

ارزیابی برآورد دمای سطح آب و ارتباط سنجی پارامتر دما با عمق در خلیج فارس با استفاده از سنجنده مودیس

خسرو فاضل پور*، علی دادالهی سهراب، هیوا علمی زاده، حسین محمد عسگری، سید حسین خزاعی

گروه محیط زیست، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۳

چکیده

از جمله پارامترهایی که کاربرد زیادی در مطالعات مربوط به اقیانوس شناسی و اتمسفر دارد، دمای سطح آب است. در این تحقیق، به منظور ایجاد تصاویر حرارتی سطح آب (SST) خلیج فارس از تصاویر سنجنده MODIS که بر روی ماهواره آکوا قرار دارد، استفاده شده است. از نرم افزار Matlab برای استخراج ماتریس حاوی اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای و نرم افزار GIS جهت تبدیل ماتریس به دست آمده به نقشه‌های دمای سطحی آب دریا در خلیج فارس، استفاده شده است. ۴۸ تصویر از سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ انتخاب شد که در نهایت ضرایب همبستگی به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۸۶، ۰/۸۹ و ۰/۷۵ به دست آمدند. همچنین ضرایب تعیین به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۹۰، ۰/۹۴ و ۰/۸۶ به دست آمد؛ در نهایت برای سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ با در نظر گرفتن دمای باند ۳۱، اختلاف دمایی باندهای ۳۱ و ۳۲ و زاویه‌ی سنجنده به عنوان عوامل مستقل و دمای بویه به عنوان عامل وابسته، با استفاده از نرم افزار SPSS ضرایب الگوریتم جهانی برای خلیج فارس کالیبره شد. برای آزمون صحت الگوریتم پیشنهادی، مجدداً دمای سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۳ محاسبه شد و ضریب همبستگی ۰/۹۶ و ضریب تعیین ۰/۹۴ به دست آمد؛ همچنین تغییرات دمایی در خلیج فارس در ارتباط با عمق آب بررسی شده است. با بررسی انجام گرفته مشخص شد که به غیر از عمق عوامل دیگری مانند جریان‌های دریایی و عرض جغرافیایی نیز در این امر دخیل هستند؛ اما به هر صورت میزان تغییرات دمایی به خصوص در عرض‌های شمالی و مرکزی با عمق آب رابطه‌ای معکوس را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، سنجنده مودیس، دمای سطح دریا، عمق، خلیج فارس

*نویسنده مسئول، پست الکترونیک: Fazelpoor68@gamil.com

۱. مقدمه

دما همان انرژی خورشیدی جذب شده به وسیله مواد است که تبدیل به انرژی گرمایی می-شود. آب، تابش خورشیدی را به شدت جذب می کند؛ این جذب تا اعماق زیادی در آب نفوذ می کند، و نسبت به شفافیت آب متغیر است. ضخامت لایه های جذب انرژی در اقیانوس ها به دو تا سه متر می رسد و در بخش وسیعی از آن توزیع می شود. ضریب جذب بالای آب همراه با ظرفیت گرمایی ویژه ی بالای آن و انتقال های گوناگون گرما به سایر قسمت های آب باعث شده که هر جا پهنه ی آبی داشته باشیم، به عنوان ذخیره کننده گرما عمل کند (Otis et al, 2000). سنجنده مودیس یکی از پنج سنجنده ای است که بر روی ماهواره ترا قرار دارد و برای مطالعات محیطی مختلف از جمله تهیه تصاویر دمای سطح آب و کلروفیل طراحی شده است. به دلیل پوشش وسیع تصاویر این سنجنده و در دسترس بودن آن در ایران تصمیم گرفته شد که به کالیبره کردن الگوریتم جهانی دمای سطح آب و بررسی و وقوع کشند در خلیج فارس پرداخته شود.

تصاویر این سنجنده به صورت روزانه در ایران دریافت می شود و از این لحاظ می تواند برای بررسی روند تغییرات دمای سطح آب و خشکی در مناطق مختلف بسیار مفید باشد. از آنجایی که دریاها و اقیانوس ها مهم ترین منابع رطوبتی و محل تشکیل سامانه های مختلف جوی هستند، ویژگی های گرمایی آب و ارتباط متقابل آن با دمای هوا در این امر دارای اهمیت است (Brown and Minnett, 1999).

علاوه بر شرایط دمایی اقلیمی، توزیع زمانی و مکانی دمای سطح دریاها برای کاربردهای مختلف از جمله پیش بینی های مدل های عددی شار و بودجه انرژی، مطالعه ی جریان دریاچه ها و هواشناسی ارزشمند است.

تنها یک بویه در منطقه (بوشهر) به جمع آوری داده های دریایی مشغول است که نیاز کشور را به این داده ها تأمین نمی کند. از آنجایی که تهیه تصاویر ماهواره ای مودیس به صورت رایگان است، می توان با استفاده از این تصاویر به صورت روزانه به برآورد دمای سطحی آب دریا اقدام نمود. سنجنش از دور با ماهواره روش مناسبی برای پدیده های سطحی است که در سطح آب ها و خشکی ها رخ می دهد.

از زمانی که ماهواره ها به خصوص ماهواره های هواشناسی به فضا پرتاب شده اند، تاکنون داده های آن کاربردهای گوناگونی داشته است. بعد از فعالیت سری اول ماهواره های هواشناسی به نام تایروس که یک سیستم مشاهده تلویزیونی تابش های فروسرخ بود، سری توس از سال ۱۹۷۰ به فضا پرتاب شدند (Saunders and Minnett, 1990).

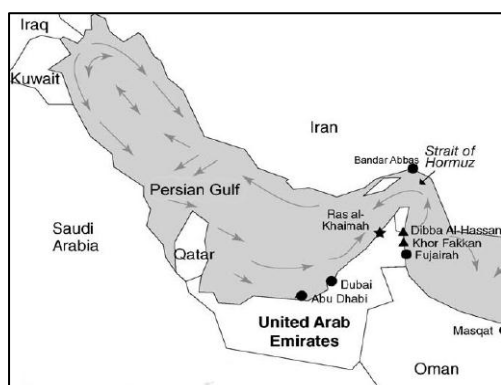
سال ۲۰۰۰ اوتیس و همکاران به بررسی و آشکارسازی دمای به دست آمده در باندهای مختلف سنجنده مودیس پرداختند. پیسون و نچاد در سال ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده ی مودیس و مدل Optos_nos با تمرکز بر سال ۲۰۰۴ در منطقه ی دریای شمالی به بررسی SST با استفاده از باندهای ۳۱ و ۳۲ یا به عبارتی باندهای ۱۱ μm و ۱۲ μm و همچنین بررسی SST4 با استفاده از باند ۴ μm پرداختند که نشان از داشتن اختلاف میزان دمای حاصل از مدل Optos_nos و تصاویر مودیس است.

ویلسون و هوک در سال ۲۰۱۲ به بررسی ارتباط MCSST بین باندهای گرمایی با استفاده از تصاویر در دو نوبت شب و روز از سنجنده مودیس پرداختند.

