

ارزیابی نشانه‌های تغییر اقلیم در پهنه شمال غربی اقیانوس هند: واکاوی روند دمای سطح آب دریا در دوره ۱۹۵۰-۲۰۰۹

سید محمد جعفر ناظم‌السادات^{۱*}، حبیب‌الله قائد امینی اسدآبادی^۲ و مرضیه توکلی^۳

^۱ بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

^۲ مرکز پژوهش‌های علوم جوی و اقیانوسی، دانشگاه شیراز

^۳ دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۹)

چکیده

نوسان‌ها و روند دمای سطح آب دریاها (Sea Surface Temperature, SST) یکی از نمایه‌های ارزشمند و پایه‌ای در ارزیابی برهمکنش دریا-جو و خشکی است. یافته‌های شمار فراوانی از پژوهش‌ها نشان‌دهنده آن است که نوسان دمای سطح آب اقیانوس‌ها به گونه‌ای معنی‌دار بر افزایش و کاهش بارش و دما در پهنه‌های کناره‌ای و دوردست سایه افکنده است. در این پژوهش روند نوسان‌های ماهانه SST در گستره شمال غربی اقیانوس هند در دوره شصت‌ساله ۱۹۵۰-۲۰۰۹ بررسی شد. گستره آبی مورد ارزیابی دربرگیرنده ۳۰ گره $30^{\circ} \times 30^{\circ}$ عرضی و طولی است که در گستره آبی خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب جای گرفته‌اند. این داده‌ها از بانک داده‌های سازمان NOAA بیرون آورده شدند. با به‌کارگیری روش رگرسیون خطی اندازه روند SST (شیب خط رگرسیون) برآورد شد. با بهره‌گیری از آزمون‌های مناسب پارامتری و ناپارامتری، همسانی یا ناهمسانی شیب در فصل‌های چهارگانه بررسی شد. افزون بر این، این آزمون‌ها برای ارزیابی همسانی شیب خط رگرسیون در پهنه‌های جغرافیایی دریایی نیز به کار گرفته شد. یافته‌ها نشان داد در همه فصل‌های سال، داده‌های SST در پهنه شمال غربی اقیانوس هند دارای روند افزایشی معنی‌دار است. در دوره شصت‌ساله مورد بررسی، دمای این ۳۰ گره به‌طور متوسط نزدیک به $0/61$ درجه سلسیوس افزایش یافته است. افزون بر این، در بیشتر پهنه‌ها آهنگ افزایش SST پاییزه و زمستانه، به‌ترتیب بیشترین و کمترین اندازه بود. هنگامی که دوره شصت‌ساله پژوهشی به سه دوره بیست‌ساله پیاپی بخش شد، روند افزایش SST در این دوره‌های سه‌گانه با یکدیگر ناسازگاری‌های معنی‌داری داشت. در دو فصل زمستان و بهار، بزرگ‌ترین اندازه روند افزایشی در بیست‌ساله سوم (۱۹۹۰-۲۰۰۹) رخ داده است. این در حالی است که برای دو فصل تابستان و پاییز، بیشترین آهنگ افزایش دمای سطح آب در دوره ۱۹۵۰-۱۹۶۹ دیده شده است.

واژه‌های کلیدی: روند، دمای سطح آب، رگرسیون خطی، شمال غربی اقیانوس هند، خلیج فارس

Investigating the climate change diagnostics over the north western parts of the Indian Ocean: The SST analysis for the period 1950-2009

Seyyed Mohammad Jafar Nazemosadat^{1*}, Habibollah Ghaedamini² and Marzieh Tavakoli³

¹ Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Iran

² Atmospheric and Oceanic Sciences Researches Center, Shiraz University, Shiraz, Iran.

³ College of Agriculture, Shiraz University, Iran

(Received: 18 July 2012, accepted: 8 February 2014)

Summary

Investigating the trend and fluctuations of the sea surface temperature (SST) data are critically important for understanding the interactions between the oceans, the atmosphere and the land in various spatial and temporal timescales. Such analysis of the SST time-series is also essential for the detection and modeling of climate change. The increase in the global SST is one of the primary physical impacts of climate change. Some recent investigations have shown that the fluctuations in SST data over the Persian Gulf and the western parts of the Indian Ocean regulates Iran's precipitation particularly over the southern districts. The present study was, therefore, motivated to analyze the trends in the SST data over the northwestern parts of the Indian Ocean waters containing 30 nodes of 2° by 2° (longitude and latitude) grids for the period 1950-2009. These grids were spread over various parts of the Persian Gulf and Arabian Sea, the water bodied between 18° to 30° North and between 45° to 72° East. The monthly SST data was gratefully extracted from the database of the physical sciences division of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). According to their geographical positions, these 30 grids were classified into three groups, namely, the Persian Gulf, coastal areas (i.e., the grids off the coasts by 2°) and the Arabian Sea regions. Since the SST time-series generally have a normal distribution, a linear regression analysis was applied to detect the trend in the constructed time series for the classified regions in annual and seasonal timescales. The analysis was conducted by each grid individually as well as by averaging the SST data over each of the three mentioned zones. The seasonal time series were constructed by averaging monthly data so that winter, spring, summer and autumn consisted of the months Jan-March, April-June, July-Sep and Oct-Dec, respectively. The 60 years of the study period were also divided into three consecutive 20 years to assess the consistency in trend-line slope over time. The parametric statistical tests were used to investigate whether the detected trends are significant

The study revealed that during the 60 years of the study period, the SST of these 30 grids has inclusively increased by about 0.61°C . It is in general agreement with Deser et al. (2010) that reported the magnitude of the global SST trend during the 1900-2008 period as approximately 0.4 – 1.0°C per century in the tropics and subtropics and 1.2 – 1.6°C per century at higher latitudes. The amount of such increase for the Persian Gulf, coastal areas and the Arabian Sea was 0.5°C , 0.65°C and 0.63°C , respectively. Comparing with other seasons, for the large regions of the three classified zones the increasing trend was the greatest and the least for autumn and winter, respectively. While the spring and summer's SST were increased by about 0.5°C during the last six decades, the corresponding increases for winter and autumn were found to be 0.60°C and 0.85°C , respectively. The autumnal upward trend was significantly greater than other seasons for the Persian Gulf and the coastal regions. However, the upward trend is statistically identical during autumn and winter over the Arabian Sea areas. With the exception of the spring, the slopes of the trend-lines were different between the Persian Gulf, coastal areas and the Arabian Sea during the other seasons.

When the considered 60 year period was divided into three consecutive 20 year periods, the trend exhibited a variety of differences between these new shorter data sets. While the spring and wintertime SSTs did not exhibit any significant trend during either 1950-1969 or 1970-1989 periods, the upward trend was significant for the period 1990-2009. In contrast to winter and spring, most of the considered SST time series (excluding the Persian Gulf data) were significantly warmed up during 1950-1969. No significant trend was observed for the period 1970-1989 on a seasonal scale. In spite of the fact that the Persian Gulf SSTs did not exhibit any significant positive trend during the summers or

autumns for either 1950-1969 or 1970-1989 periods, the trend abruptly increased during the 1990-2009 period for these two seasons.

Keywords: Trend, sea surface temperature, climate change, linear regression, north-west of the Indian Ocean, Persian gulf

۱ مقدمه

نزدیک به ۷۱ درصد پهنه کره زمین با آب اقیانوس‌ها و دریاها پوشانده شده است (پایگاه اطلاعاتی سازمان ملی جوّی-اقیانوسی آمریکا). گذار انرژی مازاد خورشیدی از گستره‌های گرمسیری به سوی قطب‌ها، روانش‌های نیواری و اقیانوسی و نیز نوسانهای اقلیمی را پدید می‌آورد. به بیان دیگر، جابه‌جایی انرژی میان جوّ، اقیانوس و خشکی نوسان‌های بارش و دیگر پدیده‌های اقلیمی در خشکی‌های زمین را به همراه دارد. گرمای ویژه آب برحسب کالری بر گرم نزدیک پنج برابر خاک خشک و چهار برابر هوای خشک (در فشار سطح دریا) است. بنابراین اگر یک گرم آب فقط یک درجه سلسیوس سرد شود، از انرژی آزاد شده می‌توان نزدیک به ۴ گرم خاک خشک یا ۳۲۵۰ سانتی‌متر مکعب هوا را یک درجه سلسیوس گرم کرد. این ناهمسانی گرمای ویژه میان آب، خشکی و هوا، نقش بزرگی در گردش هوا و آب در کره زمین و ویژگی‌های آب‌وهوایی آن دارد. این ناهمسازی در گرمای ویژه خشکی، هوا و دریاها موجب می‌شود تا نوسان‌های دمای روز و شب در پهنه‌های دریایی بسیار کمتر از خشکی‌ها شود. بادها و بارش‌های موسمی در گستره‌های کناره‌ای جهان ریشه در همین ناهمسازی‌ها دارد. گذر باد از روی دریاها که نشان شاخصی در روانش نم از دریا به خشکی‌ها و رخداد بارش و نوسان‌های آب‌وهوایی دارد، به اندازه SST وابسته است (ناظم‌السادات، ۱۳۸۸).

