



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Evaluation of Long-Term Sea Surface Temperature (SST) Changes in the Southern Water Bodies of Iran Using Multisource Satellite and Reanalyzed Data.

Mahmoud Ahmadi^{1*}, Saba Sabeti

¹ Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Master., Department of Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/04/9

Revised: 2025/04/30

Accepted: 2025/03/5

Keywords:

Sea Surface Temperature (SST),
ECMWF Database,
AVHRR Sensor
, MWOI Satellite Data
, Southern Water Bodies.

*Corresponding author:

ma_ahmadi@sbu.ac.ir

Doi: [10.52547/joc.15.60.9](https://doi.org/10.52547/joc.15.60.9)

ORID: [0000-0003-2574-5140](https://orcid.org/0000-0003-2574-5140)

ABSTRACT

Background and Theoretical Foundations: Climatic processes have widespread effects on the lives of humans and living organisms, particularly sea surface temperature (SST) changes, which play a key role in the distribution of heat from tropical to polar regions. These changes can influence weather patterns and climatic phenomena such as precipitation, wind, and air temperature. SST is affected by factors like ocean currents, wind speed, and temperature, and can impact regions far from the coastline. Various studies have shown that SST variations influence rainfall in different parts of the world, including Iran. These changes are particularly linked to events like El Niño oscillations and climate change in tropical areas. Investigating SST is crucial for predicting natural phenomena, managing crises, and improving weather forecasting models, as it helps to better understand the relationships between air and sea.

Methodology: In this study, sea surface temperature (SST) data were used to analyze temperature change trends. The data included SST retrievals from the ECMWF ERA-Interim database for the years 1980 to 2015, satellite remote sensing SST data from the NOAA AVHRR sensor for the years 1981 to 2006, and MWOI satellite data for 1998 to 2015. SST data with a spatial resolution of 0.125°×0.125 degree were extracted from the ECMWF database for the period 1979 to 2015 on a daily basis. Monthly SST data were obtained using the AVHRR sensor, and MWOI microwave satellite datasets were used for marine biology monitoring and SST changes. To evaluate the SST trends, the non-parametric Mann-Kendall test was applied, which is capable of identifying non-linear trends and is resistant to outliers. This method is particularly effective for studying short-term changes and climatic patterns such as El Niño and La Niña.

Findings: This research analyzed the spatiotemporal changes of sea surface temperature (SST) in the southern waters of Iran from 1980 to 2015. Initially, SST data from the ECMWF ERA-Interim database were used to analyze SST trends on a monthly scale. The results showed significant seasonal variations in SST, especially in the Persian Gulf, which experiences higher temperature fluctuations due to its shallow depth and high salinity compared to the Sea of Oman and the Indian Ocean. During the warmer seasons, the Persian Gulf has higher temperatures due to the influx of colder river waters and its shallow depth, while the Sea of Oman and the Indian Ocean exhibit less temperature fluctuation. Mann-Kendall trend analysis revealed an increasing SST trend in the Persian Gulf in most months, with some areas showing decreasing trends. These temperature changes have varying effects on coastal ecosystems and marine life depending on the season. Additional analysis using AVHRR and MWOI satellite data indicated that the temperature differences between satellite data sets were due to differences in imaging conditions and measurement instruments. Overall, the study demonstrates that the Persian Gulf, due to its unique geographical features, experiences greater temperature fluctuations than other regions, and these changes can have significant impacts on local coastal and marine ecosystems.

Conclusion: This study examined the spatiotemporal changes of sea surface temperature (SST) in the southern waters of Iran. SST variations were analyzed using remote sensing data from the AVHRR and MWOI sensors, as well as ECMWF data. The results indicated that the Persian Gulf exhibits the greatest SST fluctuations, while the Indian Ocean shows the least variability. Factors such as depth, area, and salinity significantly influence SST fluctuations. Additionally, the analysis of temperature trends showed an increasing trend in most months of the year, with some months exhibiting a decreasing trend. The Persian Gulf, due to its high temperature variability, has a more fragile ecosystem compared to the Sea of Oman and the Indian Ocean. The satellite data analysis also showed that the Persian Gulf experiences greater temperature variations than the Indian Ocean, and these changes are less pronounced during the warmer seasons.



NUMBER OF TABLES

0



NUMBER OF FIGURES

11



NUMBER OF REFERENCES

۲۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی تغییرات بلند مدت دمای سطح دریا (SST) در پهنه‌های آبی جنوبی ایران با استفاده از داده‌های چندگانه ماهواره‌ای و باز تحلیل شده

محمود احمدی^{۱*}، صبا ثابتی^۲^۱ دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

پیشینه و مبانی نظری پژوهش: فرایندهای آب‌وهوایی تأثیرات گسترده‌ای بر زندگی انسان‌ها و موجودات زنده دارند، به‌ویژه تغییرات دمای سطح دریا (SST) که نقش کلیدی در توزیع گرما از مناطق حاره‌ای به قطبی دارد. این تغییرات می‌تواند بر الگوهای جوی و پدیده‌های آب‌وهوایی مانند بارش، باد و دمای هوا تأثیر بگذارد. SST تحت تأثیر عواملی مانند جریان‌های اقیانوسی، سرعت باد و دما قرار دارد و می‌تواند نواحی دورتر از ساحل را نیز تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تغییرات SST بر بارش‌ها در مناطق مختلف دنیا، از جمله ایران، تأثیرگذار است. این تغییرات به‌ویژه در نواحی گرمسیری با رویدادهایی مانند نوسان ال‌نینو و تغییرات اقلیمی مرتبط است. بررسی SST برای پیش‌بینی پدیده‌های طبیعی، مدیریت بحران‌ها، و بهبود مدل‌های پیش‌بینی آب‌وهوایی اهمیت زیادی دارد و می‌تواند به درک بهتر روابط بین هوا و دریا کمک کند.

روش‌شناسی: در این تحقیق، داده‌های دمای سطح دریا (SST) برای تحلیل روندهای تغییرات دمایی استفاده شدند. داده‌ها شامل اطلاعات بازواکوی شده SST از پایگاه ECMWF نسخه ERA-Interim برای سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵، داده‌های ماهواره‌ای MWOI برای سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵ بودند. داده‌های SST با تفکیک مکانی $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ درجه قوسی برای دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ به‌صورت روزانه از پایگاه ECMWF استخراج شدند. همچنین، از سنجنده AVHRR برای داده‌های ماهانه SST و از مجموعه داده‌های مایکروویو MWOI برای پیش‌زیست دریایی و تغییرات SST استفاده شد. برای ارزیابی روند دمای سطح دریا، از آزمون ناپارامتریک من-کندال بهره‌برداری شد که توانایی شناسایی روندهای غیرخطی و مقاومت در برابر داده‌های پرت را داراست. این روش به‌ویژه برای بررسی تغییرات کوتاه‌مدت و الگوهای آب‌وهوایی مانند El Niño و La Niña مؤثر است.

یافته‌ها: این پژوهش به تحلیل تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح دریا (SST) در پهنه‌های آبی جنوب ایران طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ پرداخته است. در ابتدا، داده‌های SST از پایگاه ECMWF نسخه ERA INTERIM برای تحلیل روند تغییرات SST در مقیاس ماهانه استفاده شد. نتایج نشان داد که دمای سطح آب در فصل‌های مختلف تغییرات زیادی دارد، به‌ویژه در خلیج فارس که به علت عمق کم و شوری بالا، نوسان دمایی بیشتری نسبت به دریای عمان و اقیانوس هند تجربه می‌کند. در فصل‌های گرم، خلیج فارس به دلیل ورود آب‌های سرد رودخانه‌ای و عمق کم، دمای بالاتری دارد، در حالی که در دریای عمان و اقیانوس هند نوسان دمایی کمتری مشاهده می‌شود. تحلیل روند دما با استفاده از آزمون من-کندال نشان داد که در اکثر ماه‌ها، خلیج فارس روند افزایشی در دمای سطح آب داشته و در برخی مناطق نیز روند کاهشی مشاهده شده است. این تغییرات دمایی در فصول مختلف سال و در مناطق مختلف تأثیرات متفاوتی بر اکوسیستم‌های ساحلی و زندگی جانوری آبیان می‌گذارد. با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای AVHRR و MWOI، بررسی‌های اضافی نشان داد که اختلاف دمایی بین داده‌های ماهواره‌ای به دلیل تفاوت‌های در شرایط تصویربرداری و ابزارهای سنجش متفاوت است. به طور کلی، این مطالعه نشان می‌دهد که خلیج فارس به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی خاص خود، نوسانات دمایی بیشتری نسبت به دیگر نواحی دارد و این تغییرات می‌تواند اثرات قابل توجهی بر اکوسیستم‌های ساحلی و آبی منطقه داشته باشد.

نتیجه‌گیری: این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح آب (SST) در پهنه‌های آبی جنوب ایران پرداخته است. تغییرات SST با استفاده از داده‌های سنجش از دور از دو سنجنده AVHRR و MWOI و همچنین داده‌های ECMWF بررسی شده است. نتایج نشان داد که تغییرات SST در خلیج فارس بیشترین نوسان را دارد و در اقیانوس هند کمترین نوسان مشاهده می‌شود. عواملی همچون عمق، مساحت و شوری آب تأثیر زیادی بر نوسان SST دارند. همچنین، روند تغییرات دمای هوا و SST در این منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نشان‌دهنده روند افزایشی در بسیاری از ماه‌های سال و روند کاهشی در برخی ماه‌ها است. در خلیج فارس، روند تغییرات دما نسبت به دریای عمان و اقیانوس هند بیشتر است و این منطقه به دلیل نوسان دمایی بالا، اکوسیستم شکننده‌تری دارد. همچنین، نتایج تحلیل داده‌های ماهواره‌ای نشان داد که خلیج فارس دارای نوسان دمایی بیشتری نسبت به اقیانوس هند است و این تغییرات در فصل‌های گرم سال کاهش می‌یابد.