۲. مواد و روش ها

داده های مورد استفاده در این تحقیق از داده های سنجنده مودیس با استفاده از ماهواره آکوا

گردآوری شده است. در ساخت این تصاویر الگوریتم‌های متنوعی به کار برده شده که جهت شناسایی و تعیین دما استفاده می‌شود. سنجنده مودیس در مجموع ۳۶ باند طیفی دارد که باندهای ۳۱ تا ۳۲ آن در سنجش دمای سطحی آب دریا اهمیت دارد. با استفاده از نرم‌افزار *Matlab* و *seaDAS* می‌توان تغییرات دما را محاسبه کرد.



شکل ۱: محدوده منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: دمای اندازه‌گیری شده از بویه در زمان‌های مورد نظر

تاریخ	دمای بویه
۳۰/۱/۲۰۰۸	۱۸
۳۰/۲/۲۰۰۸	۲۳/۳
۳۰/۳/۲۰۰۸	۲۴/۹۶
۳۰/۴/۲۰۰۸	۲۲/۰۲
۳۰/۵/۲۰۰۸	۲۹/۶
۳۰/۶/۲۰۰۸	۳۱/۶۶
۳۰/۷/۲۰۰۸	۳۱/۶۶
۳۰/۸/۲۰۰۸	۳۴/۱۲
۳۰/۹/۲۰۰۸	۳۵
۳۰/۱۰/۲۰۰۸	۲۸/۸۷
۳۰/۱۱/۲۰۰۸	۲۰/۷۹
۳۰/۱۲/۲۰۰۸	۲۰/۷۹
۳۰/۱/۲۰۰۹	۱۹/۲۶
۳۰/۲/۲۰۰۹	۱۹/۳۶
۳۰/۳/۲۰۰۹	۱۹/۸۷
۳۰/۴/۲۰۰۹	۲۳/۲۵
۳۰/۵/۲۰۰۹	۲۶/۰۹
۳۰/۶/۲۰۰۹	۳۰/۸۳
۳۰/۷/۲۰۰۹	۳۰/۹۷

به منظور امکان کالبره کردن اطلاعات به دست آمده از تصاویر، اندازه‌گیری‌های میدانی ضروری است؛ و بدین لحاظ تصاویر بر اساس داده‌های ایستگاه دریایی بوشهر انتخاب شده‌اند، به طوری که امکان قابلیت مقایسه و کالبراسیون آن‌ها با اطلاعات بویه فراهم شود. به منظور تعیین و مقایسه زمانی و مکانی دمای سطح آب خلیج فارس و کلروفیل، یک تصویر برای هرماه و به عبارتی در مجموع ۴۸ تصویر همزمان با داده‌های ایستگاه دریایی مربوط به سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ انتخاب گردیده‌اند. با توجه به کاربردهای SST و به منظور ایجاد ابزاری مناسب برای محاسبه پارامترها، الگوریتم‌ها و روش‌های موجود برای محاسبه SST و عمق از تصاویر مودیس مورد بررسی قرار گرفتند و در نتیجه با کد نویسی در نرم‌افزار *Matlab* که ورودی آن تصویر خام و خروجی آن ماتریس محتوی اطلاعات مورد نیاز می‌باشد، در نرم‌افزار GIS با اعمال تغییرات و انجام مراحل مربوطه به نقشه‌ی دمای سطح آب دریا و کشند قرمز در خلیج فارس پرداخته شد.

خلیج فارس یک محدوده آبی کم عمق نیمه بسته با میانگین عمق ۳۷ متر است که از طریق تنگه هرمز به دریای عمان متصل شده است (شکل ۱). به دلیل قرار گرفتن در محدوده‌ای کم بارش، شوری و چگالی آب خلیج فارس بالا است. تنگه هرمز محل تبادل آب چگال خلیج فارس و آب کمتر چگال اقیانوس هند است که باعث گردش آب در خلیج فارس می‌شود (Reynolds, 1993).

در محدوده خلیج فارس تنها یک بویه مشغول جمع‌آوری اطلاعات است که داده‌هایی به صورت پراکنده از آن جمع‌آوری شده است. این بویه که از نوع Ocean Wavescan می‌باشد در سال ۲۰۱۳ در جنوب غربی بوشهر به مختصات جغرافیایی $28^{\circ} 55'$

دمای جسم دارد (رابطه و جدول ۲)، بنابراین رابطه‌ای به دست آورد که با استفاده از دمای جسم و محدوده‌ی طول موج‌ها می‌توان مقدار انرژی گسیل شده را محاسبه کرد.

این رابطه (تابع پلانک) به شرح زیر است:

(رابطه ۱)

$$t = k2 / \log((k1/r) + 1)$$

جدول ۲: ضرایب مربوط به معکوس تابع پلانک

باند	K1	K2
باند ۳۱	۷۲۹/۰۷	۱۳۰۴/۰۴
باند ۳۲	۴۷۴/۷۱	۱۱۹۷

که K1 و K2 عبارت است از ضرایب جهانی مخصوص باندهای مورد استفاده (۳۱ و ۳۲)، I برابر است با رادیانس مخصوص باند مورد استفاده و t برابر است با معکوس تابع پلانک.

با استفاده از این عمل در حقیقت کالیبراسیون رادیومتریک بر روی تصاویر نیز صورت می‌گیرد. مقدار انرژی رسیده به سنجنده برای هر پیکسل با استفاده از رابطه‌ی معکوس پلانک به گرمای روشنایی تبدیل شده است. در مرحله بعد، حرارت‌های ظاهری باندهای ۳۱ و ۳۲ با استفاده از مقادیر گسیلی تصویر و به کمک عکس قانون پلانک محاسبه شد.

(رابطه ۲)

$$T = \frac{\left(\frac{hc}{k}\right)}{\lambda * \ln\left(\left(\frac{2hc^2}{L\lambda^5}\right) + 1\right)}$$

که در آن T، حرارت ظاهری، λ طول موج (m)، h، ثابت پلانک، C، سرعت نور، k، ثابت استفان بولتزمن و L، گسیل انرژی است.