نوسان‌های SST یکی از نمایه‌های ارزشمند و پایه‌ای در ارزیابی پیوند اقلیم دریا و خشکی است (هبرن، ۱۹۸۵). ناهمسازی با دگرگونی‌های کوتاه‌مدت وضع هوا، این

نوسان‌ها پایداری زمانی زیادی دارند و چگونگی آب-وهوای خشکی‌ها در بازه زمانی بسیار کوتاه تا چند دهه به این سازه اقیانوسی وابسته است (حسن‌زاده و خدابخش، ۱۳۸۱). برای نمونه ناظم‌السادات و قائدامینی (۲۰۱۰) روشن ساختند که رخداد دوران‌های خشک و تر در بسیاری از بخش‌های جنوبی ایران بستگی فراوانی به نوسان مادپان- جولیان MJO دارد. ویژگی‌های SST در پهنه استوایی اقیانوس هند از سازه‌های بنیادین در رخداد این پدیده است. نوسان‌های SST به علت حرکت آهسته و پایای خود، جایگاه ویژه‌ای در پیش‌بینی اقلیمی دارد (انفیلد، ۱۹۹۶؛ گوارد و همکاران، ۲۰۰۱؛ لاک‌وود، ۲۰۰۰). از آنجاکه سازه‌های بنیادین اقلیمی مانند شار تابش خالص خورشیدی، تبخیر سطحی و جابه‌جایی گرما وابسته به نوسان‌های SST است، این متغیر از جایگاه والایی در چگونگی اقلیم جهانی برخوردار است (لویترز، ۱۹۸۲؛ جونز و جفز، ۱۹۹۱).

اقیانوس هند با بزرگی نزدیک به ۷۰ میلیون کیلومتر مربع، سومین اقیانوس بزرگ جهان پس از اقیانوس‌های آرام و اطلس است. ژرف‌ترین پهنه آن در جنوب جزیره جاوه اندونزی دارای گودی برابر با ۷۷۲۵ متر است. در کناره‌های شمالی و غربی این اقیانوس کشورهای ایران، پاکستان، هند، و شبه جزیره عربستان جای دارند. از آنجاکه این اقیانوس نزدیک به ۲۰ درصد از رویه کره زمین را پوشانده است، مانند یک موتور پویای بزرگ، در فرایند جابه‌جایی ماده و انرژی در کره زمین نقش دارد.

خلیج فارس با بزرگی نزدیک به ۲۳۵ هزار کیلومتر مربع در شمال غربی اقیانوس هند جای دارد که از راه تنگه هرمز به دریای عمان و سپس به دریای عرب می‌پیوندد. از

و روند کاهشی دما در فصل تابستان رخ می‌دهد. همچنین سالتا و پاسکوال (۲۰۰۷) با بررسی نوسان‌های روزانه و دهه‌ای دمای سطح آب دریای مدیترانه، روند افزایشی میانگین دمای سطح آب این پهنه آبی را نشان دادند. سینگ و سارکر (۲۰۰۳) روشن ساختند که در فصل‌های تابستان و زمستان نوسان‌های SST در پهنه‌های کناره‌ای شمال اقیانوس هند، یکی پس از دیگری، دارای روند افزایشی و کاهشی است. یزر و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که نوسان‌های دمای سطح آب در گستره‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری به میزان ۰/۴ تا ۱ درجه سلسیوس در هر قرن است. در عرض‌های جغرافیایی بالاتر این آهنگ افزایش دما به ۱/۲ تا ۱/۶ درجه سلسیوس در هر قرن می‌رسد.

این پژوهش بر آن است تا چگونگی روند دمای سطح آب اقیانوس هند در نزدیکی ایران در دوره ۱۹۵۰-۲۰۰۹ را ارزیابی کند. ویژگی نوسان‌های SST و داشتن یا نداشتن روند در سری داده‌های خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب در بازه‌های فصلی و سالانه بررسی خواهد شد. برای روشن شدن بیشتر شیب روند در سال‌های دور و نزدیک، تلاش خواهد شد، دوره شصت‌ساله مورد ارزیابی به سه دوره پیاپی بیست‌ساله بخش و روند در هر دوره بررسی شود.

۲ داده‌ها و روش پژوهش

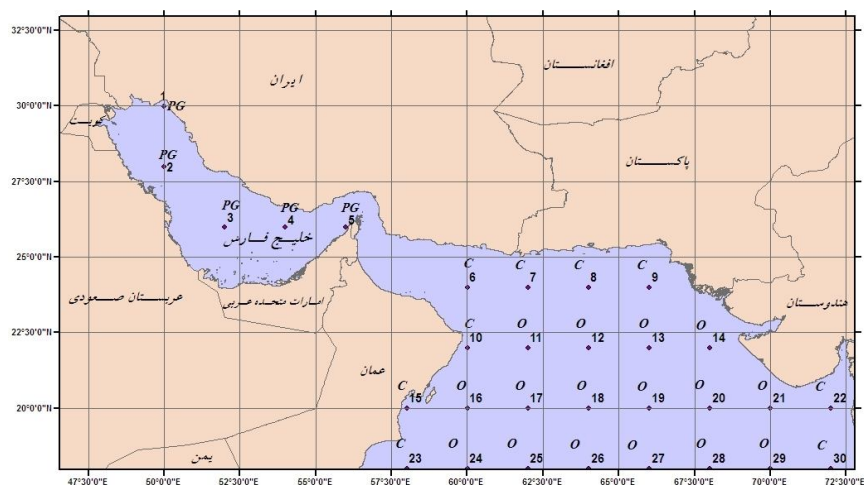
۱-۲ داده‌های دمای سطح آب دریا

داده‌های ماهانه دمای سطح آب دریای عرب، دریای عمان و خلیج فارس برای سال‌های ۱۹۵۰-۲۰۰۹ از پایگاه اطلاعاتی NOAA بر پایه پژوهش اسمیت و رینولدز (۲۰۰۴) بیرون کشیده شد. شکل ۱ جایگاه ۳۰ گره مورد ارزیابی را در این پهنه‌ها نشان می‌دهد. این پهنه‌ها در بازه طول جغرافیایی ۷۲ تا ۴۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی

ویژگی‌های بارز این پهنه آبی، ژرفای بسیار کم آن است. بیشینه ژرفا در پهنه تنگه هرمز دیده می‌شود که نزدیک به ۱۰۰ متر است. ژرفای کم خلیج فارس با میانگین نزدیک به ۵۰ متر، این پهنه آبی را به اندازه زیادی به نیروی رانش باد، نیروی سایش کف و ترموهالاین (Thermohaline) که همان شیب تغییرات چگالی و دما در نیمرخ قائم آب دریا است (شاو، ۱۹۹۲)، وابسته می‌کند.

آب‌های خلیج فارس و دریای عمان افزون بر آنکه نقش ارزشمندی در زندگی اقتصادی-اجتماعی مردم ایران دارند، پیشینه پُررنگی نیز در پیدایش الگوهای گوناگون آب‌وهوایی در ایران و به‌ویژه پهنه‌های جنوبی دارند (ناظم‌السادات و شیروانی، ۱۳۸۴). برای نمونه، ناظم‌السادات و همکاران (۱۹۹۵) و ناظم‌السادات (۱۹۹۸) روشن ساختند که نوسان‌های دمای سطح آب خلیج فارس نشان معنی‌داری بر نوسان‌های بارش در بسیاری از گستره‌های جنوب غربی و جنوبی ایران دارد. در این پهنه‌ها افزایش یا کاهش بارش زمستانه، یکی پس از دیگری، با رخداد دمای کمتر و بیشتر از میانگین سطح آب خلیج فارس وابستگی دارد. یافته‌های ناظم‌السادات و قاسمی (۱۳۸۳) نشان داد که چیرگی شرایط گرم دریای خزر کاهش بارش فصل زمستان در کناره‌های دریای خزر و پهنه‌های شمالی استان‌های فارس و خوزستان و چیرگی فاز سرد این پهنه آبی افزایش بارش بهار گستره‌های کناره‌ای دریای خزر را به همراه دارد. ناظم‌السادات و همکاران (۲۰۰۶) روشن ساختند که نقطه تغییر در بارش ایران پیوند نزدیکی با نقطه تغییر در نمایه نوسان‌های جنوبی (Southern Oscillation Index, SOI) دارد.