تاریخ دریافت: 20/1/1404

تاریخ بازبینی: 10/2/1404

تاریخ پذیرش: 15/12/1403

واژگان کلیدی:

دمای سطح دریا (SST)،

پایگاه ECMWF،

سنجنده AVHRR،

داده‌های ماهواره‌ای MWOI،

پهنه‌های آبی جنوب.

*نویسنده مسئول

ma_ahmadi@sbu.ac.ir

Doi: 10.52547/joc.15.60.9

ORID: 0000-0003-2574-5140

مقدمه

یک سوم سطح زمین از آب پوشیده شده که ما آن را اقیانوس، رودخانه، دریاچه و حوضچه می‌نامیم که در این میان، اقیانوس‌ها بیشترین سهم را دارند. اقیانوس هند^۱ یکی از مهم‌ترین حوزه‌های ژئوپلیتیکی جهان محسوب می‌شود به گونه‌ای که آینده مناسبات استراتژیکی و ژئوپلیتیکی بین‌الملل در این منطقه رقم خواهد خورد [۱].

قلم‌ها و فونت‌های قابل استفاده مقاله در جدول (۱) نشان داده شده همه جنبه‌های زندگی انسان و سایر موجودات زنده، به نوعی متأثر از فرایندهای آب و هوایی می‌باشد. هر نوع تغییری در موقعیت خشکی‌ها و دریاهای نسبت به یکدیگر سبب تغییراتی در آب و هوای منطقه می‌شود [۱]. حجم وسیعی از آب‌های کره زمین در دریاهای و اقیانوس‌ها متمرکز شده است این منابع آبی مقادیر زیادی از گرما، آب، گازها و ریزگردها و را به هواسپهر مبادله می‌کنند و نقش مهمی در توزیع گرمای جهان از مناطق حاره به مناطق قطبی با حرکت جریان‌های اقیانوسی دارند و سیاره را قابل سکونت می‌کنند [۲]. بیشترین بازخورد دینامیکی در میان مولفه‌های مختلف سامانه آب و هوایی بین اقیانوس و جو به وقوع می‌پیوندد [۳]. دمای سطح دریا (SST^2) دمای آب نزدیک به سطح دریاست؛ تعریف دقیق این پارامتر به دلایل پیچیدگی ساختار قائم دمایی ناشی از تلاطم پهنه‌های آبی، شارهای گرمایی، رطوبت و تکانه دریا - هواسپهر؛ مشکل است [۴]. همچنین باید توجه داشت که دمای سطح آب دریا معمولاً چند درجه خنک‌تر از چندین سانتی‌متر زیر سطح است. علت آن نیز وجود تبخیر و تابش مادون‌قرمز (IR) در سطح آب دریاهاست [۵]. همچنین دمای سطح آب اقیانوس‌ها و دریاهای در اثر تغییرات جریان‌های سطحی، سرعت باد، دمای هوای مجاور سطح آب، جریان‌های بالا سوی آب و بارش تغییر می‌کند و لایه‌ای مجزا از آب‌های زیرین خود ایجاد می‌کند [۶]. شناخت و تهیه نقشه‌های SST می‌تواند منجر به برآورد و پیش‌بینی‌های رخدادهای آب‌وهوایی به شکل ساده‌تری گردد. بر این اساس پژوهش‌های بسیاری نشان داده‌اند که تاثیر SST محدود به نقاط ساحلی نبوده بلکه نواحی بسیار دورتر از دریا نیز می‌تواند تحت تاثیر تغییرات الگوهای دمای سطح گستره‌های آبی قرار گیرد [۷]. در جدیدترین این پژوهش‌ها [۸]. تأثیر نوسان ماهانه SST دریای مدیترانه را بر نوسان بارش‌های شمال غرب ایران مورد مطالعه قرار دادند. پژوهش نامبرده نیز به شکل سنتی از داده‌های NCEP/NCAR استفاده کرده است و به این نتیجه رسیدند که همبستگی بین SST و بارش شناخت کلی از شرایط بارش را امکان‌پذیر می‌کند؛ نویسندگان اذعان داشته‌اند که برای چگونگی این ارتباط باید شرایط سینوپتیکی-ترمودینامیکی هواسپهر با این ارتباط در نظر گرفته شود. در پژوهش دیگری که جهت بررسی تاثیر SST اقیانوس هند بر بارش نیمه جنوبی کشور توسط [۹]. انجام شد نتیجه به دست آمده حاکی از نقش مهم اقیانوس هند در بیش از ۵۰ درصد بارش نیمه جنوبی کشور بود. در تحقیقی دیگر [۱۰]. به بررسی ارتباط بین SST شمال اقیانوس هند با بارش - های فصلی ایران پرداختند. در این پژوهش با استفاده از داده‌های پیوند از

دور به این نتیجه رسیدند که هرچه شمال اقیانوس هند گرم‌تر شود، به ترتیب بارش فصل پاییز با میزان همبستگی ۰/۱۷ و سپس فصل تابستان با میزان همبستگی ۰/۱۲ در بیشتر نقاط کشور افزایش و در سایر فصل‌ها بدون تغییر و یا اندکی کاهش می‌یابد. [۱۱]. به مقایسه SST روزانه در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ در سواحل جنوبی کارولینا ایالات متحده آمریکا با استفاده از داده‌های ماهواره ایی AVHRR و AMSR پرداختند؛ نتایج مطالعات آنان نشان داد شیب دمایی در دوره گرم و سرد سال بیش از ۵ درجه سانتی‌گراد است. شبیه‌سازی‌های آنان نشان داده است که مقدار RSS در مناطق گرمسیری و در دوره گرم سال پر اختلال‌تر از مناطق سردتر و زمستان است. آشکارسازی SST در مناطق ساحلی جهان با داده‌های ماهواره ایی تفکیک مکانی بالا در سه دهه اخیر پژوهشی است که [۱۲]. آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیدند که علیرغم این واقعیت که ۷۱٪ از ساحل‌های جهان به‌طور چشمگیری طی این سه دهه گذشته گرم شده‌اند، نرخ دگرگونی فضایی و فصلی بسیار ناهمگن است. [۱۳]. SST را توسط سنجنده MODIS را در یک دهه گذشته در خلیج مکزیک مورد ارزیابی قرار دادند و ضمن شرح منطق‌هایی دمای سطح دریا در منطقه نامبرده پیشنهاداتی در خصوص کالیبراسیون و اصلاح اثرات هواسپهری ارائه کرده‌اند که شرح این مورد در دایره مطالعاتی این پژوهش نمی‌گنجد. [۱۴]. تشکیل الگوی گرمایش جهانی را در ارتباط با SST و ریزش باران را حول منطقه حاره با استفاده از سناریو انتشار A1B و مدل دینامیکی سیالات ژئوفیزیکی (GFDL) و داده‌های مرکز ملی پژوهش‌های هواسپهری (NCAR) مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات بارش مناطق گرمسیری با انحرافات مکانی گرم شدن SST نسبت به میانگین بلندمدت مناطق گرمسیری رابطه مثبت دارد. همچنین آنان دریافتند که گرمایش جهانی با تغییر سرعت باد در مناطق گرمسیری رابطه منفی و با تغییرات حرارتی اقیانوس در مناطق بیرونی ارتباط مستقیم دارد. پژوهش [۱۵]. را می‌توان نسخه تکمیل‌شده [۱۴]. قلمداد کرد؛ نامبردگان به ارزیابی رابطه SST در مناطق حاره ایی و تابش بالای هواسپهر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دگرگونی اصلی در SST در سراسر مناطق گرمسیری با رویدادهای نوسان النینو جنوبی (ENSO) همراه است که غالب دگرگونی‌های انرژی در ستون هواسپهر از مبدل حرارتی اقیانوس از طریق تبخیر حاصل می‌شود و انتشار نزولی گرما در بارش و باز توزیع آن گرما در تشکیل بادهای میسر خواهد بود. تغییرات دوره ده ساله SST در دریای مدیترانه در ارتباط آن با تغییرپذیری هواسپهر توسط [۱۶]. انجام شده است. دگرگونی فضایی طولانی‌مدت SST مدیترانه عمدتاً با دگرگونی دما و افزایش گرم شدن جریان اقیانوسی اطلس در ارتباط است. واکاوی SST و دگرگونی سالانه بین شار حرارت خالص نشان‌دهنده یک همبستگی منفی با افزایش SST بلندمدت است و باعث کاهش جریان هوا-دریا در دریای مدیترانه از طریق افزایش چشمگیر در میزان تلفات گرما شده است.

عرصه‌ای که ایران در آن قرار گرفته است از منابع رطوبتی قابل توجه

² Sea Surface Temperature (SST)¹ Indian Ocean

هوای غالب آن گرم و مرطوب (نیمه خشک استوایی) است (پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، ۱۳۷۸).

دریای عمان با شکل مثلثی بین کشورهای ایران، عمان و پاکستان قرار دارد. حداکثر طول آن از شمال غرب تا جنوب شرق ۹۵۰ کیلومتر و حداکثر پهنای آن از شمال شرق به جنوب غرب حدود ۳۴۰ کیلومتر است (اطلس کشورهای جهان اسلام، ۱۳۹۴).

هند نیز سومین اقیانوس بزرگ جهان بعد از اقیانوس‌های آرام و اطلس می‌باشد. وسعت آن در حدود ۷۵۹۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و عمیق‌ترین قسمت آن در جنوب جزیره جاوه اندونزی و به عمق ۷۴۵۰ متر واقع شده است. حدود ۲۰ درصد از آب‌های کره زمین را تشکیل می‌دهد لذا می‌تواند به عنوان یک موتور دینامیکی عظیم در فرآیند تبادل انرژی نقش داشته باشد. در این تحقیق بخش شمالی این اقیانوس به دلیل نزدیکی به ایران و تأثیری که SST آن می‌تواند بر پارامترهای آب‌وهوایی ایران ایفا کند، در نظر گرفته شده است.