مدلی که برای محاسبه SST استفاده شد، مدل MCSST از سری الگوریتم‌های موسوم به Split window است که به دلیل در نظر گرفتن زوایای زینتی ماهواره و تصحیح اتمسفری (با استفاده از تفاضل بین باندها) از دقت بالاتری برخوردار است. مدل MCSST مورد استفاده عبارت است از:

(رابطه ۳)

$$\text{Modis_SST} = C1 + C2 \times T31 + C3 \times$$

تاریخ	دمای بویه
۳۰/۸/۲۰۰۹	۳۲/۲۳
۳۰/۹/۲۰۰۹	۳۰/۷۷
۳۰/۱۰/۲۰۰۹	۲۹/۴۰
۳۰/۱۱/۲۰۰۹	۲۳/۲۵
۳۰/۱۲/۲۰۰۹	۲۳/۳۲
۳۰/۱/۲۰۱۲	۱۷/۴۲
۳۰/۲/۲۰۱۲	۱۸/۳۱
۳۰/۳/۲۰۱۲	۲۳/۰۸
۳۰/۴/۲۰۱۲	۲۶/۲۰
۳۰/۵/۲۰۱۲	۲۸/۹۳
۳۰/۶/۲۰۱۲	۳۲/۴۰
۳۰/۷/۲۰۱۲	۳۹/۹۳
۳۰/۸/۲۰۱۲	۳۴/۳۹
۳۰/۹/۲۰۱۲	۳۲/۷۵
۳۰/۱۰/۲۰۱۲	۳۰/۹۰
۳۰/۱۱/۲۰۱۲	۲۸/۷۸
۳۰/۱۲/۲۰۱۲	۲۰/۸۶
۳۰/۱/۲۰۱۳	۲۷/۶۹
۳۰/۲/۲۰۱۳	۱۹/۵۶
۳۰/۳/۲۰۱۳	۲۰/۸۵
۳۰/۴/۲۰۱۳	۲۴/۲۴
۳۰/۵/۲۰۱۳	۲۸/۳۷
۳۰/۶/۲۰۱۳	۲۹/۸۰
۳۰/۷/۲۰۱۳	۳۰/۲۹
۳۰/۸/۲۰۱۳	۳۲/۹۵
۳۰/۹/۲۰۱۳	۳۰/۱۵
۳۰/۱۰/۲۰۱۳	۲۶/۸۰
۳۰/۱۱/۲۰۱۳	۲۳/۷۳
۳۰/۱۲/۲۰۱۳	۲۰/۸۵

۳. نتایج

اغلب دماهای به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای را با دماهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مستقر بر روی دریا مقایسه می‌نمایند و با استفاده از روش‌های آماری معادلاتی برای تصحیح این دماها محاسبه می‌شود. پلانک اظهار داشت که میزان گسیل انرژی به دمای جسم بستگی دارد. برحسب قانون استفان بولتزمن این مقدار رابطه مستقیمی با توان چهارمی

ضریب تعیین (R^2) که بالاترین آن مساوی ۰/۸۹ است نشان‌دهنده این است که حدود ۸۹ درصد از تغییرات به‌وسیله معادله خط رگرسیون بیان می‌شود؛ یا اینکه ۸۹ درصد تغییرات Y از تغییرات متغیر مورد استفاده شده است که این امر در عین این‌که مزیت تحلیل است. می‌توان برداشت اثرگذاری سایر عوامل را کاش دهد.

جدول ۴: نتایج حاصل از محاسبات

تاریخ	دمای تصویر
۳۰/۱/۲۰۰۸	۱۶
۳۰/۲/۲۰۰۸	۲۹/۱۷
۳۰/۳/۲۰۰۸	۳۲/۱
۳۰/۴/۲۰۰۸	۲۴/۶۰
۳۰/۵/۲۰۰۸	۴۰/۱۶
۳۰/۶/۲۰۰۸	۴۰/۰۷
۳۰/۷/۲۰۰۸	۳۲/۶۶
۳۰/۸/۲۰۰۸	۴۴/۳۵
۳۰/۹/۲۰۰۸	۴۱/۱۹
۳۰/۱۰/۲۰۰۸	۳۸/۹۸
۳۰/۱۱/۲۰۰۸	۳۳/۷۰
۳۰/۱۲/۲۰۰۸	۱۹/۹۱
۳۰/۱/۲۰۰۹	۲۹/۰۹
۳۰/۲/۲۰۰۹	۲۹/۴۷
۳۰/۳/۲۰۰۹	۲۳/۲۲
۳۰/۴/۲۰۰۹	۳۴/۵۴
۳۰/۵/۲۰۰۹	۲۹/۴۹
۳۰/۶/۲۰۰۹	۴۱/۹۳
۳۰/۷/۲۰۰۹	۴۲/۴۷
۳۰/۸/۲۰۰۹	۴۳/۹۹
۳۰/۹/۲۰۰۹	۴۱/۳۲
۳۰/۱۰/۲۰۰۹	۳۷/۱۴
۳۰/۱۱/۲۰۰۹	۳۴/۲۰
۳۰/۱۲/۲۰۰۹	۳۲/۸۳
۳۰/۱/۲۰۱۲	۲۹/۲۳
۳۰/۲/۲۰۱۲	۲۹/۷۵
۳۰/۳/۲۰۱۲	۳۰/۱۷
۳۰/۴/۲۰۱۲	۳۱/۶۲
۳۰/۵/۲۰۱۲	۳۱/۲۷
تاریخ	دمای تصویر

$$T3132 + C4 \times (\sec(\Theta) - 1) \times T3132$$

که در آن $T31$ ، حرارت ظاهری باند ۳۱، $T3132$ ، اختلاف حرارت ظاهری باند ۳۱ و ۳۲ و Θ ، تتا یا زاویه زینت ماهواره است. زینت ماهواره از اطلاعات آغازین تصویر ماهواره استخراج و مقدار آن برای تمام پیکسل‌های تصویر محاسبه شد. برای محاسبه ضرایب مدل MCSST معمولاً از دو دسته ضرایب استفاده می‌شود. این ضرایب، ضرایب مدل جهانی ECMWF و ضرایب به‌دست‌آمده از رادیوساندها هستند. ضرایب معادله MCSST در دو حالت که اختلاف بین حرارت‌های ظاهری در باندهای ۳۱ و ۳۲ بزرگتر از ۰/۷ و کوچکتر یا مساوی ۰/۷ باشد، محاسبه شده‌اند (جدول ۳).

جدول ۳: ضرایب مربوط به الگوریتم جهانی

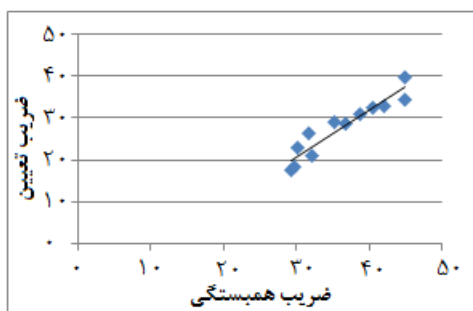
Modis_SST		
T31-32>0.7	T31-32<=0.7	
۱/۶۹۲۵۲۱	۱/۲۲۸۵۵۲	C1
۰/۹۵۵۸۴۱۹	۰/۹۵۷۶۵۵۵	C2
۰/۰۸۷۳۵۷۴	۰/۱۱۸۲۱۹۶	C3
۱/۱۹۹۵۸۴	۱/۷۷۴۶۳۱	C4

در این تحقیق فرآیند محاسبه معکوس ثابت پلانک، تصحیح رادیومتریک و به دست آوردن Modis_SST بر اساس برنامه‌نویسی در نرم-افزار متلب کدنویسی شده است، بدین صورت که تصویر ماهواره‌ای با فرمت HDF به برنامه وارد می‌شود، سپس وارد بخش Modis_Swach_Type_L1B شده و با تغییر و شناساندن متغیرها، خروجی ماتریس دما دریافت می‌شود. با وارد نمودن فایل ماتریس به نرم‌افزار ArcGIS دما در نقطه‌ی مورد نظر که به مختصات $X=50.73$ و $Y=28.82$ است، قابل مشاهده است.

