

## Projections of the sea level rise and sea surface temperature of Pars Sea region under SSPs scenarios

Koohi, M.<sup>1</sup>  | Babaeian, I.<sup>2</sup> 

1. **Corresponding Author**, Researcher of Climatology Research Institute, Mashhad, Iran. E-mail: [man\\_koohi@yahoo.com](mailto:man_koohi@yahoo.com)
2. Assistant, Disasters and Climate Change Research Group- CRI (ASMERC), Mashhad, Iran. E-mail: [i.babaeian@gmail.com](mailto:i.babaeian@gmail.com)

(Received: 13 Sep 2022, Revised: 21 Sep 2022, Accepted: 21 Sep 2022, Published online: 21 Sep 2022)

### Abstract

The Arabian Sea is a region of the northern Indian Ocean. The Arabian Sea's surface area is about 3,862,000 km<sup>2</sup>. The maximum width of the sea is approximately 2,400 km, and its maximum depth is 4,652 meters. The biggest river flowing into the sea is the Indus River. The Persian Gulf is a semi-enclosed epicontinental water body that is located at the northwestern corner of the Indian Ocean. The basin is connected to the Arabian Sea and the Gulf of Oman via the Strait of Hormuz. These water bodies were called Pars Sea. Sea surface temperatures of Persian Gulf can exceed 35°C in summer, while in winter the temperature can fall to <10°C. These regions contribute significantly to current climate change, and suffers deeply from the consequences of this phenomenon. Changes in sea surface temperature (SST) and sea level rise (SLR) affect all forms of life. Therefore, this research aims to project the sea temperature changes of the Arabian Sea and the Persian Gulf, as well as the changes in the sea level of the Persian Gulf and the Oman Sea, based on the output of the CMIP6 under SSPs scenarios for the period 2021-2040.

**Keywords:** CMIP6 ,SST ,SRL, Climate Change, Pars Sea.

## پیش‌نگری سطح آب دریا و دمای آن در منطقه دریای پارس تحت سناریوی های SSPs

منصوره کوهی<sup>۱</sup> | ایمان بابائیان<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول، پژوهشگر پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد، ایران. رایانامه: [man\\_koochi@yahoo.com](mailto:man_koochi@yahoo.com)

۲. استادیار/گروه پژوهشی مدل‌سازی و پیش‌آگاهی اقلیمی، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد، ایران. رایانامه: [i.babaeian@gmail.com](mailto:i.babaeian@gmail.com)

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰، انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰)

### چکیده

دریای عرب یکی از پهنه‌های آبی پرتردد دریایی در جهان محسوب می‌شود که همواره از لحاظ مقابله با خواص اقیانوس‌شناسی دارای اهمیت بالایی است. تغییر دمای سطح دریا (SST-Sea Level Temperature) و افزایش سطح آب دریا (SLR-Sea Level Rise) بر همه اشکال زندگی در نواحی مجاور این دریا از جمله سواحل دریای عمان و خلیج فارس تأثیرگذار است. به همین دلیل درک تغییرات این مشخصه در دریای عرب بسیار حائز اهمیت است. لذا در این پژوهش، چشم‌اندازی از تغییرات دمای سطح آب دریای عربی و خلیج فارس و همچنین تغییرات پیش‌نگری شده در سطح آب دریا در منطقه خلیج فارس و دریای عمان که مجموعاً دریای پارس نامیده می‌شده بر اساس برون‌داد مدل‌های سری CMIP6 برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ ارایه شده است. نتایج نشان داد تحت جدیدترین سناریوهای SSPs، در چهار ماه مستعد چرخندزایی در دریای عرب، SST افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش SST تحت چهار سناریوی مورد بررسی برای خلیج فارس و دریای عمان بدست آمد. افزایش سطح دریا در نواحی خلیج فارس و دریای عمان طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۲۱، دامنه‌ای از ۰/۰۹ تا ۰/۱ متر برآورد شده است. برای دوره ۲۰۶۱-۲۰۴۰ این افزایش دو برابر خواهد شد.