۱-۱- مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر با رهیافتی آماری داده‌های دمای سطح آب (SST) جهت پردازش و انجام محاسبات استفاده شدند. بدین صورت که ابتدا داده‌های بازو اکاوی شده SST پایگاه ECMWF نسخه ERA-Interim طی سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۸۰ اخذ و مورد پردازش قرار گرفت. سپس داده‌های سنجش از دور SST از سنجنده AVHRR در سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۸۱ و مجموعه داده‌های ماهواره‌ای MWOI در مدت سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۹۸ دریافت و مورد استفاده قرار گرفتند.

۱-۲- پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخه ERA-Interim

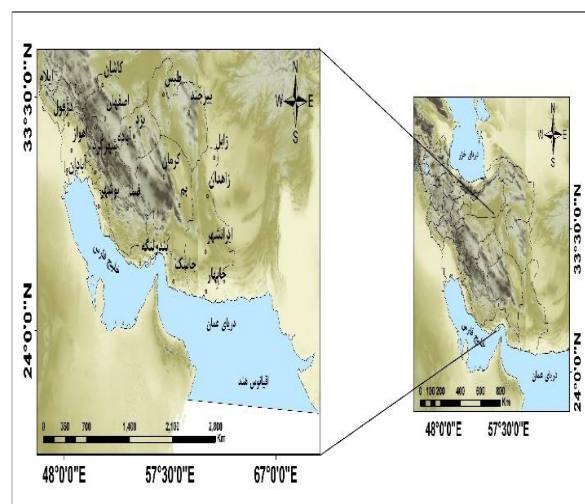
ERA-Interim توسط مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) تولید و توسعه داده می‌شود. این پایگاه با ارزیابی پراش ۴ بعدی (4D) در یک شبکه طیفی با تسطیح مثلثی ۲۵۵ موجی (تقریباً ۸۰ کیلومتر) اجرا و به بازپروری محصولات می‌پردازد. همچنین سامانه قائم آن پیوندی و دارای ۶۰ سطح می‌باشد. مدل جهانی ECMWF دارای ۱۲ ساعت است [۱۷]. داده‌های این پایگاه به شکل ساعتی از سال ۱۹۷۹ در دسترس می‌باشد که هرروزه توسط مرکز توسعه‌دهنده آن به‌نگام می‌شود. تفکیک مکانی این پایگاه نیز بسیار متنوع بوده به‌طوری‌که ۱۱ تفکیک مکانی مختلف از تارنمای این مرکز قابل سفارشی‌سازی و دریافت است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). در این پژوهش داده‌های SST با تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه قوسی برای دوره زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ میلادی به شکل روزانه خواهد بود

دریای مدیترانه در غرب، خلیج فارس و دریای عمان در جنوب، دریای خزر در شمال، همچنین دریای سیاه و اقیانوس هند تغذیه می‌شود. همچنین در ترابرد منابع رطوبتی به ساحل و ایجاد شرایطی تعدیلی و زیست-پذیری آب و هوایی در مناطق تحت تأثیر نقش چشمگیری دارند. لذا مطالعه و ارزیابی SST و بازنگری بازخوردهای محیطی و هواسپهری آن، برای اهداف بسیاری از جمله پیش‌بینی‌های طوفان، سیل، خشکسالی، مدیریت بحران، صنعت شیلات، مطالعات شار هوا-دریا ضروری است. از طرفی می‌تواند دریچه‌ای باشد جهت مطالعه شرایط لایه مرزی پهنه‌های آبی، که به‌عنوان یک مؤلفه کلیدی برای مدل‌های هواسپهری و مطالعات مرتبط با دگرگونی و مدل‌های پیش‌بینی آب‌وهوایی مفید خواهد بود.

پیشینه و مبانی نظری پژوهش

۱- منطقه مورد مطالعه

این تحقیق به بررسی تغییرات زمانی-مکانی SST در پهنه‌های آبی جنوب ایران می‌پردازد. لذا بر اساس دانش قبلی و با توجه به این که آب‌های جنوبی ایران در دست بررسی قرار گرفت، منطقه مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شد که در برگیرنده تمام مناطق تحت تأثیر این پهنه‌های آبی در کشور باشد. محدوده تحت تأثیر این دریاها شامل استان‌های مرکزی و جنوبی ایران (آبادان، آباد، اهواز، بزم، بندر لنگه، بندرعباس، بیرجند، بوشهر، چابهار، دزفول، دوگنبدان، اصفهان، فسا، ایلام، ایران‌شهر، جاسک، کاشان، کرمان، خرم‌آباد، شهرکرد، شیراز، طیس، یزد، زابل و زاهدان) است. مرز سه پهنه‌ی آبی جنوب کشور نیز که SST آن‌ها بررسی شد، در (شکل ۱) آمده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و مرز پهنه آبی مورد مطالعه

خلیج فارس با عمق متوسط ۳۰ - ۳۵ متر است و عمیق‌ترین بخش آن در نزدیکی تنگه هرمز به حدود ۱۰۰ متر می‌رسد. پهنای خلیج فارس ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر است و مساحت آن در حدود ۲۴۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. این خلیج در محدوده عرض‌های مناطق گرمسیری کره زمین و بین عرض‌های ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی قرار گرفته است. به همین جهت آب و

Sen's استفاده شده است. روش حاضر همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون من-کندال بر ارزیابی تفاوت بین مشاهدات سری زمانی استوار است [۲۱]. این روش، زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یک‌روند خطی باشد. اگر شیب خط دارای روند مثبت باشد حاکی از صعودی بودن روند و اگر منفی باشد دال بر نزولی بودن روند است. این بدین معناست که $f(t)$ در معادله (۲) برابر است با:

$$f(t) = Qt + B \quad (2)$$

در این رابطه Q ، شیب خط روند و B مقدار ثابت است. جهت مقایسه شیب خط روند یعنی Q ابتدا بایستی شیب بین هر جفت داده مشاهداتی، با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردد:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (3)$$

در رابطه (۳) $j > k$ است. در این رابطه x_k و x_j به ترتیب داده‌های مشاهداتی در زمان‌های j و k است. با اعمال این رابطه برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک شیب به دست می‌آید. با قرار دادن این شیب‌ها در کنار یکدیگر یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌آید. یعنی اگر n تعداد x_i در سری زمانی وجود داشته باشد ما به اندازه $N = n(n-1)/2$ برآورد شیب Q_i خواهیم داشت. در مرحله بعد سری زمانی مورد مطالعه به دست می‌آید. برای این کار N تعداد از Q_i ها از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند و سپس با استفاده از یکی از رابطه‌های زیر اقدام به تعیین میانه‌ی سری زمانی می‌گردد. اگر تعداد مشاهدات سری زمانی مورد مطالعه فرد باشد، از رابطه‌ی (۴) و اگر زوج باشد از رابطه‌ی (۵) استفاده می‌گردد [۲۲].

$$Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad (4)$$

$$Q = \frac{1}{2} [Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}] \quad (5)$$

نتیجه حاصل از این رابطه، به دست آمدن شیب خط روند (Q_{med}) است.

یافته‌ها و نتایج

نتایج این پژوهش به این شرح دسته بندی شد: در بخش اول تحلیل مکان مند داده‌های SST و دمای هوای با استفاده از داده‌های باز تحلیل شده پایگاه ECMWF نسخه ERA INTERIM، پرداخته شد و در نهایت روند (Z) و شیب روند (Q) پارامترهای فوق محاسبه گردید. بخش بعدی از یافته‌های تحقیق نیز در برگیرنده تغییرات زمانی-مکانی و تحلیل‌های حاصل از داده-های سنجش از دور SST از سنجنده AVHRR و مجموعه داده‌های ماهواره-ای MWOL می‌باشد.

-تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح دریا (SST) مبتنی بر داده‌های

۱-۳ داده‌های دمای سطح دریا (SST) سنجنده AVHRR

داده‌های دمای سطح آب (SST) از سنجنده AVHRR^۱ ماهواره NOAA دارای قدرت تفکیک پذیری مکانی ۲۵ کیلومتر نیز از سال ۱۹۸۲ تا کنون به صورت ماهانه دریافت شد. این سنجنده بازتابش زمین را در پنج باند طیفی وسیع و نزدیک به استانداردهای امروزی اندازه‌گیری می‌کند. این سنجنده با مدار قطبی متعلق به اداره ملی اقیانوس شناسی و جوی ایالات متحده آمریکا است. دو پرتو سنج نخست به سنجش مادون قرمز (۰/۶ میکرومتر) و فروسرخ (۰/۹ میکرومتر) می‌پردازد. پرتوسنج سوم به پایش طیف ۳/۵ میکرومتری و دو پرتوسنج دیگر انرژی حرارتی بازتابی زمین را در طول موج ۱۱ و ۱۲ میکرومتری پایش می‌کنند [۱۸].

۱-۴ داده‌های دمای سطح دریا (SST) مجموعه داده ماهواره‌ای

MWOL^۲

مجموعه مایکروویو (MW) با درون یابی بهینه (OI) SST از داده‌های مایکروویو (WindSat و AMSR2، AMSR-E، TMI) حاصل می‌شود. این مجموعه داده دقیقاً برای پایش زیست دریایی و شیلات توسعه داده شده است. تغییرپذیری کوتاه مدت SST، به ویژه که با شروع مراحل El Niño و La Niña همراه است، دارای نتایج قابل توجهی است. به عنوان مثال، شیلات تولیدی در مناطق رو به رشد شرق اقیانوس آرام با کاهش چشمگیر صید آبریان در مرحله گرم ال اینو روبرو می‌شود. علاوه بر این، این چرخه به شدت تحت تأثیر الگوهای بارندگی و آب و هوای جهانی است و منجر به جاری شدن سیل شدید در برخی مناطق و خشکسالی شدید و آتش سوزی در دیگر مناطق می‌شود.