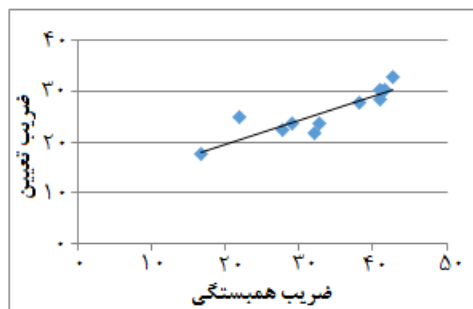
۴. بحث و نتیجه‌گیری

طبق نتایج تحلیل رگرسیون و مقدار ضریب تعیین (R^2) برای چهار سال مورد بررسی به قرار شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ است:

مشاهده مقدار ضریب همبستگی نشان‌دهنده‌ی ارتباط مثبت و بالا بین متغیرهای مورد استفاده است. مقدار



شکل ۴: ضرایب همبستگی و تعیین سال ۲۰۱۲



شکل ۵: ضرایب همبستگی و تعیین سال ۲۰۱۳

جدول ۵: مقادیر ضرایب همبستگی و تعیین

سال	R^2	RMSE	R
۲۰۰۸	۰/۷۵	۳/۵	۰/۸۶
۲۰۰۹	۰/۸۱	۵/۶	۰/۹۰
۲۰۱۲	۰/۸۹	۴/۸۱	۰/۹۴
۲۰۱۳	۰/۷۵	۵/۰۷	۰/۸۶

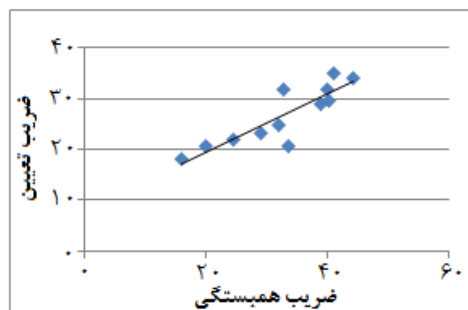
اختلاف بین دمای حاصل از ماهواره و دمای میدانی می‌تواند به دلیل عوامل زیر باشد:

- یکی از اندازه‌گیری‌ها و یا هر دو آن‌ها می‌توانند خطا داشته‌باشند.

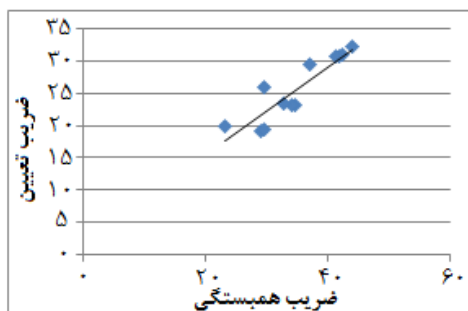
- اندازه‌گیری‌ها به وسیله ماهواره، دمای سطحی را نشان می‌دهند؛ در حالی که اندازه‌گیری‌هایی که به وسیله بویه انجام می‌شود، معمولاً مربوط به دمای زیر سطحی هستند. درست است که نباید اختلاف شدیدی بین این دو نوع اندازه‌گیری باشد، ولی باین‌حال، اختلافات بارزی ممکن است به خاطر سرعت باد و شرایط سطحی رخ دهد.

- دماهای اندازه‌گیری‌شده به وسیله ماهواره یک منطقه را در برمی‌گیرد در حالی که داده‌های حاصل از بویه یک مقدار نقطه‌ای است (مربوط به یک نقطه می‌شود) و همین مورد می‌تواند اختلافات زیادی را به‌خصوص در مناطقی که گرادیان دما داریم، ایجاد

۳۰/۶/۲۰۱۲	۴۰/۶۰
۳۰/۷/۲۰۱۲	۴۴/۹۰
۳۰/۸/۲۰۱۲	۴۴/۸۳
۳۰/۹/۲۰۱۲	۴۲/۱۳
۳۰/۱۰/۲۰۱۲	۳۸/۶۹
۳۰/۱۱/۲۰۱۲	۳۶/۸۲
۳۰/۱۲/۲۰۱۲	۳۲/۱۵
۳۰/۱/۲۰۱۳	۲۲/۰۶
۳۰/۲/۲۰۱۳	۱۶/۶۱
۳۰/۳/۲۰۱۳	۳۲/۱۶
۳۰/۴/۲۰۱۳	۲۷/۷۱
۳۰/۵/۲۰۱۳	۴۰/۸۹
۳۰/۶/۲۰۱۳	۴۱/۱۸
۳۰/۷/۲۰۱۳	۴۱/۵۷
۳۰/۸/۲۰۱۳	۴۲/۶۶
۳۰/۹/۲۰۱۳	۴۰/۹۰
۳۰/۱۰/۲۰۱۳	۳۸/۱۹
۳۰/۱۱/۲۰۱۳	۳۲/۸
۳۰/۱۲/۲۰۱۳	۲۲



شکل ۲: ضرایب همبستگی و تعیین سال ۲۰۰۸



شکل ۳: ضرایب همبستگی و تعیین سال ۲۰۰۹

مدل	B	Std.Error	Beta	T	Sig
Constand	۷۲۶/۳۹۸	۳۳۰/۹۱۲	-	۲/۱۹۵	۰/۳۶
Tb11	-۲/۱۸۱۸	۱/۲۶۵	-۳/۶۱	-۲/۲۲۷	۰/۰۳۳
Db11	۲۷/۴۹۵	۹/۹۹۶	۴/۴۸۶	۲/۲۲۷	۰/۰۱
Teta	-۰/۰۱۲	۰/۰۲۳	-۰/۰۴۶	-۰/۵۰۲	۰/۶۱۹

طبق نتایج جدول ۷ الگوریتم جهانی به صورت زیر برای منطقه‌ی خلیج فارس بر اساس نتایج سه سال (۲۰۱۲، ۲۰۰۹، ۲۰۰۸) تغییر می‌یابد:

(رابطه ۴)

$$SST = (-2.818 \times T11) + (27.495 \times d) - (0.012 \times (\sec(\text{teta}))) + 726.398$$

T11 دمای تابشی باند ۳۱، d اختلاف دمایی باند ۳۱ و ۳۲ و Teta زاویه سنجنده است. برای آزمایش الگوریتم کالیبره شده، مجدداً برای سال ۲۰۱۳ که به عنوان سال شاهد در نظر گرفته شده است اعمال محاسبات و سنجش، انجام داده شده است که نتایج آن به قرار جدول ۸ است:

جدول ۸: نتایج آزمایش الگوریتم کالیبره شده برای سال ۲۰۱۳

تاریخ	دمای تصویر
۳۰/۱/۲۰۱۳	۲۲/۶۲
۳۰/۲/۲۰۱۳	۱۶/۲۳
۳۰/۳/۲۰۱۳	۲۴/۵۳
۳۰/۴/۲۰۱۳	۲۱/۹۲
۳۰/۵/۲۰۱۳	۳۱/۱۸
۳۰/۶/۲۰۱۳	۳۱/۳۲
۳۰/۷/۲۰۱۳	۳۲/۱۵
۳۰/۸/۲۰۱۳	۳۲/۹۶
۳۰/۹/۲۰۱۳	۳۱/۴۱
۳۰/۱۰/۲۰۱۳	۲۹/۳۲
۳۰/۱۱/۲۰۱۳	۲۳/۵
۳۰/۱۲/۲۰۱۳	۲۵/۱۱

این نتایج نشان می‌دهد، مقدار ضریب تعیینی که با استفاده از الگوریتم جهانی به دست آمده بود، نسبت به مقدار ضریب تعیینی که از الگوریتم کالیبره شده به دست آمده پایین تر می‌باشد. ضریب تعیین حاصل از الگوریتم جهانی برای سال ۲۰۱۳ به مقدار ۰/۷۵ بوده است. ضریب تعیین حاصل از الگوریتم کالیبره شده برای سال ۲۰۱۳ به مقدار ۰/۹۴ شده و RMSE آن

کند.

در کل این امر بستگی به شرایط مختلفی دارد. دریاهایی که ارتباط ضعیفی با آب‌های آزاد دارند و همچنین در عرض‌های میانه و بالا قرار داشته باشند، تغییرات دمایی بالاتری دارند اما با این حال از تغییرات دمایی آن‌ها در خشکی به مراتب پایین تر است. یکی دیگر از موارد مؤثر عمق آب است. با توجه به ویژگی‌های حرارتی آب هر جا عمق آب بیشتر باشد، توان ذخیره گرمایی بیشتری وجود دارد و این امر باعث می‌شود هم در فصول گرم دمای آب زیاد بالا نرود و در فصول سرد نیز دمای آب بیشتر از حد پایین نیاید؛ اما عوامل دیگر مانند تلاطم و جریانات دریایی این امر را دچار تغییراتی می‌کند.

بعد از اینکه دمای روشنایی تصاویر با استفاده از داده‌های جدول پیشین و نرم افزار SPSS با روش رگرسیون خطی، خط رگرسیونی برای به دست آوردن رابطه‌ای خطی بین دمای اندازه‌گیری شده و دمای روشنایی استخراج شده از تصاویر، برآش شده است. در روش برآش خطی، دمای بویه را به عنوان متغیر وابسته و دمای باند ۳۱ و تفاوت دمای باند ۳۱ و ۳۲ و زاویه‌ی ماهواره به عنوان متغیرهای مستقل وارد شده‌اند.

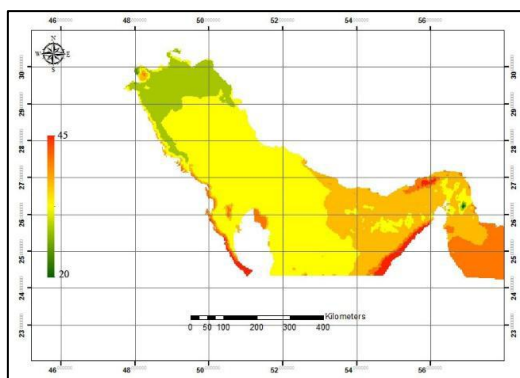
جدول ۶: نتایج تحلیل واریانس رگرسیون خطی

منبع تغییرات	رگرسیون	باقیمانده	مجموع
درجه‌ی آزادی	۳	۳۱	۳۴
مجموع مربعات	۹۱۱/۲۸۲	۲۵۴/۶۳۶	۱۱۶۵/۹۱۸
میانگین م. مربعات	۳۰۳/۷۶۱	۸/۲۱۴	
آماره‌ی F	۳۶/۹۸۱		
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰		

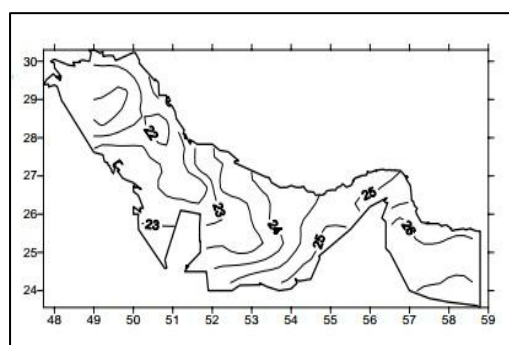
نتایج واریانس رگرسیون در جدول ۶ نشان می‌دهد که آماره‌ی F با ۳۶/۹۸۱ و سطح معنی‌دار ۰/۰۰۰ مدل رگرسیون شدیداً معنی‌دار است. پس طبق این نتایج ضمن برآورد دقیق، نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی خطی بسیار بالایی بین متغیر وابسته (دمای بویه) و متغیرهای مستقل است.

Tb11 دمای تابشی باند ۳۱، DB11 اختلاف دمای تابشی باندهای ۳۱ و ۳۲ و Teta زاویه‌ی سنجنده است که پارامترهای استفاده شده در رابطه ۴ هستند.

جدول ۷: ضرایب حاصل از رگرسیون

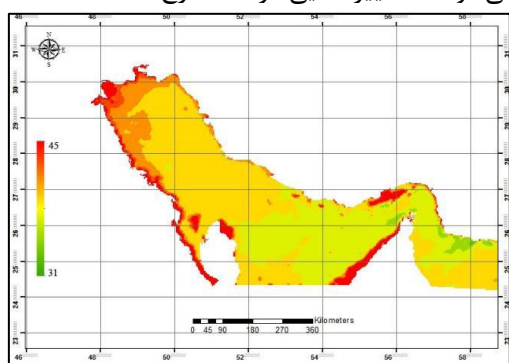


شکل ۶: نقشه دمایی خلیج فارس در ماه مارس سال ۲۰۰۸



شکل ۷: نقشه فصلی SST در خلیج فارس در زمستان

اعمال نیروی تنش باد بر روی سطح دریا و توزیع چگالی باعث ایجاد الگوهای جریانی در دریا می‌شود. این جریانات در برخی نواحی باعث به وجود آمدن جریانات فراچاهی می‌شود که باعث می‌گردد آب سرد زیرین به سطح دریا آورده شود. این پدیده، موجب می‌شود که تغییر دمایی در SST رخ دهد.