بررسی روند تغییرات دمای سطح آب دریا در تحقیقات هواشناسی و اقیانوس‌شناسی اهمیت زیادی دارد (هبرن، ۱۹۸۵). زیویریوف و آرکیکن (۲۰۰۸) با ارزیابی نوسان‌های فصلی و سالانه دمای سطح آب در دریای مدیترانه نشان دادند که روند افزایشی دما در فصل زمستان



شکل ۱. پراکنش جغرافیایی ۳۰ گره ارزیابی شده در پهنه شمال غربی اقیانوس هند (PG: گره‌های خلیج فارس، C: گره‌های کناره‌ای و O: گره‌های اقیانوسی).

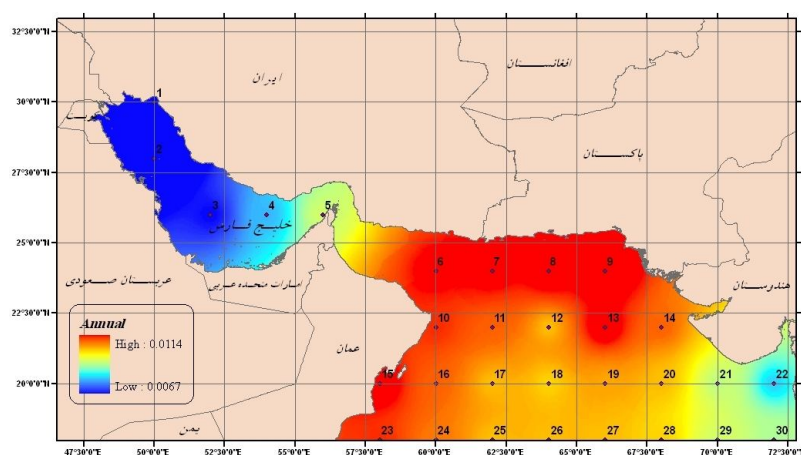
و ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ نیز به انجام رسید.

۲-۲ آزمون‌های آماری

در این پژوهش از آزمون پارامتری رگرسیون ساده خطی برای آشکارسازی شیب خط رگرسیون میان زمان (سال) در حکم متغیر مستقل و داده‌های SST در هر سال (متغیر وابسته) در دوره‌های زمانی شصت‌ساله بیست‌ساله بهره گرفته شد (گوبای و هوروت، ۱۹۹۴). کاربرد آزمون تی استیودنت (چوربن، ۱۹۸۲) این امکان را فراهم می‌سازد که معنی‌داری شیب به‌دست آمده از رگرسیون خطی در هر گره در سطح ۹۵٪ ارزیابی شود. نپذیرفتن فرض صفر آزمون (برابر بودن شیب رگرسیون با صفر) در هر گره مشخص می‌سازد که بین مقادیر دمای سطح آب و زمان در سطح ۹۵٪ همبستگی معنی‌داری وجود دارد. به بیان دیگر، روند افزایشی یا کاهش دمای سطح آب با مقادیر حاصل از شیب رگرسیون خطی معنی‌دار مشخص می‌شود. همچنین برای ارزیابی چگونگی تغییرات شیب در هر یک از پهنه‌های جغرافیایی مانند خلیج فارس، سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) به کار برده شد. برای این کار روش درونیایی کریجینگ (بانکروفت و هابز، ۱۹۸۶) با روش GIS ترکیب شد.

۱۸ تا ۳۰ درجه شمالی جای گرفته است. بنابر استانداردهای بانک اطلاعاتی به کار رفته، گستره همه اقیانوس‌های جهان به یاخته‌هایی در اندازه ۲ درجه طولی در ۲ درجه عرضی دسته‌بندی می‌شوند و داده‌های هر گره در این بانک نگهداری می‌شود. برای آسان‌تر شدن کار، گره‌هایی که در پهنه خلیج فارس جای گرفته‌اند، به نام گره‌های خلیج فارس، گره‌هایی که تا ۲ درجه دورتر از کناره‌های دریا باشند گره‌های کناره‌ای و دیگر گره‌ها که بیشتر از ۲ درجه دورتر از کناره‌ها باشند، اقیانوسی نام‌گذاری شدند.

برای هر سال، سری زمانی فصلی SST زمستانه از میانگین سری زمانی SST ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس آن سال به‌دست آمد. همچنین، سری زمانی SST در فصل‌های بهار یا تابستان و یا پاییز از میانگین‌گیری داده‌های سه ماهه آوریل، مه و ژوئن یا ژوئیه، اوت و سپتامبر یا اکتبر، نوامبر و دسامبر به‌دست آمد. بنابراین برای هر یک از گره‌های برگزیده شده، ۴ سری زمانی و روی هم‌رفته ۱۲۰ سری زمانی فصلی فرآوری شد. افزون بر دوره زمانی ۱۹۵۰-۲۰۰۹، همه واکاوی‌ها و پردازش‌ها برای سه دوره بیست‌ساله ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۹، ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۹



شکل ۲. پراکنش جغرافیایی میانگین سالانه شیب دمای سطح آب در گستره شمال غرب اقیانوس هند (بازه زمانی ۱۹۵۰-۲۰۰۹).

۳ یافته‌ها و بحث

۱-۳ روند خطی SST سالانه

اندازه شیب و ضریب تعیین میان سال و اندازه SST برای هریک از گره‌های ۳۰ گانه در جدول ۱ نشان داده شده است. برای همه گره‌ها شیب خط در بازه سالانه در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است ($P < 0/05$). به بیان دیگر، در دوره شصت‌ساله، دمای سالانه سطح آب همه گره‌ها به گونه‌ای معنی‌دار گرم‌تر شده است. میانگین شیب سالانه در سراسر گستره این سی گره، برابر با $0/0101 (0C/year)$ است.

می‌توان گفت، در گذر واپسین ۶۰ سال گذشته، دمای این ۳۰ گره روی هم‌رفته $0/61$ درجه سلسیوس افزایش یافته است. کمینه شیب برابر با $0/0067 (0C/year)$ در گره شماره ۱، در پهنه خلیج فارس، رخ داده است. در برابر، بیشینه شیب افزایش دما برابر $0/0114 (0C/year)$ در گره شماره ۹ در دریای عمان دیده شد. بنابراین، در گذر ۶۰ سال گذشته کمترین و بیشترین اندازه افزایش دما، یکی پس از دیگری، نزدیک به $0/4$ و $0/7$ درجه سلسیوس است. یادآور می‌شود که، در ۷۰٪ از گره‌ها (۲۱ گره)، اندازه شیب از میانگین شیب همه پهنه بیشتر است.

شکل ۲ پراکنش جغرافیایی میانگین سالانه شیب نوسان دمای سطح آب را در پهنه شمال غربی اقیانوس هند نشان

می‌دهد. کمترین افزایش دمایی سطح آب در پهنه خلیج فارس و بیشترین آن در آب‌های کناره‌ای نزدیک به پاکستان و عمان دیده می‌شود. در بخش‌های اقیانوسی و بخشی از کناره‌های غربی هندوستان میانگین سالانه شیب افزایش دما در بازه متوسط جای دارد.