۱-۵ ارزیابی روند و شیب روند دمای سطح دریا (SST)

روش‌های پارامتری و ناپارامتری برای شناسایی روند در پژوهش‌های بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما روش‌های ناپارامتری به دلیل توانایشان در پایش داده‌های پرت از یک سو و همچنین ضرورت نداشتن نرمال بودن داده‌ها از سوی دیگر، بیش‌تر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۱۹]. به منظور ارزیابی روند دمای ماهیانه از آزمون ناپارامتریک من-کندال^۲ استفاده شده است. این روش نیز همانند آزمون شیب خط سنس در مباحث علوم محیطی به‌طور گسترده‌ای کاربرد دارد [۲۰]. در آزمون من-کندال نمره Z از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$(1)$$

$$(2)$$

$$Z = \begin{cases} x = \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ x = \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

جهت برآورد شیب واقعی یک روند در سری زمانی از روش ناپارامتریک

¹ Advanced Very High Resolution Radiometer

² microwave (MW) optimally-interpolated (OI) (MWOL)

باز تحلیل شده ECMWF نسخه ERA INTERIM

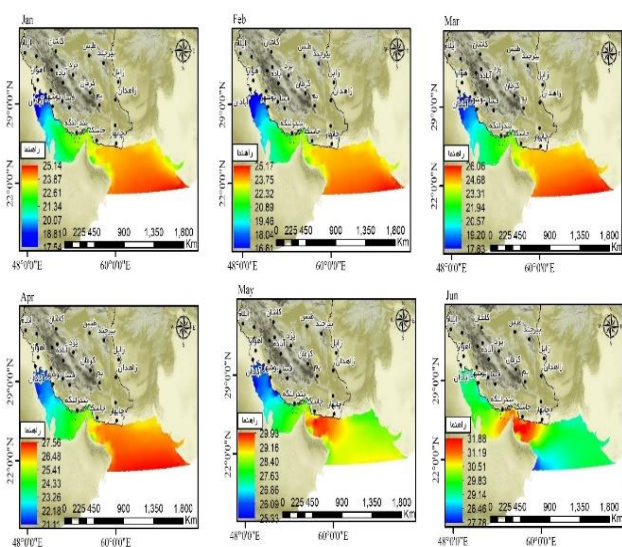
پس از اخذ داده‌های SST فوق طی ۳۵ سال (۱۹۸۰-۲۰۱۵)، در محدوده‌ی پهنه‌های آبی جنوب ایران، نقشه‌های مربوطه در مقیاس ماهانه ترسیم گردید. به جهت درک بصری بهتر، نقشه‌های ماهانه به صورت دو گروه شش ماهه ارائه خواهد شد.

(شکل ۲) و (شکل ۳) تغییرات زمانی-مکانی SST را با استفاده از پایگاه ECMWF نسخه ERA INTERIM طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد.

در (شکل ۲) دمای سطح آب دریا را در شش ماه نخست اول میلادی یعنی فصل‌های زمستان و بهار می‌بینیم. کمینه دمای سطح آب در فصل زمستان در ماه فوریه به میزان $16/61^{\circ}\text{C}$ رخ داده که این مقدار در بخش‌های شمال غرب خلیج فارس در حدود ایستگاه آبادان ثبت شده است. بیشینه دمای سطح آب نیز در ماه ژوئن به میزان $31/88^{\circ}\text{C}$ در دریای عمان در حدود بندر جاسک دیده می‌شود. بالاترین ضریب تغییرات دما نیز در این شش ماه متعلق به ماه فوریه با $8/56^{\circ}\text{C}$ اختلاف دمای بیشینه و کمینه در شمال غرب خلیج فارس و جنوب محدوده‌ی مورد نظر از اقیانوس هند می‌باشد. با توجه به (شکل ۲) در سواحل شمال غربی خلیج فارس به دلیل ورود آب‌های سرد رودخانه‌ای کارون و عمق کمی که این محدوده دارد [۲۳]. دمای کمتری نسبت به سایر مناطق نشان می‌دهد. بیشینه عمق محاسبه شده در این منطقه ۱۰۰ متر در ناحیه‌ی تنگه هرمز است. این دو عامل بازخوردی مستقیم در کاهش SST خلیج فارس ایجاد می‌کنند. کمینه دما در این ناحیه تا ماه می ادامه دارد ولی هرچه به سمت فصل گرم می‌رویم بیشینه دما از جنوب محدوده مورد نظر اقیانوس هند به سمت تنگه هرمز حرکت می‌کند.

به این ترتیب در ماه ژوئن بیشینه دما در شرق تنگه هرمز به دلیل عمق کمی که دارد به $31/88^{\circ}\text{C}$ و کمینه دما به قسمت جنوب غرب محدوده مورد نظر از اقیانوس هند منتقل شده است که میزان آن $27/78^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. نکته جالب توجه در بحث تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح آب (SST)، اتفاقی است که در محاسبه دمای دومتری از سطح دریا نیز رخ داده بود. این نکته که بالا بودن نوسان دمای خلیج فارس ($14/58^{\circ}\text{C}$) به دلیل عمیق نبودن و شوری آب و پایین بودن نوسان دمای دریای عمان ($8/13^{\circ}\text{C}$) است و همچنین نکته مهم تر این که میزان دمای محدوده مورد نظر از اقیانوس هند که حداقل دمای آن در ماه ژوئن ($27/78^{\circ}\text{C}$) در حدود شرق کشور عمان است، بیشینه دمای ($27/55^{\circ}\text{C}$) در ماه آوریل در جنوب این محدوده می‌باشد. این بدان معناست که در شش ماه اول میلادی محدوده‌ی اقیانوس هند به دلیل عمق زیاد، پهنه‌ی بزرگ تر و بنابراین بالا بودن ظرفیت گرمایی آب نوسان دمای بسیار کمی داشته و در ورود به فصل گرم (ماه ژوئن) با وجود حفظ دمای قبلی اما نسبت به خلیج فارس و دریای عمان سرد تر است. همانطور که می‌بینیم تاثیر عامل عمق و مساحت بیشتر آب باعث شده ظرفیت گرمایی آب در این قسمت بالا باشد. بنابراین فرایند گرم شدن آب طولانی خواهد شد. ولی کمتر بودن عمق آب، وجود عامل شوری و همچنین ورود آب‌های روانه‌ای در خلیج فارس

ظرفیت حرارتی آب را کمتر کرده و به همین جهت آب در این نواحی زودتر سرد و گرم شده است.



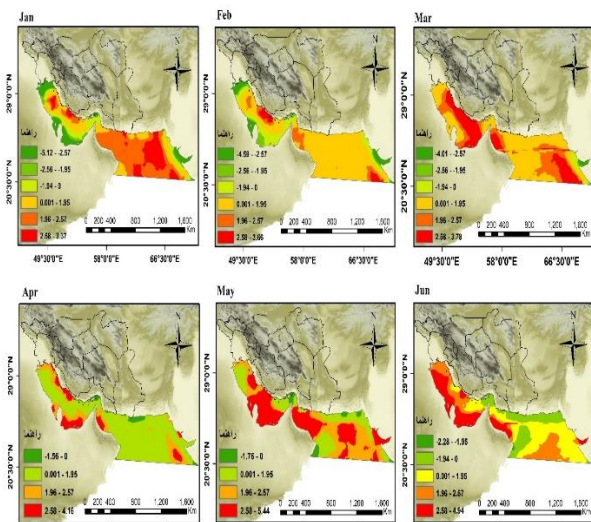
شکل ۲. تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح آب در خلیج فارس، دریای عمان و بخش شمالی از اقیانوس هند. ۶ ماه اول سال (۱۹۸۰-۲۰۱۵)

در ۶ ماه دوم میلادی یعنی فصول تابستان و پاییز طی ۳۷ سال مورد بررسی باز هم در بخش اقیانوس هند اختلاف دمای چندانی نسبت به شش ماه اول سال وجود ندارد. به طوری که با ثبت کمینه دما به میزان $24/53^{\circ}\text{C}$ در ماه آگوست تنها دارای $2/89^{\circ}\text{C}$ نوسان درون سالی نسبت به گرم‌ترین زمان خود می‌باشد. این نوسان در ۶ ماه دوم نیز به گونه‌ای است که با ثبت حداکثر دما در جنوب شرق این ناحیه به میزان $26/35^{\circ}\text{C}$ در ماه دسامبر نسبت به سردترین زمان خود یعنی ماه آگوست ($24/53^{\circ}\text{C}$) دارای تنها $1/82^{\circ}\text{C}$ اختلاف است. بنابراین می‌توان گفت به دلیل عمق زیاد اقیانوس هند و در نتیجه بالا رفتن ظرفیت حرارتی، در زمان مورد نظر در نهایت شاهد $1/82^{\circ}\text{C}$ افزایش دمای سطح آب (SST) هستیم.

با ورود به فصل گرم تابستان در هر سه ماه ژوئای، آگوست و سپتامبر سطح آب خلیج فارس تا تنگه هرمز به دلیل عمق کم و شوری آب، بالاترین دما را تجربه می‌کنند. به گونه‌ای که بیشینه آن در ماه آگوست به میزان $33/50^{\circ}\text{C}$ در محدوده جنوب بندرلنگه تا سواحل امارات متحده عربی مشاهده می‌گردد. به تدریج هرچه به سمت فصل سرد پیش می‌رویم از میزان دمای این ناحیه کاسته شده و کمینه آن در ماه دسامبر به $20/57^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. بنابراین نوسان SST خلیج فارس در شش ماه دوم میلادی طی سال‌های مورد بررسی، $12/93^{\circ}\text{C}$ محاسبه شده است. شش ماه دوم دارای نوسان دمایی بالا و قابل توجهی است. بخش شمال غربی خلیج فارس به دلیل وجود آب‌های سرزمینی نسبت به بخش‌های مرکزی و حدود قطر و امارات دمای کمتری را تجربه می‌نماید.