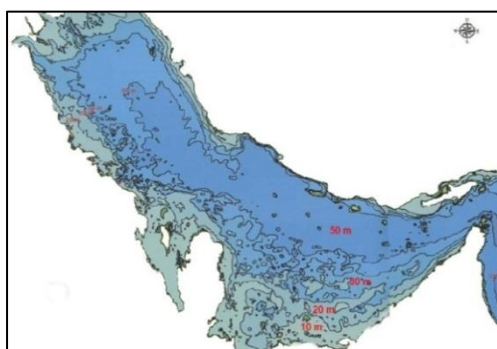


شکل ۸: نقشه دمایی خلیج فارس در ماه ژوئن سال ۲۰۰۹

بنابراین هرگونه بحث یا بررسی بر روی وضعیت جوی، خواه ناخواه منجر به شناخت قبلی از وضعیت آنومالی‌های SST و نقشه‌های آن می‌گردد و از طرف دیگر SST متغیر اصلی در ایجاد تبدلات انرژی در

نیز برابر با ۱/۵ شده است. این بیانگر اصلاح و بهینه شدن رابطه جهانی دمای سطح آب برای خلیج فارس است. با اعمال روابط جهانی و الگوریتم پیشنهادی بر روی تمام تصاویر دمای سطح دریا برای تهیه نقشه-های دمای سطح دریا از منطقه محاسبه شده است (شکل‌های ۶ تا ۱۰). در کل استفاده از منابع اطلاعاتی جدید و روش‌های بهینه‌تر در برآورد و اندازه‌گیری دمای سطح دریا مؤثر بوده است. با استفاده از تصاویر مودیس و مراحل مختلف پردازش و تفسیر این تصاویر در نهایت دمای سطحی از باندهای حرارتی آن استخراج گردیده‌اند. این دماها به علل مختلف از قبیل تأثیرات اتمسفر و توان گسیلمندی اجسام مختلف نمی‌تواند به عنوان دمای جسم در نظر گرفته شود؛ بنابراین نیاز به تصحیحات برای به دست آوردن دمای جسم است. برای این امر از روش اختلاف دمایی بین دو باند به عنوان تصحیح اتمسفری استفاده شد و با انجام تحلیل آماری معادله خطی برای برآورد مقادیر دمای جسم با استفاده از باندهای ۳۱ و ۳۲ به دست آمده است. بررسی‌ها بیانگر انتقال شمال غربی تا جنوب شرقی مربوط به تنش باد است و نیز تغییرپذیری شدید درون سالی SST بر روی سطح دریا را نشان می‌دهد. الگوی تغییرات SST الگوی دریایی نیست بلکه شبیه به یک الگوی قاره‌ای است. به علت طبیعت عمق کم، خلیج فارس شدیداً تحت تأثیر رانش باد، اثرات اصطکاک کف و نیروهای ترموهالین قرار دارد. رژیم‌های جریان در امتداد سواحل سعودی (فروچاهی) و ایران (فراچاهی) می‌گردد. نتایج مدل‌های گردش، بیانگر آن است که بیش‌تر این درون‌شارش هرمز که در شرق جبهه‌ی قطری شارش می‌یابد، به یک جریان چرخندی ختم می‌شود. این چرخند به صورت یک آنومالی SST در تصاویر ماهواره آشکار می‌شود. نتایج چنین مدل‌های گردش و مشاهدات در خلیج فارس نشان می‌دهد که جریان درون‌شارشی در امتداد سواحل ایران به وسیله-ی باد شمال در زمستان تضعیف می‌شود، اما در تابستان قوی شده و حتی تا شمال خلیج ادامه می‌یابد.

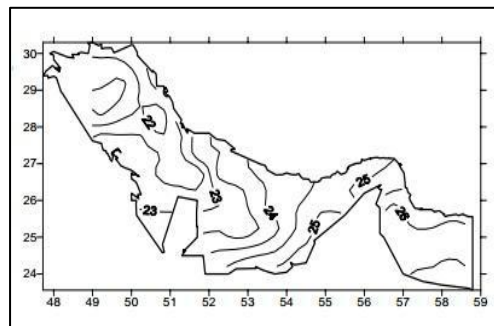
دیگر مانند تلاطم و جریانات دریایی این امر را دچار تغییراتی می‌کند. برای بررسی ارتباط بین تغییرات دمایی در خلیج فارس و عمق آب ابتدا DEM منطقه خلیج فارس از داده‌های نقاط ارتفاعی با فواصل ۰/۰۸ درجه جغرافیایی (حدوداً ۷ کیلومتر) تولید شده‌است. محدودیتی که در این زمینه وجود دارد یکی این است که داده‌ها قسمت جنوبی خلیج فارس را نمی‌پوشاند. البته این محدوده بسیار کوچک است و دیگر این که این نقاط به صورت منظم با فواصل معین هستند، بنابراین احتمال دارد مناطقی بین دو منطقه مفروض دارای ارتفاعی کمتر یا بیشتر باشد که در داده‌ها لحاظ نشده باشد؛ اما به خاطر این که داده‌های مناسب‌تری برای این امر در دست نیست به همین داده‌ها اکتفا شده‌است. با استفاده از نرم افزار Idrisi و توابع واسطه یابی از نقاط ارتفاعی DEM با ابعاد پیکسلی ۵۰۰ متر تهیه شده‌است (شکل ۱۱).



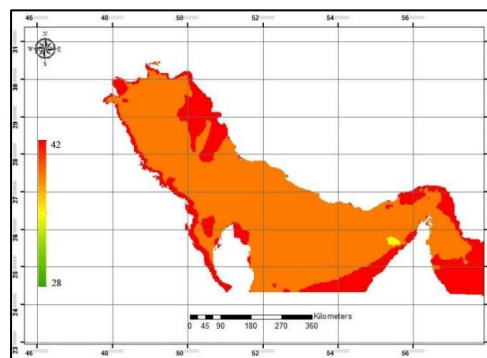
شکل ۱۱: مدل ارتفاعی رقومی خلیج فارس

برای به دست آوردن تغییرات دمایی در خلیج فارس از تصاویر دمای سطح دریا (آب) در یک مرحله حداکثر در مرحله دیگر حداقل محاسبه می‌گردد. بدین صورت شده‌اند که بالاترین دمای پیکسل‌ها در تمام تصاویر به عنوان دمای پیکسل خروجی برای تصویر حداکثر (شکل ۱۲) و به عکس برای تصویر حداقل (شکل ۱۳) در نظر گرفته‌شد. با توجه به مباحث ذکر شده در رابطه با ارتباط تغییرات دمایی آب با عمق و دیگر پارامترهای موجود در منطقه برای بررسی این ارتباط، تصویر حداکثر دمای منطقه (شکل ۱۲) بر اساس تصاویر موجود و تصویر حداقل دمایی (شکل ۱۳) محاسبه شده‌اند و بعد تصویر حداقل از حداکثر کسر گردیده که تصویر به دست آمده به عنوان

سطح دریا است و خود نیز عمدتاً توسط این تبادل تعیین می‌شود. به طور کلی دریا و اقیانوس از ظرفیت گرمایی بالایی برخوردار هستند و وضعیت گرمایی را در سیستم اقلیم جهانی کنترل می‌کند. از طرفی شرایط جوی و تغییرات آن وابسته به شرایط اقیانوس و دریا و به ویژه SST است.