۲-۳ روند خطی SST در بازه فصلی

الف زمستان

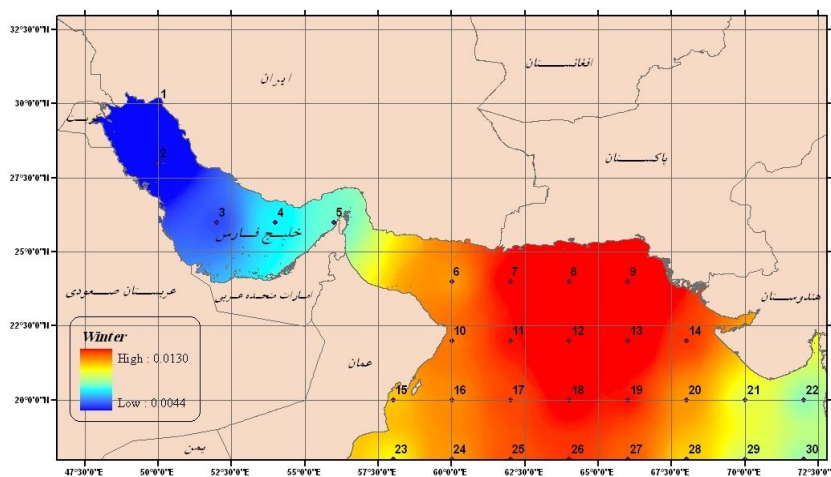
بر پایه آماره‌های جدول ۱، برای همه گره‌ها به جز گره‌های شماره ۱ و ۲ که در پهنه خلیج فارس جای گرفته‌اند، سری زمانی دمای سطح آب در فصل زمستان دارای روندی فزاینده و معنی‌دار در سطح ۹۵٪ است. کمینه شیب دما که در گره شماره ۳ دیده می‌شود برابر با $0/0066 (0C/year)$ و بیشینه آن در گره شماره ۹ برابر با $0/013 (0C/year)$ است. میانگین روند افزایش دما در کل پهنه برابر با $0/0104 (0C/year)$ است. در ۶۶٪ گره‌های ارزیابی شده شیب افزایشی SST بیشتر از میانگین همه گره‌ها است.

شکل ۳ پراکنش جغرافیایی اندازه شیب زمستانه SST را نشان می‌دهد. کمترین اندازه افزایش دمای زمستانه سطح آب در پهنه خلیج فارس رخ داده است. همان‌گونه که اشاره شد، در گره‌های شماره ۱ و ۲ این افزایش ناچیز است و در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نیست. رو در روی خلیج

جدول ۱. اندازه شیب و ضریب تعیین برای هریک از ۳۰ گره ارزیابی شده در بازه فصلی و سالانه.

| شماره گره | زمستان | | | بهار | | | تابستان | | | پاییز | | | سالانه | | |
|--------------|--------|-------------------|-------|------|-------------------|-------|---------|-------------------|-------|-------|-------------------|-------|--------|-------------------|-------|
| | Sig. | $S \cdot 10^{-4}$ | R^2 | Sig. | $S \cdot 10^{-4}$ | R^2 | Sig. | $S \cdot 10^{-4}$ | R^2 | Sig. | $S \cdot 10^{-4}$ | R^2 | Sig. | $S \cdot 10^{-4}$ | R^2 |
| ۱ | * | ۰/۰۲۶ | ۴۴ | - | ۰/۰۹۶ | ۷۱ | * | ۰/۰۳۸ | ۵۴ | - | ۰/۱۲۰ | ۹۹ | * | ۰/۱۰۲ | ۶۷ |
| ۲ | * | ۰/۰۳۷ | ۵۳ | - | ۰/۱۲۵ | ۸۳ | * | ۰/۰۴۵ | ۸۳ | - | ۰/۱۳۶ | ۹۹ | * | ۰/۱۲۶ | ۷۳ |
| ۳ | * | ۰/۰۶۶ | ۶۶ | * | ۰/۱۶۵ | ۹۳ | * | ۰/۰۶۳ | ۶۳ | - | ۰/۲۰۱ | ۱۰۴ | * | ۰/۱۹۱ | ۸۱ |
| ۴ | * | ۰/۱۰۴ | ۸۰ | * | ۰/۲۰۴ | ۹۵ | * | ۰/۱۰۱ | ۷۲ | * | ۰/۲۷۴ | ۱۱۱ | * | ۰/۲۵۸ | ۸۸ |
| ۵ | * | ۰/۱۶۶ | ۸۴ | * | ۰/۲۷۴ | ۱۰۳ | * | ۰/۱۵۶ | ۸۱ | * | ۰/۳۴۸ | ۱۱۸ | * | ۰/۳۲۹ | ۹۷ |
| ۶ | * | ۰/۲۷۵ | ۱۰۹ | * | ۰/۲۹۳ | ۱۰۳ | * | ۰/۲۲۱ | ۹۶ | * | ۰/۳۹۵ | ۱۳۵ | * | ۰/۴۲۱ | ۱۱۱ |
| ۷ | * | ۰/۲۷۲ | ۱۲۰ | * | ۰/۲۲۰ | ۹۶ | * | ۰/۱۷۱ | ۹۱ | * | ۰/۳۵۳ | ۱۳۷ | * | ۰/۳۸۹ | ۱۱۱ |
| ۸ | * | ۰/۲۷۸ | ۱۲۷ | * | ۰/۱۹۹ | ۹۸ | * | ۰/۱۳۳ | ۸۶ | * | ۰/۳۳۷ | ۱۳۸ | * | ۰/۳۷۴ | ۱۱۲ |
| ۹ | * | ۰/۲۹۶ | ۱۳۰ | * | ۰/۲۰۶ | ۱۰۲ | * | ۰/۱۲۵ | ۱۰۰ | * | ۰/۳۳۴ | ۱۴۱ | * | ۰/۳۸۶ | ۱۱۴ |
| ۱۰ | * | ۰/۲۸۴ | ۱۱۲ | * | ۰/۲۳۷ | ۹۳ | * | ۰/۲۴۰ | ۹۲ | * | ۰/۳۵۷ | ۱۳۱ | * | ۰/۴۱۸ | ۱۰۹ |
| ۱۱ | * | ۰/۲۵۹ | ۱۱۹ | * | ۰/۱۵۹ | ۸۳ | * | ۰/۱۷۶ | ۷۱ | * | ۰/۳۱۹ | ۱۳۳ | * | ۰/۳۶۲ | ۱۰۷ |
| ۱۲ | * | ۰/۲۴۷ | ۱۲۵ | * | ۰/۱۳۲ | ۸۲ | * | ۰/۱۳۱ | ۸۵ | * | ۰/۲۹۴ | ۱۳۵ | * | ۰/۳۳۳ | ۱۰۳ |
| ۱۳ | * | ۰/۲۴۵ | ۱۲۵ | * | ۰/۱۴۲ | ۸۸ | * | ۰/۱۲۰ | ۸۴ | * | ۰/۲۸۲ | ۱۳۷ | * | ۰/۳۳۲ | ۱۱۲ |
| ۱۴ | * | ۰/۲۴۶ | ۱۱۷ | * | ۰/۱۵۱ | ۹۰ | * | ۰/۱۲۹ | ۸۶ | * | ۰/۲۷۵ | ۱۳۶ | * | ۰/۳۴۰ | ۱۰۷ |
| ۱۵ | * | ۰/۲۹۱ | ۱۰۵ | * | ۰/۲۹۸ | ۱۰۰ | * | ۰/۳۲۰ | ۱۱۲ | * | ۰/۴۰۰ | ۱۳۰ | * | ۰/۴۹۴ | ۱۱۲ |
| ۱۶ | * | ۰/۲۹۵ | ۱۱۰ | * | ۰/۲۱۱ | ۸۷ | * | ۰/۲۵۸ | ۱۰۱ | * | ۰/۳۴۹ | ۱۲۷ | * | ۰/۴۳۶ | ۱۰۷ |
| ۱۷ | * | ۰/۲۷۶ | ۱۱۶ | * | ۰/۱۳۴ | ۷۷ | * | ۰/۱۸۱ | ۹۱ | * | ۰/۲۹۹ | ۱۲۷ | * | ۰/۳۶۰ | ۱۰۳ |
| ۱۸ | * | ۰/۲۵۳ | ۱۲۱ | * | ۰/۱۱۳ | ۷۷ | * | ۰/۱۳۹ | ۸۵ | * | ۰/۲۶۷ | ۱۲۸ | * | ۰/۳۲۲ | ۱۰۲ |
| ۱۹ | * | ۰/۲۳۰ | ۱۱۹ | * | ۰/۱۳۳ | ۸۳ | * | ۰/۱۳۰ | ۸۴ | * | ۰/۲۵۶ | ۱۳۱ | * | ۰/۳۱۹ | ۱۰۴ |
| ۲۰ | * | ۰/۲۲۲ | ۱۰۹ | * | ۰/۱۴۲ | ۸۵ | * | ۰/۱۵۴ | ۸۷ | * | ۰/۲۶۵ | ۱۲۹ | * | ۰/۳۳۵ | ۱۰۳ |
| ۲۱ | * | ۰/۲۲۷ | ۹۶ | * | ۰/۱۳۹ | ۷۶ | * | ۰/۱۸۹ | ۸۹ | * | ۰/۲۷۴ | ۱۲۲ | * | ۰/۳۴۰ | ۹۶ |
| ۲۲ | * | ۰/۲۳۶ | ۸۷ | * | ۰/۱۱۳ | ۶۳ | * | ۰/۲۱۹ | ۹۱ | * | ۰/۲۷۲ | ۱۱۳ | * | ۰/۳۳۴ | ۸۹ |
| ۲۳ | * | ۰/۲۴۹ | ۱۰۰ | * | ۰/۲۵۲ | ۹۶ | * | ۰/۳۰۵ | ۱۱۱ | * | ۰/۳۶۷ | ۱۳۱ | * | ۰/۴۶۵ | ۱۰۹ |
| ۲۴ | * | ۰/۲۹۵ | ۱۰۹ | * | ۰/۱۹۷ | ۸۷ | * | ۰/۲۶۰ | ۱۰۳ | * | ۰/۳۳۱ | ۱۲۵ | * | ۰/۴۳۲ | ۱۰۶ |
| ۲۵ | * | ۰/۳۰۲ | ۱۱۵ | * | ۰/۱۴۸ | ۸۱ | * | ۰/۱۹۹ | ۹۴ | * | ۰/۲۸۸ | ۱۲۲ | * | ۰/۳۸۲ | ۱۰۳ |
| ۲۶ | * | ۰/۲۸۹ | ۱۱۷ | * | ۰/۱۳۹ | ۸۲ | * | ۰/۱۶۹ | ۸۷ | * | ۰/۲۷۷ | ۱۲۳ | * | ۰/۳۶۳ | ۱۰۳ |
| ۲۷ | * | ۰/۲۵۷ | ۱۱۴ | * | ۰/۱۴۶ | ۸۵ | * | ۰/۱۶۹ | ۸۷ | * | ۰/۲۷۵ | ۱۲۶ | * | ۰/۳۵۶ | ۱۰۳ |
| ۲۸ | * | ۰/۲۳۷ | ۱۰۴ | * | ۰/۱۵۹ | ۸۵ | * | ۰/۲۰۲ | ۹۱ | * | ۰/۲۸۵ | ۱۲۶ | * | ۰/۳۶۳ | ۱۰۲ |
| ۲۹ | * | ۰/۲۴۱ | ۹۴ | * | ۰/۱۶۳ | ۷۸ | * | ۰/۲۵۶ | ۹۵ | * | ۰/۲۹۸ | ۱۲۱ | * | ۰/۳۷۲ | ۹۷ |
| ۳۰ | * | ۰/۲۵۴ | ۸۸ | * | ۰/۱۵۶ | ۸۱ | * | ۰/۳۰۶ | ۱۰۱ | * | ۰/۳۰۳ | ۱۱۸ | * | ۰/۳۸۴ | ۹۵ |