دریای عمان نیز در شش ماه دوم میلادی طی زمان مورد بررسی، کم‌ترین میزان SST را در ماه نوامبر (26°C) و بیشترین آن را در ماه ژوئای به میزان

فوریه این سطح به کمترین میزان خود رسیده و تنها بخشی از شمال خلیج فارس و جنوب شرق منطقه مورد نظر از اقیانوس هند را شامل می‌شود. سطوح دارای روند معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد در ماه آوریل و ژوئن بیشتر در قسمت‌های جنوبی خلیج فارس ثبت شده است. بیشینه روند معنی‌دار افزایشی به جهت زمانی در سطح ۵ درصد به ترتیب در ماه ژانویه در اقیانوس هند، ماه مارس و می اقیانوس هند و شمال خلیج فارس و ماه ژوئن قسمت شمالی و مرکز خلیج فارس و جنوب منطقه اقیانوس هند می‌باشد. در ماه‌های فوریه، مارس و آوریل بیشتر سطوح آب بخش مرکزی خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند بدون روند معنی‌دار افزایشی هستند. نوار باریکی در جنوب خلیج فارس در ماه‌های ژانویه و فوریه و در شمال دریای عمان و تنگه هرمز در ماه ژوئن، قسمت‌های کوچکی در شمال دریای عمان در ماه‌های آوریل و می نیز فاقد روند معنی‌دار کاهشی محاسبه شده است. دو کناره باریک در جنوب و شمال غرب خلیج فارس و شرق اقیانوس هند در دو ماه نخست میلادی و قسمت کوچکی در شرق اقیانوس هند در هر سه ماه زمستان دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد و روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد هستند.



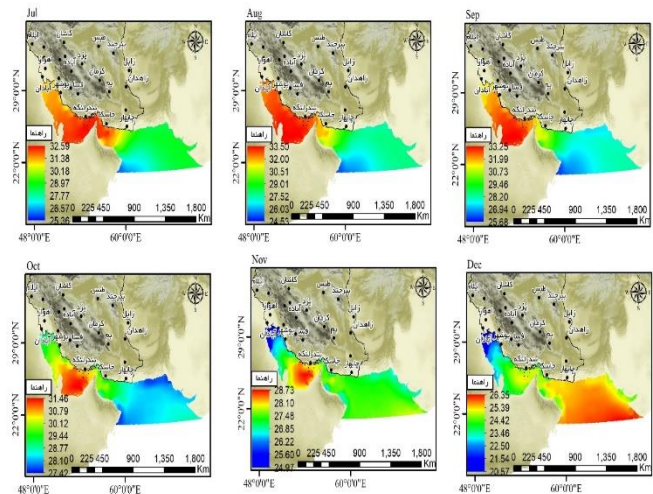
شکل ۴. نقشه روند آزمون من-کندال (Z) تغییرات دمای سطح آب (SST) در ۶ ماه نخست سال طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۵

(شکل ۵) روند تغییرات SST خلیج فارس، دریای عمان و شمال اقیانوس هند را طی ۶ ماه دوم میلادی طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. سطح آب خلیج فارس در ۳ ماه تابستان دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۹۹ درصد است. در سه ماه پاییز نیز این روند در اقیانوس هند و دریای عمان نیز مشاهده می‌شود. به گونه‌ای که در ماه نوامبر بیشتر سطح خلیج فارس و دریای عمان روند معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد را دارند. از این مقدار در ماه دسامبر کاسته شده و تنها بخش مرکزی خلیج فارس و قسمت شرقی اقیانوس هند دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۹۹ درصد هستند. در ۶ ماه فوق مناطق کمی روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۵ درصد را دارا می‌باشند. به طوری که بیشینه آن در اوایل زمستان، در مرکز خلیج

۳۱/۹۰°C ثبت کرده است. بنابراین نوسان SST این ناحیه نیز نسبت به خلیج فارس کمتر بوده ولی در مقایسه با محدوده مورد نظر از اقیانوس هند بیشتر است. نوسان SST در محدوده دریای عمان ۵/۸۸°C محاسبه شد. اما هیچگاه این ناحیه نسبت به کل منطقه مورد نظر بیشینه یا کمینه‌ی دما را به ثبت نرسانده است.

بالا ترین ضریب تغییرات دما نیز متعلق به ماه آگوست با ۸/۹۷°C است. اختلاف SST بین بیشینه و کمینه در سواحل شرقی امارات متحده عربی و سواحل شرقی کشور عمان می‌باشد.

در نهایت می‌توان گفت خلیج فارس دارای بیشینه نوسان درون سالی دما (۱۶/۸۹°C) و محدوده اقیانوس هند دارای کمینه میزان نوسان (۲/۸۹°C) است. عوامل عمق، مساحت پهنه آبی مورد نظر و درصد شوری آب در ظرفیت حرارتی آب اثرگذار شناخته شدند که نقش بسزایی در SST دریای این مناطق طی ۳۵ سال مورد نظر ایفا می‌کنند. بنابراین در بخش اقیانوس‌ها که دمای سطح آب تغییرپذیری کمی دارد به طبع آن در اکوسامانه منطقه نیز مشکل چندانی بر اثر این عامل (تغییر SST) روی نخواهد داد. اما مشکل اصلی در سواحل خلیج فارس خواهد بود. چرا که بی شک اکوسامانه ساحل و همچنین زندگی جانوری آبزیان به دلیل نوسان بالای SST بسیار شکننده خواهد بود و می‌تواند در زیست بوم منطقه اثر قابل توجهی داشته باشد.

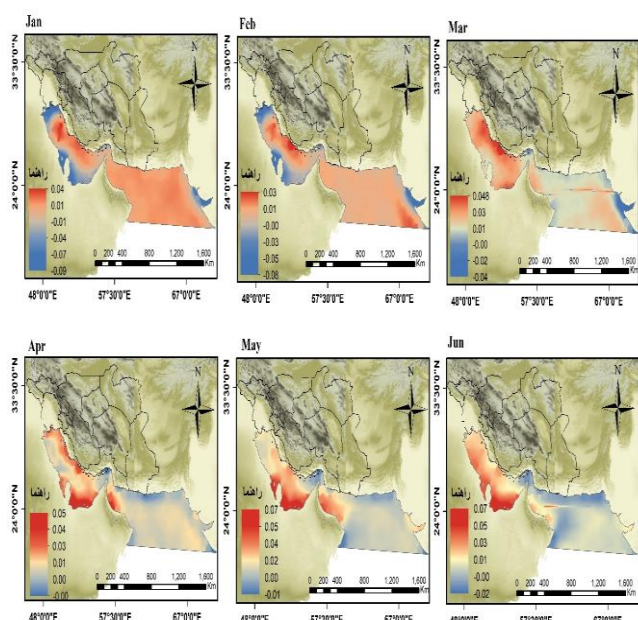


شکل ۳. تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح آب در خلیج فارس، دریای عمان و بخش شمالی از اوقیانوس هند. ۶ ماهه دوم سال (۱۹۸۰-۲۰۱۵)

ارزیابی روند دمای سطح دریا (SST) با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال مبتنی بر داده‌های باز تحلیل شده ECMWF نسخه ERA INTERIM

(شکل ۴) روند تغییرات SST در پهنه‌های آبی جنوب ایران را در ۶ ماه نخست میلادی طی ۳۵ سال اخیر نشان می‌دهد. بخش‌های مرکزی در اقیانوس هند و خلیج فارس و قسمتی از غرب دریای عمان در ماه‌های ژانویه، مارس و می دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۹۹ درصد است. در ماه

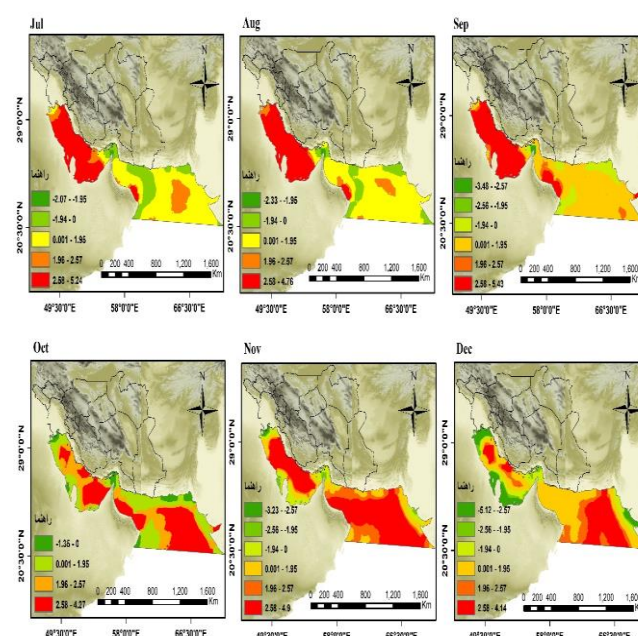
در این بخش شیب روند داده‌های دمای سطح دریا (SST)، در پهنه‌های آبی جنوب ایران، طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ محاسبه شده است. (شکل ۶) شیب روند SST پهنه‌های آبی جنوبی کشور را با استفاده از آزمون سنس در ۶ ماه اول میلادی طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۵ نشان می‌دهد. نتایج آزمون حاکی از بالا بودن تغییرات افزایشی دما در شروع فصل زمستان در مرکز خلیج فارس در حدود سواحل ایران و سپس در آب‌های اقیانوس هند است. تغییرات شیب روند افزایشی SST در اواخر زمستان و اوایل فصل بهار در سطح خلیج فارس تا قبل از تنگه هرمز دیده می‌شود. شیب تغییرات مکانی آزمون سنس از سواحل جنوبی خلیج فارس و شرق دریای خزر در اوایل زمستان، با ورود به فصل بهار به سمت سواحل شمالی دریای عمان و اقیانوس هند روند کاهشی به خود می‌گیرد. نکته قابل توجه در این بخش، شیب کاهشی روند تغییرات دمای سطح آب (SST) در تنگه هرمز می‌باشد.