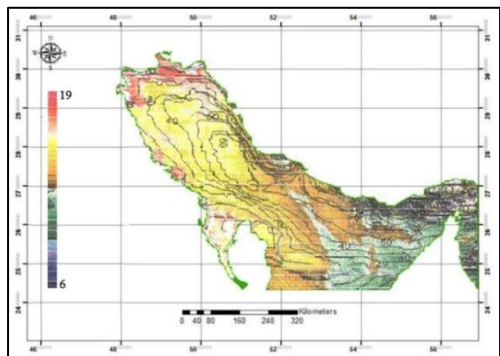
شکل ۹: نقشه‌ی فصلی SST در خلیج فارس در بهار



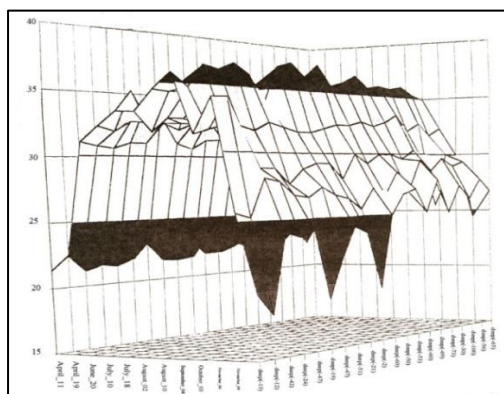
شکل ۱۰: نقشه دمایی خلیج فارس در ماه آگوست سال ۲۰۱۲

سایر عامل‌هایی که SST را تغییر می‌دهند عبارتند از: شار تابش خالص در سطح زمین، تبخیر سطحی که با SST اثر متقابل دارد و انتقال گرمای محسوس. همان‌طور که ذکر شد، میزان تغییرات دمایی پهنه‌های آبی کم است اما باید در نظر داشت که این امر بستگی به شرایط مختلفی دارد. دریاهایی که ارتباط ضعیفی با آب‌های آزاد دارند و همچنین در عرض‌های میانه و بالا قرار داشته‌باشند، دارای تغییرات دمایی بالاتری هستند، اما با این حال از تغییرات دمایی آن‌ها در خشکی به مراتب پایین‌تر است. یکی دیگر از موارد موثر عمق آب است. با توجه به ویژگی‌های حرارتی آب هر جا عمق آب بیشتر باشد توان ذخیره گرمایی بیشتری وجود دارد و این امر باعث می‌شود، هم در فصول گرم دمای آب زیاد بالا نرود و هم در فصول سرد نیز دمای آب بیشتر از حد پایین نیاید؛ اما عوامل

همچنین برای این که ارتباط تغییرات دمایی با عمق بررسی گردد تصویر تغییرات دمایی بر روی نقشه‌ی عمق قرار داده شده است (شکل ۱۵)، تا به خوبی ارتباط عمق در ارتباط با مقادیر تغییرات دمایی مشخص گردد.



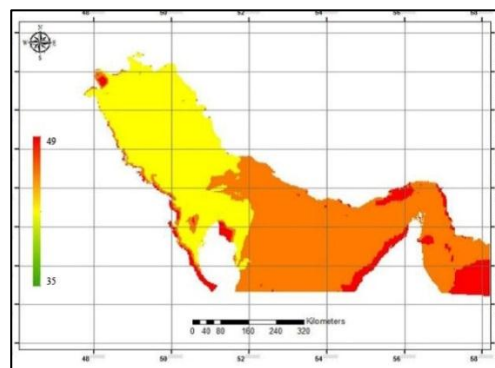
شکل ۱۵: تلفیق مدل ارتفاعی رقومی و تغییرات دمایی



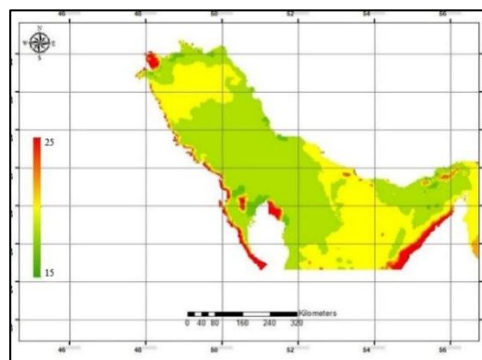
شکل ۱۶: ارتباط تغییرات دمایی با عمق

وقتی عمق منطقه را در ارتباط با دیگر مناطق در نظر بگیریم، مشاهده می‌کنیم که در این منطقه عمق نسبت به دیگر مناطق کمتر است (بین صفر تا ۳۰ متر) که این نشان دهنده‌ی این است که در این مناطق کم عمق میزان تغییرات دمایی بالاتر از دیگر مناطق است. البته برای این که خلیج فارس در چند عرض جغرافیایی (۶ درجه) گسترش دارد و همچنین به وسیله‌ی خشکی پهناوری احاطه شده است و در زمستان شرایط زمستان بر این منطقه حاکم می‌شود، نمی‌توان تنها عمق کم منطقه را دلیل تغییرات دمایی بالا در این منطقه ذکر کرد. به همین منظور دمای چند عمق مختلف استخراج گردیده (در عرض‌ها و

تغییرات دمایی در خلیج فارس مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به شکل‌های ۱۴ و ۱۵ و ۱۶، در نظر اول بیشترین تغییرات دمایی در ناحیه‌ی شمالی خلیج فارس (سواحل ایران و کویت) مشاهده است.

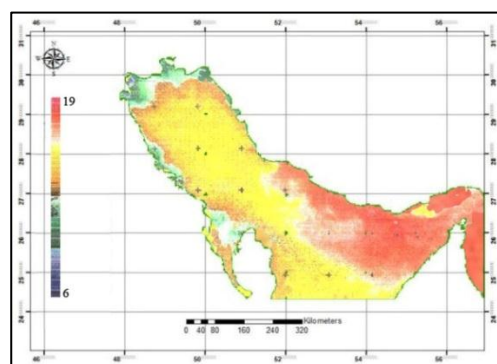


شکل ۱۲: نقشه حداکثر دمای سطح خلیج فارس



شکل ۱۳: نقشه حداقل دمای سطح خلیج فارس

برای به دست آوردن تصویری که نشان دهنده‌ی تغییرات دمایی در خلیج فارس باشد، تصویر حداقل از تصویر حداکثر کسر گردید که نتیجه‌ی آن تصویری است (شکل ۱۴) که نشان دهنده‌ی میزان تغییرات دمایی در خلیج فارس است.



شکل ۱۴: نقشه‌ی تغییرات دمایی خلیج فارس

تغییرات دمایی در عرض‌های پایین نسبت به عمق آب است.