*: معنی‌داری آزمون در سطح ۹۵٪



شکل ۳. پراکنش جغرافیایی شیب دمای زمستانه سطح آب در گستره شمال غرب اقیانوس هند (بازه زمانی ۱۹۵۰-۲۰۰۹).

مرکزی اقیانوسی و شمال غربی خلیج فارس کمترین آهنگ افزایش دمای بهاره سطح آب را دارند. در تنگه هرمز، بخش‌های مرکزی و جنوبی خلیج فارس، کناره‌های دریای عمان و سواحل شرقی عمان افزایش دمای بهاره سطح آب در برابر دیگر بخش‌ها چشمگیر است. در بیشتر پهنه‌های اقیانوسی آهنگ افزایش دما در بازه متوسط و کمتر از آن جای دارد.

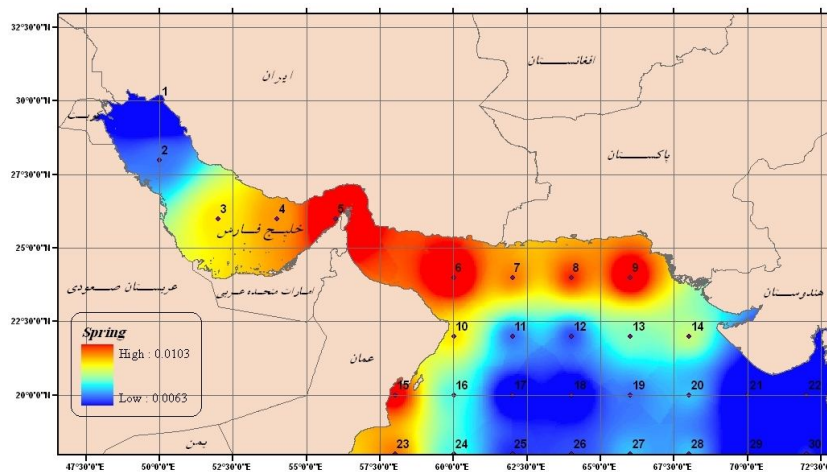
فارس، آب‌های کناره‌ای پاکستان و بخش‌های میانی دریای عرب بیشینه افزایش دمای سطح آب را در این فصل تجربه کرده‌اند. در بیشتر بخش‌های کناره‌ای غربی اقیانوس هند (کناره‌های شرقی کشور عمان) و همچنین کناره‌های غربی هندوستان آهنگ افزایش دمای زمستانه در بازه متوسط است. بنابراین بیشترین نشانه‌های تغییر اقلیم را در آب‌های کناره‌ای پاکستان می‌توان دید.

ج تابستان

در همه گره‌ها، مگر گره‌های ۱، ۲ و ۳ که در پهنه خلیج فارس جای گرفته‌اند، آزمون رگرسیونی در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است. بیشینه افزایش دمای تابستانه سطح آب برابر با $0.0112(OC/year)$ در گره شماره ۱۵ و کمینه شیب افزایش دمای تابستانه سطح آب، برابر با $0.0072(OC/year)$ و در گره شماره ۴ رخ داده است. میانگین شیب افزایش دمای تابستانه سطح آب پهنه شمال غربی اقیانوس هند برابر با 0.0089 درجه سلسیوس است که نزدیک به آماره همانند خود در بهار است. شکل ۵ پراکنش جغرافیایی شیب نوسان دمای تابستانه سطح آب پهنه مورد ارزیابی را نشان می‌دهد. کمترین اندازه افزایش دمای تابستانه سطح آب در بیشتر گستره‌های خلیج فارس رخ داده است که

ب بهار

همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، سری زمانی دمای بهاره سطح آب در سراسر پهنه مورد بررسی، به گونه‌ای معنی‌دار (سطح ۹۵٪) افزایش یافته است. بیشینه شیب SST بهاره برابر با $0.0103(OC/year)$ در گره‌های شماره ۵ و ۶ رخ می‌دهد. این در حالی است که کمینه شیب افزایشی دمای بهاره در گره شماره ۲۲ برابر با 0.0063 درجه سلسیوس در سال است. میانگین شیب افزایش دمای سطح آب در فصل بهار در کل پهنه برابر با $0.0086(OC/year)$ درجه سلسیوس و کمتر از شیب زمستانه است. شکل ۴ پراکنش جغرافیایی شیب نوسان دمای بهاره سطح آب پهنه شمال غربی اقیانوس هند را نشان می‌دهد. بیشتر کناره‌های غربی هندوستان، پهنه‌های



شکل ۴. پراکنش جغرافیایی شیب دمای بهاره سطح آب در گستره شمال غرب اقیانوس هند (بازه زمانی ۱۹۵۰-۲۰۰۹).