شکل ۶. نقشه شیب روند (Q) تغییرات دمای سطح دریا (SST) در ۶ ماه نخست سال طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۵

ارزیابی شیب روند SST در پهنه‌های آبی جنوب ایران، با استفاده از آزمون سنس در ۶ ماه دوم طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ نشان داد (شکل ۷) بیشینه تغییرات افزایشی دما در فصل تابستان همانند فصل بهار در خلیج فارس قرار دارد. کمینه این تغییرات نیز در این فصل بر روی دریای عمان و حاشیه‌های غربی و شرقی اقیانوس هند مستقر است. تنگه هرمز نیز در این شش ماه همچنان روند کاهشی دما را نشان می‌دهد. در اواخر تابستان و اوایل پاییز شیب تغییرات SST در حاشیه‌ی شمال غرب و جنوب خلیج فارس روندی کاهشی به خود می‌گیرد. اما بخش مرکزی خلیج فارس همچنان دارای بیشینه تغییرات افزایشی SST می‌باشد. در اواخر پاییز علاوه بر مرکز خلیج فارس نیز سطح آب دریای عمان و اقیانوس هند به جز بخش کوچکی در شرق آن، دارای روند افزایشی می‌باشد.

فارس و در اواسط و اواخر این فصل، در قسمت‌های مرکزی و جنوبی اقیانوس هند دیده می‌شود. بیشتر بخش‌های این اقیانوس و دریای عمان در ژولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر فاقد روند معنی‌دار افزایشی محاسبه شده است. در ماه ژولای و آگوست قسمت شمالی دریای عمان و غرب اقیانوس هند، در ماه سپتامبر شرق دریای عمان و جنوب غرب اقیانوس هند فاقد روند معنی‌دار کاهشی هستند که میزان آن در ماه اکتبر به بیشترین حد خود رسیده و از شمال غرب خلیج فارس تا کناره‌های جنوبی آن، تنگه هرمز، شمال دریای عمان و جنوب محدوده مورد نظر از اقیانوس هند را فراگرفته است. مناطقی با روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۵ درصد نیز در بخش کوچکی از تنگه هرمز در آگوست، سپتامبر و نوامبر و کناره‌های خلیج فارس در ماه نوامبر دیده می‌شود. سه ماه سپتامبر، نوامبر و دسامبر به ترتیب در بخش‌های تنگه هرمز، شمال غرب خلیج فارس، جنوب خلیج فارس و شرق اقیانوس هند روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۹۹ درصد را تجربه کرده است.

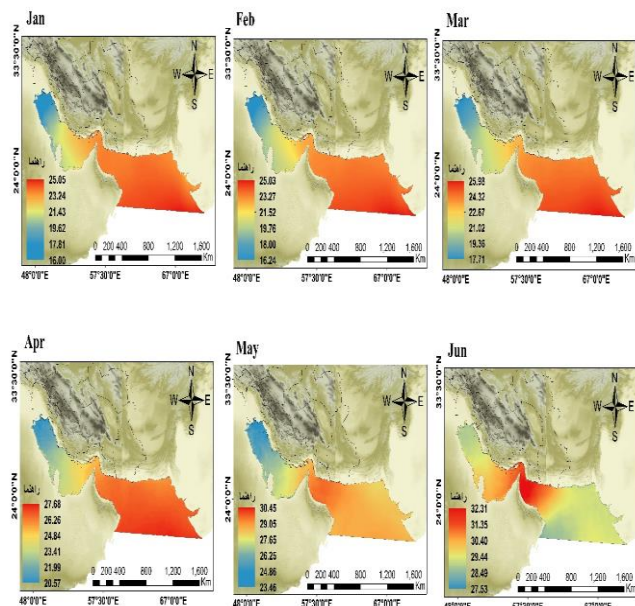


شکل ۵. نقشه روند آزمون من-کندال (Z) تغییرات دمای سطح آب (SST) در ۶ ماه دوم سال طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۵

در نهایت می‌توان ادعان داشت قسمت‌های زیادی از پهنه‌های آبی جنوب ایران در همه‌ی ماه‌ها به جز آوریل و فوریه دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۹۹ درصد است و سپس مناطقی با فاقد روند معنی‌دار افزایشی محاسبه شده‌اند. روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۵ درصد نیز به میزان کمی در تنگه هرمز و شرق اقیانوس هند دیده شد. مناطقی از سطح دریا که روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۹۹ درصد را ارائه کردند بیشتر از خشکی است و بیشتر در حدود حاشیه‌های خلیج فارس و شرق اقیانوس هند در اواخر پاییز و اوایل زمستان ثبت شده است.

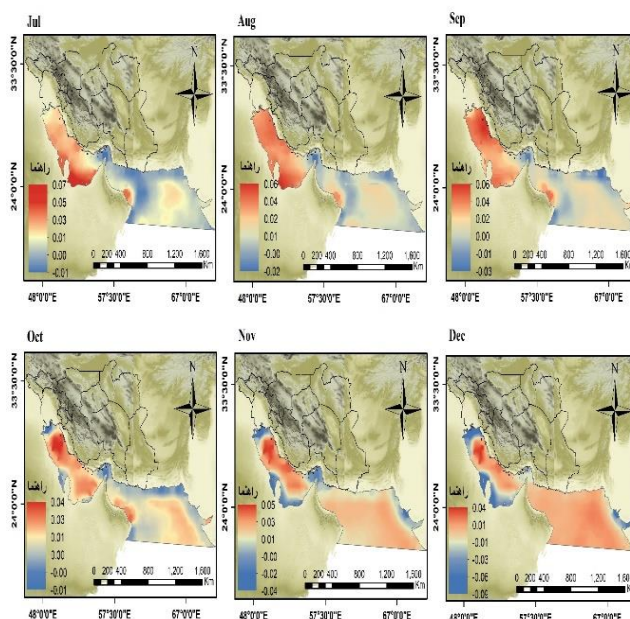
-ارزیابی شیب روند دما سطح دریا (SST) با استفاده از آزمون ناپارامتریک سنس مبتنی بر داده‌های باز تحلیل شده ERA INTERIM نسخه

ماه ژوئن با این که دمای کمتری را نسبت به خلیج فارس و دریای عمان نشان می‌دهد ولی در ماه ژانویه که نسبت به سایر پهنه آبی مورد نظر گرم‌تر است، دمای بیشتری دارد. در ماه ژوئن خنک‌ترین سطح منطقه (شرق اقیانوس هند $27/53^{\circ}\text{C}$) از گرم‌ترین بخش منطقه در ماه ژانویه (اقیانوس هند $25/05^{\circ}\text{C}$) دمای بیشتری را ثبت کرده است.



شکل ۸. تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح دریا (SST) در ۶ ماه نخست سال - سنجنده AVHRR طی دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۰۶

با ورود به فصل گرم (شکل ۹)، برخلاف ماه‌های سرد، بیشینه SST در خلیج فارس دیده می‌شود. به گونه‌ای که بیشینه آن در ماه آگوست به $34/68^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. سطوح آب اقیانوس هند دمای کمتری را تجربه می‌کند که در سردترین حالت خود در ماه ژولای، قسمت غربی آن دمای $14/81^{\circ}\text{C}$ را نشان داده است. این روند تا اواخر ماه اکتبر ادامه داشته و با سردتر شدن هوا در اواسط پاییز دوباره بخش شمال غرب خلیج فارس کمینه دما را به خود اختصاص می‌دهد و SST اقیانوس هند کمتر به نظر می‌رسد. در اینجا نیز محدوده تنگه هرمز و غرب دریای عمان دمای بالای خود را حفظ کرده و دارای نوسان زیادی نمی‌باشد.



شکل ۷. نقشه شیب روند (Q) تغییرات دمای سطح آب (SST) در ۶ ماه دوم سال طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۵

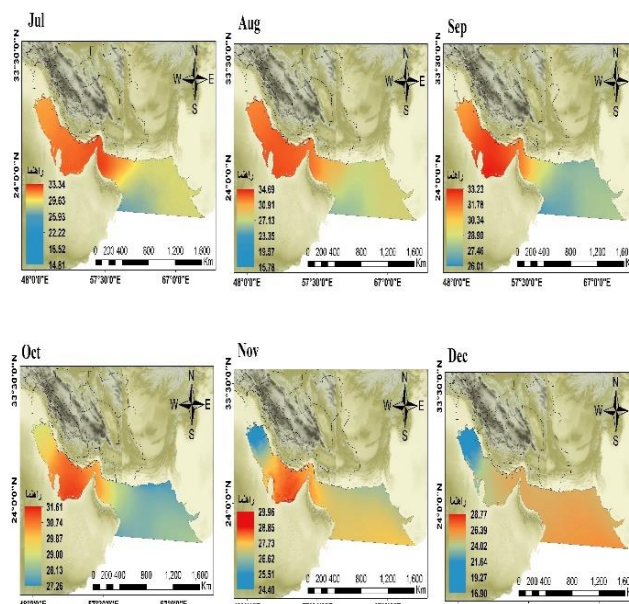
براساس مطالب ارائه شده، می‌توان گفت خلیج فارس بیشتر از دریای عمان و اقیانوس هند روند افزایشی تغییرات دما را تجربه کرده است. تنگه هرمز نیز کمینه میزان تغییرات را دارا می‌باشد. شیب تغییرات مکانی آزمون سنس در دریای عمان و اقیانوس هند در فصول گرم سال (بهار و تابستان) نیز کاهشی می‌باشد.

-تغییرات زمانی-مکانی SST مبتنی بر برون‌داد سنجنده AVHRR داده‌های مربوط به SST را ابتدا از سنجنده AVHRR ماهواره NOAA، طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار دادیم.