منابع

- Brown, O.B. and Minnet P.J., 1999. MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm. Algorithm Theoretical Basis Document, University of Miami.
- Bouali, M., Ignatov, M., 2013. Destriping of VIIRS and MODIS SST imagery. Workshop in Centre de Meteorologic Spatiala, eteo France, Lannion, March.
- Brown, O.B., Brown, J.W., Evans, R.H., 1985. Calibration of advanced very high resolution radiometer infrared observations. *Jgr-oceans*, (1978–2012), 90: 11667-11677.
- Cogan, J.L., Willand, J.H., 1976. Measurement of sea surface temperature by the NOAA 2 satellite. *Applied Meteorology*, 15: 173-180.
- Donlon, C. J., P.J., Minnett, C. Gentemann, T.J. Nightingale, I.J. Murray, 2002: Toward improved validation of satellite sea surface temperature measurements for climate research. *J. Climate*, 257:37- 52.
- Gowda, H., Manikiam, Hand Chandrasekhar, M. G. 1993. Remote sensing for marine fisheries
- Huang . W And Fang , M, 1998. Monthly Composites Of Sea Surface Temperature Of The South China Sea . *Int . Remote Sensing . Vol 19 . No13* 2435-2438(34).
- Lee, C., Schaaf, T., 2008. United Nations Environment Programme (UNEP).
- Kearns, E.J., J.A. Hanafin, R.H. Evans, P.J. Minnett, and O.B. Brown, 2012. An independent assessment of Pathfinder AVHRR sea surface temperature accuracy using the Marine-Atmosphere Emitted Radiance Interferometer (MAERI). "Bulletin of the American Meteorological Society.", vol. 81(7), p. 1525-1536, 2000.
- Kim, D.-I., Matsuyama, Y., Nagasoe, S., Yamaguchi, M., Yoon, Y.-H., Oshima, Y., Imada, N., Honjo, T., 2004. Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful red tide
- اعماق مختلف) تا این ارتباط از این طریق سنجیده شود. همان طور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌گردد، میزان تغییرات در نواحی کم عمق در عرض‌های بالاتر بیشتر از عرض‌های پایین است. بنابراین می‌توان گفت که در عرض‌های بالا تغییرات دمایی شدیدتر از dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae). *J. Plankton Res.* 26, 61–66.
- Loewe, P., 2003. Weekly North Sea SST Analysis since 1968. Original digital archive held by Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, D-20305 Hamburg, P.O. Box 301220, Germany.
- Li, X., Krasnopolsky, V. and Sapper, J., 2001. Validation of coastal Sea and lake Surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR. remote sensing. 27, 35– 59.
- Marouna Bouali and Alexander Ignatov, Destriping of VIIRS and MODIS SST imagery, Workshop in Centre de Meteorologic Spatiala, eteo France, Lannion, March 2013.
- Minnett, P.J., Evans, R., and Brown O.B. (2003). MODIS Terra sea surface temperature thermal (SST) and mid-infrared (SST4) data quality summary.
- Reynolds, R.W. and T.M. Smith, 1994. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation," *J. Climate*, vol. 7, p. 929-948.
- Reynolds, R.M., 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-results from the Mt Mitchell expedition. *Mar. Pollut. Bull.* 27, 35– 59.
- ROPME, Kuwait. Sur, H. and Ozsoy, E. and Ibrayer, R. 2000. Satellite derived flow characteristic of the Caspian Sea.
- Saunders, R.W., and Minnett, P.J., 1990. The measurement of sea surface temperature from the C-130. MRF Internal Note No. 52. Meteorological Research Flight, Royal Aerospace Establishment, Farnborough, Hampshire, U.K., 16pp .
- Wilson, A., Hook, J., 2012. Relationship between Modis Bands For MCSST. international GHRSSST user symposium, Santa Rosa, California. USA.

The evaluation of sea surface temperature and the relationship between SST and depth in the Persian Gulf by MODIS

Khosro Fazelpoor*, Ali Dadollahi Sohrab, Heeva Elmizadeh, Hosein Mohammad Asgari, Sayyed Hossein Khazaei

Department of Enviroment, Faculty Of Natuaral Resources, Khorramshahr University of Marin Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

Abstract

Sea surface temperature (SST) is one of the most widely used parameters in studies pertaining to oceanography and the atmosphere. Water surface temperature changes from time to time and plays a significant role in waters and activities of atmospheric system, survival of marine creatures, sea currents, level of salinity and other conditions of sea and lake waters. In order to provide SST images over the Persian Gulf, the MODIS on board the Aqua Satellite was used. Applying lighting assessment out of images from Modis 21-Level 1B Calibrated Radiances -1km in Persian Gulf and the Bushehr sea station (Bouyeh) from global algorithm specified for above sensor was used to estimate the sea surface temperature. With function of Matlab software to extract data of satellite images, and GIS software to convert the matrix obtained, the maps of sea surface temperature were used. 48 images taken in 2008, 2009, 2012, and 2013 were selected. Their correlation coefficient was 0.75, 0.86, and 0.75 respectively. Also, the coefficient of determination obtained was 0.86, 0.90, 0.94 and 0.86 respectively. Finally, taking the 31 band temperature into consideration for the years 2008, 2009, 2012, the temperature differences of bands 31 and 32, the sensor angle as independent factors and the Bouyeh temperature as the affiliated factor, the global algorithm coefficient for the Persian Gulf was calibrated through SPSS. In order to check the correctness of the suggested algorithm, the sea surface temperature was re-examined with satellite images from 2013 and the obtained correlation coefficients were 0.96 and 0.94. According to this study, apart from depth, other factors such as sea currents and latitude also have an effect on sea surface temperature. The amount of temperature change especially in the northern and central latitudes, have an inverse relation with depth.

Keywords: Satellite Images, Modis Sensor, Sea Surface Temperature, Depth and and Persian Gulf.

Table 1: Measured temperature of buoys in different times

Table 2: Factors related to reverse the Planck function

Table 3: Factors related to the universal Modis_SST algorithm

Table 4: The results of the calculations

Table 5: Correlation coefficients and coefficients of determination

Table 6: analysis of linear regression variance

Table 7: regression coefficients

Table 8: calibration algorithm test results for 2013

Figure 1: The study area

Figure 2: Correlation coefficients and coefficients of determination 2008

Figure 3: Correlation coefficients and coefficients of determination 2009

Figure 4: Correlation coefficients and coefficients of determination 2012

* Corresponding author, E-mail: Fazelpoor68@gamil.com

-
- Figure 5: Correlation coefficients and coefficients of determination 2013
Figure 6: temperature map of the Persian Gulf in March 2008
Figure 7: Maps SST in the Persian Gulf in the winter season
Figure 8: temperature map of the Persian Gulf in June 2009
Figure 9: Maps seasonal SST in the Persian Gulf in spring
Figure 10: temperature map of the Persian Gulf in August 2012
Figure 11: Digital Elevation Model Persian Gulf
Figure 12: The maximum surface temperature map of the Persian Gulf
Figure 13: Map of the Persian Gulf minimum temperature
Figure 14: Maps temperature changes Persian Gulf
Figure 15: Integrating Digital Elevation Model and temperature change
Figure 16: correlation between variations in temperature with depth