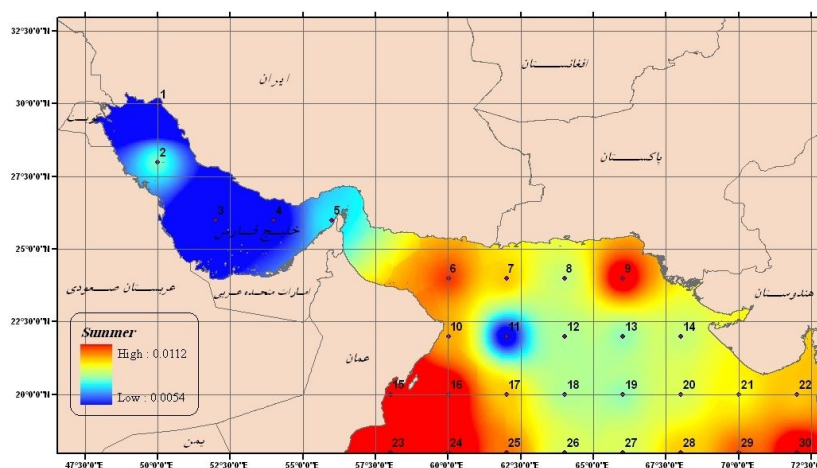
شماره ۹ دریای عمان در پیوند است. شکل ۶ پراکنش جغرافیایی روند پاییزه دمای سطح آب را نشان می‌دهد. آهنگ افزایش دمای پاییزه سطح آب پهنه خلیج فارس و بخشی از کناره‌های غربی هندوستان دارای کمترین اندازه است. در بخش‌های کناره‌ای شمالی در جنوب پاکستان و برخی پهنه‌های اقیانوسی آهنگ افزایش دمای پاییزه سطح آب، بزرگی بیشتری دارد و نشانه‌های تغییر اقلیم در آنها آشکارتر است. در کناره‌های غربی اقیانوس هند در نزدیکی عمان و دیگر پهنه‌های اقیانوسی آهنگ افزایش دما در بازه میانی است.

۳-۳ ارزیابی روند SST در سه گستره خلیج فارس، پهنه‌های کناره‌ای و گستره اقیانوسی
با ارزیابی پراکنش جغرافیایی شیب نوسان دمای سطح آب دریا در دوره‌های زمانی گوناگون که در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده است، چگونگی آهنگ افزایش دما در هر یک از پهنه‌های سه گانه به‌خوبی نمایان است و به گونه زیر ارزیابی می‌شود.

نشان از افزایش ناچیز دمای سطح آب این پهنه در تابستان دارد و همان‌گونه که اشاره شد این افزایش دما در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نیست. این در حالی است که در همه بخش‌های کناره‌های مورد ارزیابی، آهنگ افزایش دما نسبت به دیگر بخش‌ها بزرگی بیشتری دارد. آهنگ افزایش دمای تنگه هرمز و بخش‌های میانی اقیانوسی در بازه میانی و کمتر از آن است.

د پاییز

همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، در همه گره‌ها شیب دما در گذر زمان مثبت است و این نشان از افزایش دمای سطح آب دارد. میانگین شیب افزایش دمای پاییزه سطح آب همه ۳۰ گره برابر با ۰/۰۱۲۵ درجه سلسیوس در سال و بیشترین اندازه در سنجش با دیگر فصل‌ها است. در ۶۰٪ گره‌های بررسی شده شیب افزایش دمای سطح آب از میانگین پهنه بیشتر است. کمینه و بیشینه شیب افزایشی دمای سطح آب در این پهنه به ترتیب برابر با ۰/۰۰۹۹ و ۰/۰۱۴۱ درجه سلسیوس در سال است که به ترتیب با گره‌های شماره ۱ و ۲ پهنه خلیج فارس و گره



شکل ۵. پراکنش جغرافیایی شیب روند دمای تابستانه سطح آب در گستره شمال غرب اقیانوس هند (بازه زمانی ۱۹۵۰-۲۰۰۹).

الف خلیج فارس

همان گونه که در شکل های ۳ تا ۶ نشان داده شد، در پاییز، آهنگ افزایش دمای سطح آب خلیج فارس نسبت به دیگر فصل ها بیشتر است. در گستره تنگه هرمز بزرگ ترین آهنگ افزایش دما در بهار رخ داده است. این در حالی است که در سراسر گستره خلیج فارس، کمترین آهنگ افزایش دمای سطح آب در فصل زمستان رخ داده است.

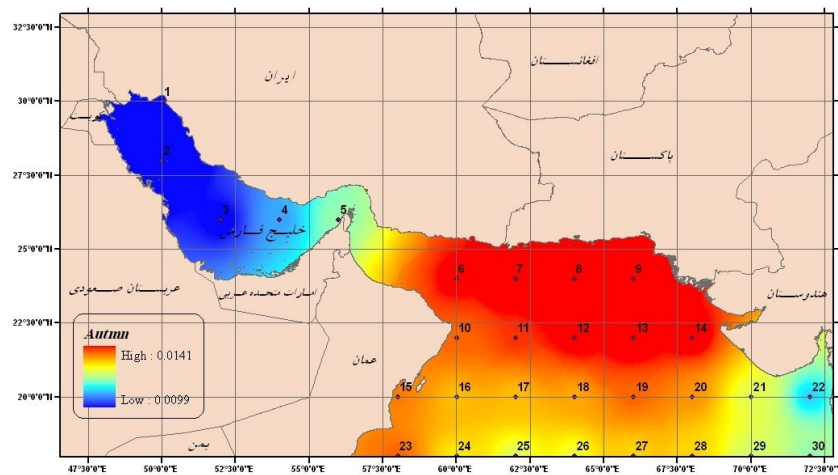
ب گره های کناره ای

در گستره های کناره ای شمالی اقیانوس هند (دریای عمان و سواحل پاکستان) آهنگ افزایش دمای سطح آب به ترتیب در فصل های پاییز، زمستان، بهار و تابستان دارای بیشترین اندازه است. در این پهنه ها، آهنگ افزایش دمای تابستانه سطح آب در سنجش با دیگر فصل ها ناچیز است. در برابر، آهنگ افزایش دمای پاییزه و زمستانه که کم و بیش یکسان اند، بیشتر از دو فصل دیگر است. رودروی کناره های شمالی، در گره های کناره ای غرب اقیانوس هند که در سواحل خاوری کشور عمان جای دارند، آهنگ افزایش دمای تابستانه و بهاره سطح آب تا

اندازه بسیاری یکسان و بیشتر از پاییز و زمستان است. شیب افزایش دمای پاییزه و زمستانه این پهنه های غربی نیز با یکدیگر برابر و کمتر از ماه های سرد سال است. به بیان دیگر، در حالی که در گستره های شمالی کناره ای، بیشترین نشانه های تغییر اقلیم را در فصل های سرد سال می توان پیدا کرد، در گره های غربی این نشانه ها در ماه های گرم هویداتر هستند. در کناره های غربی هندوستان شیب افزایش دمای تابستانه و زمستانه سطح آب کم، و آهنگ افزایش دمای پاییزه و بهاره سطح آب ناچیز است.

ج پهنه اقیانوسی

آهنگ افزایش دمای پاییزه و زمستانه پهنه های اقیانوس کم و بیش یکسان و دارای بیشترین اندازه است. با این حال در فصل زمستان بخش بزرگ تری از این پهنه ها با افزایش چشمگیر دمای سطح آب همراه است. آهنگ افزایش دمای تابستانه در بیشتر پهنه های مورد ارزیابی در دامنه میانگین (۰/۰۰۸-۰/۰۰۶ درجه سلسیوس در سال) نوسان می کند. در سنجش با دیگر فصل ها، آهنگ افزایش دمای بهاره این پهنه ها کمترین است.



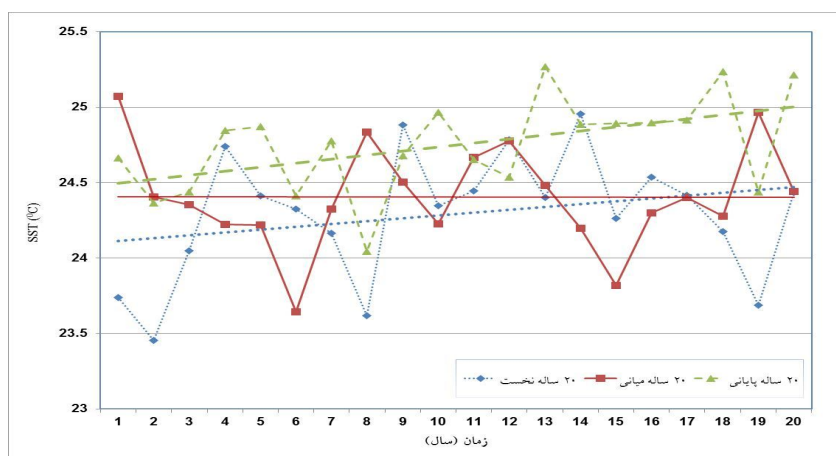
شکل ۶. پراکنش جغرافیایی شیب روند دمای پاییزه سطح آب در گستره شمال غرب اقیانوس هند (بازه زمانی ۱۹۵۰-۲۰۰۹).