در (شکل ۸) تغییرات زمانی-مکانی SST پهنه‌های آبی جنوب ایران در ۶ ماه نخست سال، طی ۲۴ سال مورد بررسی ارائه شد. قسمت شمال غربی خلیج فارس به دلیل ورود آب‌های رودخانه‌ای به آن کمینه SST را در ۵ ماه نخست سال دارا می‌باشد. به گونه‌ای که در ماه فوریه به سردترین حالت خود به میزان $25/03^{\circ}\text{C}$ می‌رسد. خنک‌تر بودن این بخش از خلیج فارس تا ماه می ادامه دارد ولی با ورود به ماه ژوئن بر میزان دمای آن افزوده شده و تقریباً هم دمای بخش شرقی اقیانوس هند می‌گردد. دریای عمان همواره در طی ۶ ماه نخست سال دمای بالای 24°C را نشان می‌دهد. این دریا و تنگه هرمز در گرم‌ترین حالت خود در ماه ژوئن دمای $32/31^{\circ}\text{C}$ را ثبت کرده‌اند. دریای عمان در این ماه به نسبت اقیانوس هند و خلیج فارس گرم‌تر می‌باشد اما این امر به معنی کاسته شدن دمای خلیج فارس و اقیانوس هند نیست. بلکه نشان دهنده جذب گرمای بیشتر در بخش تنگه هرمز می‌باشد. این امر می‌تواند به دلیل عمق کم و سطح باریک این ناحیه باشد. همان‌طور که نقشه‌های حاصل از پایگاه بازتحلیل شده هواسپهر اروپا ECMWF نیز نشان داد، در نقشه‌های حاصل از سنجنده AVHRR هم اقیانوس هند در

ثبت شده است. در صورتی که سنجنده AVHRR این مقدار را به میزان 16°C در شمال غرب خلیج فارس نشان می‌دهد. علت این امر می‌تواند جذب گرمای بیشتر خورشید در سطح آب‌های مورد نظر در ساعتی که این سنجنده‌ها تصویر برداری کرده‌اند، باشد. از طرف دیگر داده‌های مایکروویو به شرایط جوی همچون ابرناکی حساسیت ندارد. همچنین طول موج و ابزارهای بکار گرفته در سنجنده نیز می‌تواند ناشی از این اختلاف باشد.

در ماه‌های فوریه و مارس سطح خلیج فارس و دریای عمان تا شمال اقیانوس هند به نسبت جنوب شرق که بیشینه دما را نشان می‌دهد، دمای کمتری را ثبت کرده ولی اختلاف دما افزایش نداشته است. با ورود به فصل بهار خصوصاً در ماه ژوئن از دمای اقیانوس هند کاسته و دمای خلیج فارس و دریای عمان به گرم‌ترین حالت رسیده است. اختلاف دمای این فصل در بیشترین زمان (ژوئن) به 4°C رسیده است. اما این اختلاف توسط سنجنده AVHRR به میزان 7°C ثبت شده است. در داده‌های MWOI نیز اقیانوس هند به نسبت سایر مناطق پهنه آبی مورد نظر، در سردترین زمان خود (ژانویه، ژوئن، $28/39^{\circ}\text{C}$)، دمای بیشتری را نسبت به گرم‌ترین زمان خود (ژانویه، $25/95^{\circ}\text{C}$) ثبت کرده است. این امر به معنای تغییرات دمایی بیشتر در خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد.



شکل ۹. تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح دریا (SST) در ۶ ماه دوم سال - سنجنده AVHRR طی دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۰۶

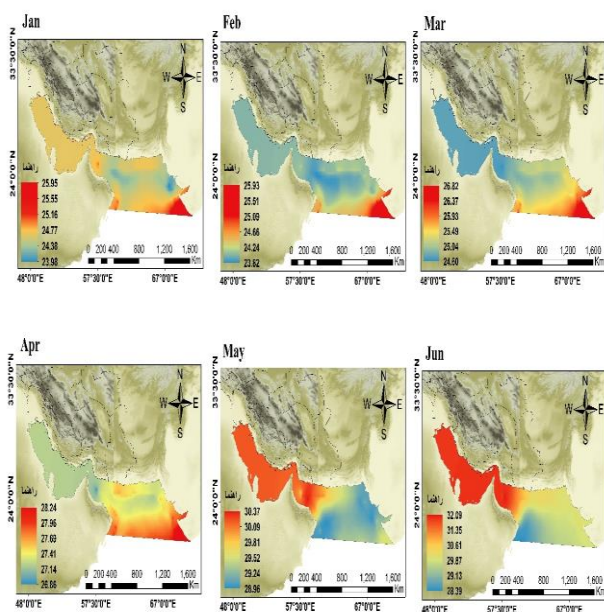
بنابراین می‌توان گفت اقیانوس هند به دلیل سطح وسیع تر و عمق بیشتر نوسان دمای زیادی را در طول سال‌های مورد نظر تجربه نکرده و بیشترین اختلاف دما به دلیل عمق و وسعت کمتر همچنین ورود آب‌های رودخانه‌ای و شوری بیشتر، متعلق به خلیج فارس است. خلیج فارس در محدوده آب‌های خود نیز دارای اختلاف دمای زیادی است. به گونه‌ای که با وجود پایین بودن دمای شمال غرب آن در ماه‌های سرد سال و همچنین اوایل بهار، جنوب این خلیج به خصوص در ماه نوامبر دمای بیشتری را نسبت به سایر مناطق آن تجربه می‌کند.

تغییرات زمانی-مکانی SST مبتنی بر برون‌داد مجموعه داده‌های

ماهواره‌ای MWOI

همان‌طور که گفته شد از سه سری داده‌های SST ماهواره‌ای برای تغییرات زمانی-مکانی آن استفاده شده است. سری دوم داده مورد بررسی SST مجموعه داده‌های مایکروویو ماهواره‌ای MWOI است.

(شکل ۱۰)، تغییرات زمانی-مکانی SST پهنه‌های آبی جنوب ایران بر اساس داده‌های MWOI طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. بیشینه دماهای ثبت شده در ۶ ماه نخست سال تفاوت زیادی با دمای ثبت شده توسط سنجنده AVHRR ندارد. بلکه تفاوت اصلی در کمینه دماهای مورد نظر است. به این صورت که دماهای ثبت شده از سطح آب پهنه‌های آبی جنوب ایران توسط سنجنده AVHRR، در سه ماه زمستان دارای 9°C اختلاف بین بیشینه و کمینه دما می‌باشد. این اختلاف دما در سه ماه زمستان، طبق داده‌های ماهواره‌ای MWOI 2°C است. به این صورت که در ماه ژانویه کمینه دما در آب‌های جنوبی دریای عمان به میزان $23/98^{\circ}\text{C}$



شکل ۱۰. تغییرات زمانی-مکانی دمای سطح دریا (SST) در ۶ ماه نخست سال، داده‌های MWOI طی دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۱۵

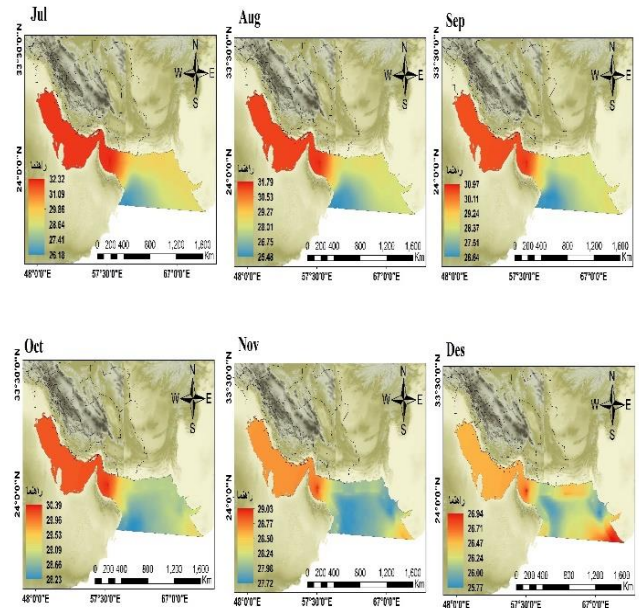
(شکل ۱۱)، تغییرات زمانی-مکانی SST پهنه‌های آبی جنوب ایران را در ۶ ماه دوم سال طی ۱۷ سال (۱۹۹۸-۲۰۱۵) نشان می‌دهد. در تابستان و پاییز بیشینه دمای ثبت شده توسط داده‌های ماهواره MWOI در حدود 3°C بیشتر از بیشینه دمای ثبت شده توسط سنجنده AVHRR است. این اختلاف در کمینه دمای ثبت شده نیز به میزان بیشتری وجود دارد. اما این اختلاف دما در سه ماه تابستان، مطابق با نتایج داده‌های ماهواره‌ای MWOI

توسط داده‌های حاصل از پایگاه باز تحلیل شده هواسپهر اروپا (ECMWF) نسخه ERA INTERIM مورد سنجش قرار دادیم. داده‌های SST اخذ شده از پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) در سال-های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ حاکی از این بود که تغییرات زمانی-مکانی SST در خلیج فارس دارای بیشترین نوسان درون سالی و محدوده‌ی اقیانوس هند دارای کمترین میزان نوسان بود. عوامل عمق، مساحت پهنه آبی مورد نظر و درصد شوری آب در ظرفیت حرارتی آب اثرگذار شناخته شدند که نقش به سزایی در نوسان SST دریای این مناطق طی ۳۵ سال مورد نظر ایفا می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت خلیج فارس به دلیل نوسان دمایی بالایی که سطح آب آن دارد می‌تواند دارای اکوسامانه شکننده‌تر و ساحلی آسیب پذیرتر باشد.

نتایج روند و شیب روند تغییرات دمایی سطح آب و دمایی هوا با استفاده داده‌های ECMWF مورد سنجش قرار گرفت. نتیجه بررسی روند تغییرات در دمایی هوا نشان دهنده آن بود که قسمت‌های زیادی از کشور در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، ژوئیه، سپتامبر و اکتبر دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۹۹ درصد هستند و سپس مناطقی هستند که فاقد روند معنی‌دار افزایشی می‌باشند. روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۵ درصد نیز به میزان کمی در ماه‌های ژوئن و نوامبر دیده شد. در پهنه‌های آبی نیز قسمت‌های زیادی از پهنه‌های آبی جنوب ایران در همه‌ی ماه‌ها به جز آوریل و فوریه دارای روند معنی‌دار افزایشی در سطح ۹۹ درصد و سپس مناطقی قرار دارند که فاقد روند معنی‌دار افزایشی هستند. روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۵ درصد نیز بیشتر به میزان کمی در تنگه هرمز و شرق اقیانوس هند دیده شد. مناطقی از سطح دریا که روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۹۹ درصد را ارائه کردند، بیشتر از خشکی بوده و در حدود حاشیه‌های خلیج فارس و شرق اقیانوس هند در اواخر پاییز و اوایل زمستان ثبت شده است. شیب روندی دما نیز در ایستگاه‌های مورد نظر از شمال منطقه به سمت جنوب روندی کاهشی داشت که اثر تعدیلی آب‌ها بسیار موثر شناخته شد. شیب روند نیز در خلیج فارس بیشتر از دریای عمان و اقیانوس هند افزایش تغییرات دما را نشان داد. تنگه هرمز نیز کمترین میزان تغییرات را دارا بود. شیب تغییرات مکانی آزمون سنس در دریای عمان و اقیانوس هند در فصول گرم سال (بهار و تابستان) نیز کاهشی محاسبه شد.

