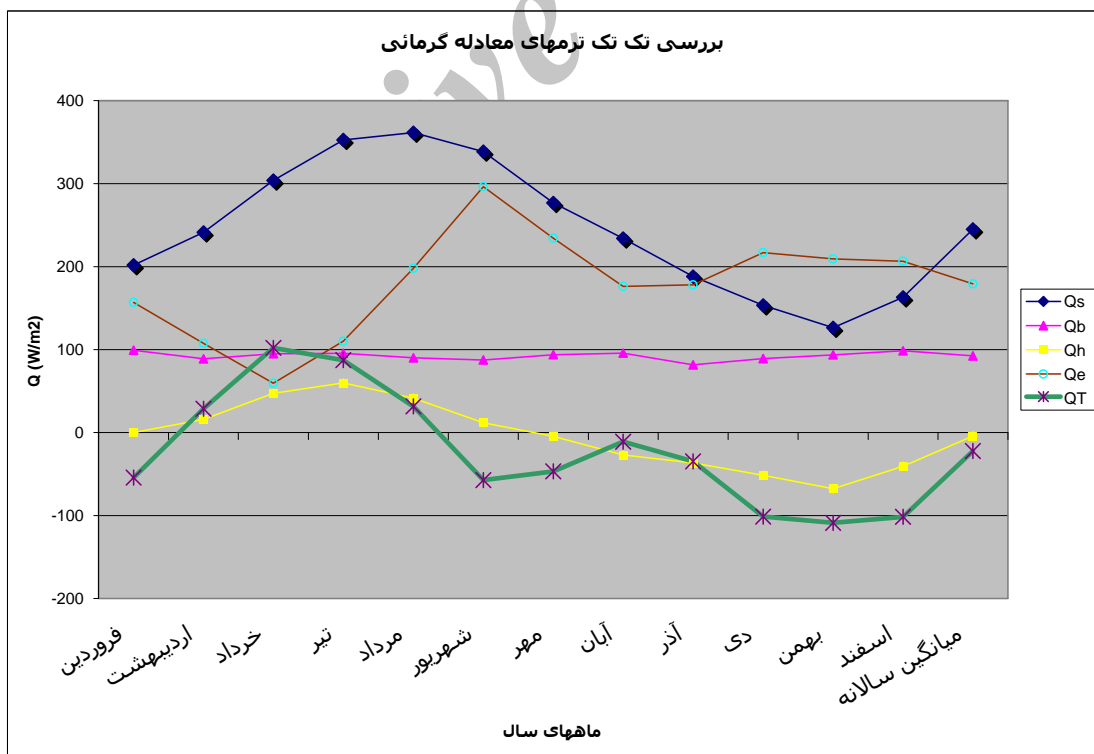
نمودار Q_T برحسب ماه های مختلف سال و میانگین سالانه آن در جدول ۸ آورده شده است. نمودار Q_T برحسب ماه های مختلف سال در نمودار ۷ رسم شده است.

جدول ۸- گرمایی که به سطح خلیج فارس اضافه یا از آن کاسته می شود

Q_s	Q_b	Q_h	Q_e	Q_T
۲۰۱/۸۷	۹۹/۲۶	۰	۱۵۶/۹۱	-۵۴/۳۰
۲۴۱/۲	۸۹/۰۱	۱۵/۷۹	۱۰۷/۶۵	۲۸/۸۴
۳۰۳/۹۴	۹۵/۰۳	۴۷/۳۸	۵۹/۴۹	۱۰۲/۰۴
۳۵۲/۸۲	۹۵/۴۴	۵۹/۸۸	۱۱۰/۰۸	۸۷/۴۲
۳۶۱/۳۷	۹۰/۲۱	۴۱/۵۵	۱۹۷/۹۵	۳۱/۶۶
۳۳۸/۶۳	۸۷/۶۴	۱۱/۸۴	۲۹۶/۳۸	-۵۷/۲۳
۲۷۶/۸۳	۹۳/۷۷	-۴/۵۱	۲۳۴/۲۵	-۴۶/۶۸
۲۳۳/۹۵	۹۵/۷۱	-۲۶/۸۸	۱۷۶/۲	-۱۱/۰۸
۱۸۸/۱۶	۸۱/۵۸	-۳۶/۶۶	۱۷۸/۰۷	-۳۴/۸۳
۱۵۳/۳۵	۸۹/۲۴	-۵۱/۳۲	۲۱۶/۷۵	-۱۰/۳۲
۱۲۶/۳۷	۹۳/۶	-۶۷/۶۸	۲۰۹/۳۱	-۱۰۸/۸۶
۱۶۲/۹۶	۹۸/۵۵	-۴۰/۶۱	۲۰۶/۴۵	-۱۰۱/۴۳
۲۴۵/۱۲	۹۲/۴۲	-۴/۲۷	۱۷۹/۱۲	-۲۲/۱۵



شکل ۷- نمودار QT بر حسب ماه های مختلف سال



شکل ۸- نمودار بررسی تک تک ترم های معادله گرمایی بر حسب ماه های مختلف سال

5. Blance, T. v., 1985, Variatio of bulk-derived surface flux, stability, j. phs. Oceanogr., 15: 56-669.
6. Hidges. B., 1998. Heat budget and thermodynamics ar a free surface, The University of Western Australia, Australia.
7. Emery. J. w., Talley. L.D. and Pickard., 1987. Descriptive physical Oceanography, Pergamon, [Chapter 5].
8. HUGH. J. cllan. J.Elements of physical Oceanogaphy,[Chapter 18].
9. Shmonsen. K. and Haugan, M., 1996. Journal of geophysical research. 101, c3, 6533.
10. Michuald. R., and Drome. J., 1991: O the mean meridional transport of energy in the atmosphere and oceans as derived from six years of ECMWF analyses. Tell us, 43a, 1-14.
11. www.aom.giss.nasa.gov/solar.

همان طور که از جدول ۸ و نمودارهای ۷ و ۸ مشخص است مقدار نهایی میانگین گیری شده برای کل سال در خلیج فارس برابر $22/15 \text{ W/m}^2$ - به دست آمده است. همان طوری که قبلاً بحث شد انتقال گرمای خالص از طریق تنگه هرمز به خلیج فارس برابر 25 W/m^2 است که با این کمبود موافقت خوبی دارد. بنابراین معادله تعادل گرمایی در خلیج فارس کاملاً برقرار است.

منابع

۱. رئیس السادات، م. ر. ۱۳۸۰ «مدل سه بعدی گردش آب ها در خلیج فارس». پایان نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
۲. رئیس السادات، م. ر. ۱۳۸۲ «مدلی برای گردش آب ها در خلیج فارس». نیوار، نشریه شماره ۵۰ و ۵۱. ۱۵ صفحه.
3. Kara.A.B., 1999. Journal of Atmospheric and oceanic chnology, 17, 1421.
4. Naoki.H., Kim. C. and Yoon, j. H., 1996. Journal of oceanography Research, 101, C3, 6533.