در دوره زمانی بیست‌ساله نخست (۱۹۵۰-۱۹۶۹) و دوم (۱۹۷۰-۱۹۸۹) در هیچ گرهی روند معنی‌دار در نوسان‌های دمای سطح آب بهاره دیده نشد. از این رو، بیشترین روند افزایشی دمای بهاره در دوره زمانی بیست‌ساله سوم (۱۹۹۰-۲۰۰۹) رخ داده است. یافته‌های آزمون رگرسیونی نشان می‌دهد که در ۸۷ درصد گره‌ها، این روند افزایشی و معنی‌دار بوده و بیشترین شیب افزایش دما وابسته گره‌های ۴، ۵ و کمترین شیب افزایش وابسته گره ۲۹ است. برای نمونه، شکل ۸ روند نوسان‌های دمای بهاره سطح آب در گره شماره ۱۱ که در پهنه اقیانوسی جای گرفته است را نشان می‌دهد.

ناهمساز با روند دو فصل زمستان و بهار، SST تابستانه و پاییزه در دوره زمانی بیست‌ساله نخست (۱۹۵۰-۱۹۶۹) در همه گره‌ها به جز گره‌های جا گرفته در خلیج فارس و گره شماره ۶ که در پهنه دریای عمان جای دارد، دارای روند افزایشی معنی‌دار هستند. به بیان دیگر، برای دوره بیست‌ساله نخست، در بالاتر از ۸۰ درصد گره‌ها SST دارای روند افزایشی بوده است. با این همه، در دوره زمانی بیست‌ساله دوم (۱۹۷۰-۱۹۸۹) در هیچ گرهی روند معنی‌دار در نوسان‌های SST تابستانه و پاییزه دیده نشد. به عبارت دیگر، دوره بیست‌ساله دوم در هیچ فصلی نشانی

۳-۴ ارزیابی شیب نوسان‌های دمای سطح آب در دوره‌های بیست‌ساله

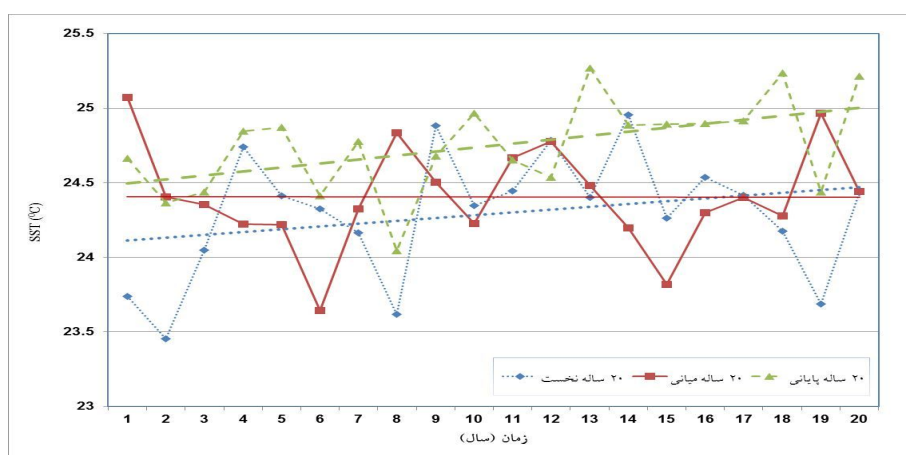
یافته‌های آزمون رگرسیونی نشان داد که دمای زمستانه سطح آب در دوره زمانی بیست‌ساله نخست (۱۹۶۹-۱۹۵۰) فقط در ۳ گره شماره ۵، ۱۵ و ۲۳ دارای روند افزایشی معنی‌دار است و دمای دیگر گره‌ها افزایش یا کاهش معنی‌داری نداشته است. در دوره زمانی بیست‌ساله دوم (۱۹۷۰-۱۹۸۹) در هیچ گرهی روند معنی‌دار در نوسان‌های دمای زمستانه سطح آب دیده نشد. به بیان دیگر، در دوره زمانی شصت‌ساله ۱۹۵۰-۲۰۰۹، دوره ۱۹۵۰-۱۹۸۹ نشان چندان پُررنگی در روند افزایشی دمای سطح آب پهنه شمال غربی اقیانوس هند نداشته است. بنابراین، بزرگ‌ترین بخش از روند افزایشی دمای زمستانه سطح آب در دوره شصت‌ساله وابسته به دوره بیست‌ساله ۱۹۹۰-۲۰۰۹ است. یافته‌های این آزمون نشان می‌دهد که برای این دوره، در ۷۰ درصد گره‌ها، روند افزایشی و معنی‌دار و بیشترین شیب افزایش دما با گره شماره ۲ و کمترین شیب افزایش با گره شماره ۳۰ در پیوند است. برای نمونه، شکل ۷ روند نوسان‌های دمای زمستانه سطح آب در گره شماره ۱۱ را که در پهنه اقیانوسی جای دارد نشان می‌دهد.



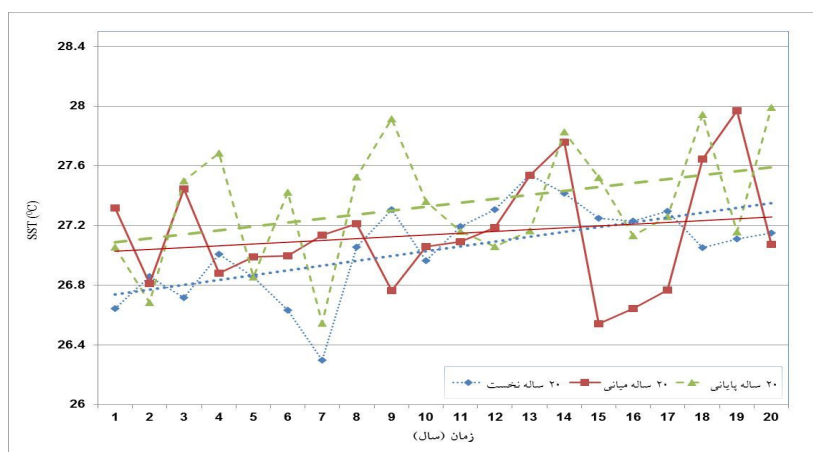
شکل ۷. مقایسه نوسان‌های شیب دمای زمستانه سطح آب گره اقیانوسی شماره ۱۱.

گره ۲۳ و ۲۴ نیز دارای روند افزایشی معنی‌دار بودند. به عبارت دیگر، در دوره بیست‌ساله سوم، در نزدیک به ۷۵ درصد از گره‌ها، SST تابستانه و در ۷۰ درصد آنها دمای سطح آب پاییزه بدون روند بود. شکل‌های ۹ و ۱۰ روند نوسان‌های دمای تابستانه و پاییزه سطح آب را در گره ۱۱ نشان می‌دهند.

پُررنگ در روند افزایشی دمای سطح آب این گستره آبی نداشته است. یافته‌های آزمون رگرسیونی نشان داد که در دوره بیست‌ساله سوم (۱۹۹۰-۲۰۰۹) فقط در گره‌های جای گرفته در پهنه خلیج فارس و گره شماره ۶ و گره‌های شماره ۱۰ و ۱۵ و ۱۶ آهنگ افزایش دما در هر دو فصل تابستان و پاییز معنی‌دار است. در فصل پاییز دو



شکل ۸. مقایسه نوسان‌های شیب دمای بهار سطح آب گره اقیانوسی شماره ۱۱.