تغییرات زمانی-مکانی دمایی سطح آب با استفاده از سنجنده AVHRR (۱۹۸۲-۲۰۰۶) نشان داد اقیانوس هند به دلیل سطح وسیع تر و عمق بیشتر نوسان دمایی زیادی را در طول سال‌های مورد مطالعه تجربه نکرده و بیشترین اختلاف دما به دلیل عمق و وسعت کمتر همچنین ورود آب‌های رودخانه‌ای و شوری بیشتر، متعلق به خلیج فارس است. خلیج فارس در محدوده آب‌های خود نیز دارای اختلاف دمایی زیادی بود. بررسی تغییرات زمانی-مکانی SST مجموعه داده‌های ماهواره‌ای ماهواره MWOI (۱۹۹۸-۲۰۱۵) حاکی از آن بود که SST خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند نوسان زیادی در تمام فصول سال نداشته و تغییرات زمانی-مکانی زیادی در دمایی پهنه آبی مورد نظر در این ساعت رخ نداده است.

۶°C است. در فصل تابستان تا اواسط پاییز بیشینه دما در خلیج فارس وجود دارد و از ۳۲°C تا ۲۸°C در نوسان است. در اواخر نوامبر و دسامبر از میزان دمای آن کاسته شده و قسمت‌های مرکزی دریای عمان و جنوب شرق منطقه مورد نظر از اقیانوس هند بیشینه دما را در پاییز ثبت کرده‌اند. بخش‌های مرکزی در اقیانوس هند و شرق دریای عمان دارای سطحی خنک تر به نسبت سایر نقاط منطقه در پاییز می‌باشند.



شکل ۱۱. تغییرات زمانی-مکانی دمایی سطح دریا (SST) در ۶ ماه دوم سال - داده‌های MWOI طی دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۱۵

بنابراین می‌توان اذعان داشت داده‌های SST، MWOI، خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند نوسان زیادی در تمام فصول سال نداشته و تغییرات زمانی-مکانی کمی در دمایی پهنه آبی در MWOI رخ داده است. با این وجود تغییرات SST خلیج فارس از دریای عمان و اقیانوس هند بیشتر است.

نتیجه‌گیری

اقیانوس‌ها، دریاها و پارامترهای مرتبط با آن به ویژه دمایی سطح آب (SST) و همچنین تغییراتی که در طول دوره زمانی در این پهنه‌ها و شاخص‌ها رخ می‌دهد، نقش بسزایی در محیط و کیفیت زندگی انسان‌ها و آبزیان دارد. با شناخت این تغییرات به وسیله کمی کردن و مدل‌سازی عددی، استفاده از مدل‌های آماری و همچنین استفاده از برنامه‌ریزی‌های متناسب با آن، می‌توان امکان بهره‌برداری بهینه از طبیعت و امکانات بالقوه آن را فراهم ساخت.

این پژوهش به بررسی تغییرات زمانی-مکانی دمایی سطح آب در پهنه-های آبی جنوب ایران پرداخت در این راستا SST را با استفاده از سه مجموعه داده شامل داده‌های سنجش از دور از دو سنجنده AVHRR و MWOI، بررسی نمودیم. همچنین تغییرات زمانی-مکانی این شاخص را در بلند مدت

تعارض منافع

این مقاله بر اساس «تعارض حرفه‌ای و مالکیت فکری: ارتقای سازمانی و نظریات تخصصی شخصی اینجانب به‌عنوان نویسنده مسئول گردآوری شده است.»

یا «هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

منابع

- [9] Pour Asghar, F. (2012). The impact of Indian Ocean surface temperature on southern Iran's precipitation. PhD thesis in Natural Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz: Tabriz. (In Persian)
- [10] Yari, R. (2015). Study of the relationship between sea surface temperature of the northern Indian Ocean and seasonal precipitation in Iran. Master's thesis in Natural Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Razi, Kermanshah. (In Persian)
- [11] Reynolds, R. W., & Chelton, D. B. (2010). Comparisons of daily sea surface temperature analyses for 2007–08. *Journal of Climate*, 23(13), 3545-3562. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3643.1>
- [12] Lima, F. P., & Wetthey, D. S. (2012). Three decades of high-resolution coastal sea surface temperatures reveal more than warming. *Nature Communications*, 3, 704. <https://doi.org/10.1038/ncomms1704>
- [13] Kilpatrick, K. A., Podestá, G., Walsh, S., Williams, E., Halliwell, V., Szczodrak, M., & Evans, R. (2015). A decade of sea surface temperature from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 165, 27-41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.014>
- [14] Xie, S. P., Deser, C., Vecchi, G. A., Ma, J., Teng, H., & Wittenberg, A. T. (2010). Global warming pattern formation: Sea surface temperature and rainfall. *Journal of Climate*, 23(4), 966-986. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3067.1>
- [15] Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., O'Dell, C., & Wong, T. (2010). Relationships between tropical sea surface temperature and top-of-atmosphere radiation. *Geophysical Research Letters*, 37(3). <https://doi.org/10.1029/2009GL041829>
- [17] Simmons, A. J., Poli, P., Dee, D. P., Berrisford, P., Hersbach, H., Kobayashi, S., & Peubey, C. (2014). Estimating low-frequency variability and trends in atmospheric temperature using ERA-Interim. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(679), 329-353. <https://doi.org/10.1002/qj.2286>
- [1] Qaimi, H. (1994). The Climate of the Earth, Volume 1, Tehran: Samt Publications. (No link available)
- [2] Bigg, G. R., Jickells, T. D., Liss, P. S., & Osborn, T. J. (2003). The role of the oceans in climate. *International Journal of Climatology*, 23, 1127-1159. <https://doi.org/10.1002/joc.936>
- [3] Berri, G. J., & Bertossa, G. (2004). The influence of the tropical and subtropical Atlantic and Pacific Oceans on precipitation variability over southern central South America on seasonal time scale. *International Journal of Climatology*, 24, 415-435. <https://doi.org/10.1002/joc.1013>
- [4] Mahdavian, Sh. (2009). The effect of Caspian Sea surface temperature oscillations on precipitation in northern regions of Iran. Master's thesis in Natural Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz: Tabriz. (In Persian)
- [5] Mabasheri, M. R., & Mabasheri, A. (2010). Analytical study of radiation flux in the surface shell of water for the purpose of remote sensing SST. *Oceanography Journal*, 1(1), 33-44. (In Persian)
- [7] Nazem Al-Sadat, S. M. J., & Ghasemi, A. R. (2004). The impact of Caspian Sea water temperature oscillations on winter and spring precipitation in northern and southwestern Iran. *Soil and Water Sciences Journal (Agriculture and Natural Resources Sciences)*, 8(4), 1-15. (In Persian)
- [8] Amini, M., Brati, G., Shakiba, A., Moradi, M., & Kerpour, M. (2017). The effect of Mediterranean Sea water temperature fluctuations on the monthly precipitation variations of northwestern Iran. *Earth Science Research Journal*, 8(3), 28-41. (In Persian)

- [22] Vivekananda, J., Schilling, J., & Smith, D. (2014). Climate resilience in fragile and conflict-affected societies: concepts and approaches. *Development in Practice*, 24(4), 487-501. <https://doi.org/10.1080/09614524.2014.922216>
- [23] Hasanzadeh, S., & Hasanjahar, K. (2002). Study of sea surface temperature and Ekman transfer in the Persian Gulf region. *Iranian Journal of Physics Research*, 3(3), 214-223. (In Persian)
- چکیده گرافیکی باید با توجه به یافته‌های اصلی داستان تحقیق نسخه خطی که به صورت جذاب بصری و تصویری خلاصه می‌شود، تهیه شود (نمودار ۱).
ارایه برخی از نمودارهای دست نویس، جداول، تصاویر، نمودار یا متن را نمی‌توان به عنوان چکیده گرافیکی در نظر گرفت. برای کسب اطلاعات بیشتر، می‌توانید به راهنمای خلاصه گرافیکی تولید شده توسط ناشر الزویر مراجعه کنید:
- <https://www.elsevier.com/authors/journal-authors/graphical-abstract>
- [18] Perhamet, J., & Saghafian, B. (2007). Comparison of the accuracy of AVHRR and TM satellite images in determining snow cover. *Journal of the Faculty of Natural Resources*, 60(3), 383-395. (In Persian)
- [19] Duhan, D., & Pandey, A. (2013). Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901–2002 at Madhya Pradesh, India. *Atmospheric Research*, 122, 136-149. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.008>
- [20] Ahmadi, M., Dadashi Rudbari, A., Ahmadi, H., & Ali Bakhshi, Z. (2018). Examination of the temperature structure of Iran based on the output of the ECMWF ERA Interim database. *Natural Geography Research*, 50(3). (In Persian)
- [21] Dadashi Rudbari, A., Fallah Qalehri, G., Karami, M., & Baqideh, B. (2015). Analysis of precipitation changes in the Hraz watershed using statistical methods and spectral analysis techniques. *Hydrogeomorphology Journal*, 7, 59-86. (In Persian) (No DOI)

در فایل بدون نام، این بخش حذف شود

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Ahmadi.M., Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ma_ahmadi@sbu.ac.ir

 0000-0003-2574-5140

Sabeti.S., Master., Department of Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran



این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:



HOW TO CITE THIS ARTICLE

 <http://doi.org/10.52547/joc.15.60.9>
 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1848-fa.html>
 <https://orcid.org/0000-0003-2574-5140>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.