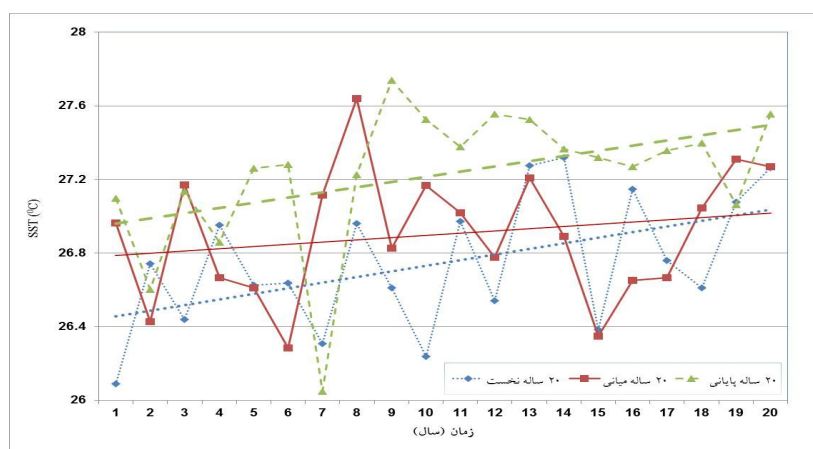
شکل ۹. مقایسه نوسان‌های شیب دمای تابستانه سطح آب گره اقیانوسی شماره ۱۱.

۴ نتیجه‌گیری

در این پژوهش ویژگی روند دمای سطح آب در ۳۰ گره جای گرفته شده در پهنه شمال غربی اقیانوس هند در دوره شصت‌ساله ۱۹۵۱-۲۰۰۹ با کاربرد رگرسیون خطی و آزمون‌های آماری در فصل‌های گوناگون ارزیابی شد. یافته‌ها روشن ساخت که در بازه سالانه، نوسان‌های دمای سطح آب پهنه شمال غربی اقیانوس هند در دوره زمانی شصت‌ساله دارای روند افزایش معنی‌دار است. برای این دوره کمترین، بیشترین و میانگین اندازه گرمایش نزدیک به $0.4/0.7$ و 0.6 درجه سلسیوس بود. روی هم‌رفته، پهنه خلیج فارس و آب‌های دریای عمان در نزدیکی مرز

پاکستان به ترتیب کمترین و بیشترین افزایش دمای سالانه را داشته‌اند. در مقیاس فصلی، نیز کمترین و بیشترین روند افزایشی دمای زمستانه به ترتیب در پهنه خلیج فارس و آب‌های کناره‌ای پاکستان و بخش‌های میانی دریای عرب دیده شد.

در فصل بهار، کناره‌های غربی هندوستان، پهنه‌های مرکزی اقیانوسی و شمال غربی خلیج فارس کمترین آهنگ افزایش دمای سطح آب را دارند. در برابر، افزایش دما در آب‌های تنگه هرمز، بخش‌های مرکزی و جنوبی خلیج فارس و کناره‌های شرقی دریای عمان چشمگیر است. شیب افزایش دمای تابستانه سطح آب در بهار و



شکل ۱۰. مقایسه نوسان‌های شیب دمای پاییزه سطح آب گره اقیانوسی شماره ۱۱.

- Bancroft, A. B., and Hobbs, G., 1986, Distribution of Kriging error and stationarity of the variogram in a coal property: *Mathematical Geology*, **8**(7), 635-651
- Deser, C., Phillips, A. S., and Alexander, M. A., 2010, Twentieth century tropical sea surface temperature trends revisited: *Geophysical Research Letters*, **37**, 55-61.
- Enfield, D. B., 1996, Relationships of inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability: *Geophysical Research Letters*, **23**, 3305-3308.
- Goddard, L., Mason, S. J., and Zebiak, S. E., Ropelewski, C. F., Basher, R., and Cane, M. N., 2001, Current approaches to seasonal interannual climate predictions: *Int. J. Climatol.*, **21**, 1111-1152.
- Gombay, E., and Horvath, L., 1996, On the rate of approximations for maximum likelihood tests in change-point models: *J. Mult. Anal.*, **56**, 120-152.
- Heburn, G. W., 1985, Effect of wind versus hydraulic forcing on the dynamics of the western Mediterranean Sea: *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, **29**(3), 65-67.
- Jones, S. R., and Jeffs, T. M., 1991, Near surface sea temperature in coastal waters of the North Sea, English Channel and Irish Sea, Data Report MAFF Direct, Fish, Res., Lowestoft, **24**, 70pp.
- Levitus, S., 1982, *Climatology Atlas of World Ocean*, NOAA Professional Paper, **13**, US Gov. Printing Office, 173pp.
- Lockwood, J. G., 2000, Abrupt and sudden climatic transitions and fluctuations: a review 2000: *Int. J. Climatol.*, **21**, 1153-1179.
- Nazemosadat, M. J., 1998, The Persian Gulf sea surface temperature as a drought diagnostic for southern parts of Iran: *Drought News Network*, **10**, 12-14.
- Nazemosadat, M. J., Cordery, I., and Eslamian, S., 1995, The impact of the Persian Gulf Sea surface temperature on Iranian rainfall, *Proceedings of the Iranian Water Resource Management Conference*, Esfahan, Iran, 809-819.
- Nazemosadat, M. J., Samani, N., Barry, D. A., and Molaii Nikoo, M., 2006, ENSO forcing on climate change in Iran: Precipitation analysis: *Iranian Journal of Science and Technology*, **30**(4), 555-565.
- Nazemosadat, M. J., and Ghaedamini, H., 2010, On the relationships between the Madden Julian Oscillation and precipitation variability in southern Iran and the Arabian Peninsula: Atmospheric circulation analysis, *J. Climate*, تابستان نزدیک هم بود. کمترین اندازه افزایش دمای تابستانه سطح آب در بیشتر گستره‌های خلیج فارس رخ داده است که نشان از افزایش ناچیز دمای سطح آب این پهنه در تابستان دارد.
- میانگین شیب افزایش دمای پاییزه سطح آب در همه گره‌ها برابر با ۰/۰۱۲۵ درجه سلسیوس در سال است که بیشترین اندازه در سنجش با دیگر فصل‌ها است. کمینه شیب افزایشی دمای سطح آب در پهنه خلیج فارس و کناره‌های غربی هندوستان و بیشترین آن در دریای عمان دیده شد. در کناره‌های غربی اقیانوس هند در نزدیکی عمان و دیگر پهنه‌های اقیانوسی آهنگ افزایش دما در بازه میانی است.
- ارزیابی دوره‌های بیست‌ساله نشان داد که در زمستان و بهار، بیشترین شیب افزایشی دمای سطح آب در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۹ است. همچنین شیب افزایش دمای تابستانه و پاییزه در بازه زمانی ۱۹۵۰-۱۹۶۹ بیشترین اندازه را دارد.
- منابع**
- حسن‌زاده، ا.، و خدابخش، ح.، ۱۳۸۱، مطالعه دمای سطح آب و انتقال اکمن در ناحیه خلیج فارس: *مجله پژوهش فیزیک ایران*، **۳**(۳)، ۲۱۳-۲۲۲.
- ناظم‌السادات، س. م. ج.، ۱۳۸۸، مبانی هوا و اقلیم‌شناسی، چاپ اول: مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۴۴۰ صفحه.
- ناظم‌السادات، س. م. ج.، و قاسمی، ا.، ۱۳۸۳، تأثیر نوسان‌های دمای سطح آب دریای خزر بر بارش فصل‌های زمستان و بهار نواحی شمالی و جنوب غربی ایران: *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، **۸**(۴)، ۱-۱۵.
- ناظم‌السادات، س. م. ج.، و شیروانی، ا.، ۱۳۸۴، پیش‌بینی دمای سطح آب خلیج فارس با استفاده از رگرسیون چندگانه و تحلیل مولفه اصلی: *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، **۹**(۳)، ۱-۱۱.

- sea surface temperature variability in the coastal regions of the north Indian Ocean: *Indian Journal of Marine Sciences*, **32**(1), 7-13.
- Smith, T. M., and Reynolds, R. W., 2004, Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997): *J. Climate*, **17**, 2466-2477.
- Zveryaev, I. I., and Arkhipkin, A. V., 2008, Structure of climatic variability of the Mediterranean sea surface temperature: *J. Russian Meteorology and Hydrology*, **33**(6), 377-382.
- 23, 887-904.
- Salta, J., and Pascual, J., 2007, Climatological trend from 32 years of observations at L'Estartit station, near the Catalan coast (NW Mediterranean): *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, **38**, 196pp.
- Schao, S .Y., Kao, T. W., and Al-Hajr, K. R., 1992, A numerical investigation of circulation in the Arabian Gulf: *Journal of Geophysical Research*, **97**, 11219-11236.
- Schruben, L. W., 1982, Detecting initialization bias in simulation output: *Operations Research*, **30**, 569-590.
- Singh, O. P., and Alam Sarker, M., 2003, Recent