**کلمات کلیدی:** SST، CMIP6، SRL، تغییر اقلیم، دریای پارس

### ۱. مقدمه

مناطق بویژه خلیج فارس گردد. در این راستا، در این پژوهش، چشم‌اندازی از وضعیت دمای سطح دریا و میزان افزایش سطح آن در خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب که در مجموع دریای پارس نامیده می‌شود به منظور اتخاذ تصمیم‌های منطقه‌ای در رابطه با استقرار و بهینه‌سازی سامانه‌های پیش‌آگاهی و هشدار ارایه می‌گردد. تغییرات اقلیم گذشته، بیش از ۱۵۰ سال قبل از زمان حال، قبل از اینکه بشر گازهای گلخانه‌ای را انتشار دهد، اتفاق افتاد. افزایش مشاهده شده در غلظت گازهای گلخانه‌ای (GHG-Green House Gases) از سال ۱۷۵۰ به طور مسلم ناشی از فعالیت‌های انسانی است. طی این دوران، غلظت این گازها در جو افزایش یافته است بطوریکه در سال ۲۰۱۹ غلظت متوسط سالانه گاز دی‌اکسید کربن به ۴۱۰ ppb، متان (CH<sub>4</sub>) به ۱۸۶۶ ppb

پهنه‌های آبی دریای عرب، دریای عمان و خلیج فارس از جمله آسیب‌پذیرترین منطقه‌ها بر روی زمین نسبت به اثرات تغییر اقلیم محسوب می‌شوند. از آنجایی که این پهنه‌های آبی در یکی از گرم‌ترین و خشک‌ترین نواحی کره زمین واقع شده‌اند منطقه‌ای شناخته می‌شوند که نسبت به امواج گرمایی حدی، طوفان‌های گرد و غبار و کمبود آب بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند. چالش‌های تحمیل شده ناشی از تخریب محیط زیست، با رویداد تغییر اقلیم، فراوانی و شدت بیشتری یافته است و با توجه به شرایط منطقه و منابع محدود آن، این امر حفاظت از محیط زیست طبیعی منطقه را نه تنها به یک دغدغه اکولوژیکی، بلکه امنیتی تبدیل خواهد کرد. عدم تعدیل و کاهش تغییر اقلیم، می‌تواند منجر به درگیری بر سر منابع این

**استناد:** کوهی، منصوره و بابائیان، ایمان. (۱۴۰۱). پیش‌نگری سطح آب دریا و دمای آن در منطقه دریای پارس تحت سناریوی های SSPs، مجله نیوار، ۴۶ (۱۱۶-۱۱۷)،

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.360864.1225>



عنوان یکی از الزامات چرخندزایی (گری، ۱۹۶۸) است. در شاخص‌های بکار رفته در بررسی ارتباط بین متغیرهای جوی و چرخنده‌ای حاره‌ای مانند شاخص پتانسیل پیدایش (امانوئل و نولان، ۲۰۰۴)، از چندین متغیر جوی استفاده شده و دما به عنوان عامل مهم تأثیرگذار در شکل‌گیری چرخنده‌های حاره-ای شناخته می‌شود، منطقی است که بتوان از آن به عنوان یک پیش‌بینی‌کننده‌ی مناسب در پژوهش‌های حال و آینده اقلیمی استفاده کرد (برویه و همکاران، ۲۰۱۲؛ شجاع و همکاران، ۱۳۹۹).

هر سال افزون بر ۸۰ توفان حاره‌ای در جهان روی می‌دهد. زمان رخداد این توفان‌ها در نیمکره شمالی از فروردین تا مهر و در نیمکره جنوبی از آبان تا اسفند است. چرخنده‌های حاره‌ای در شمال هند از ۵۵ تا ۹۰ درجه خاوری و ۵ تا ۲۰ درجه شمالی تشکیل و گسترش می‌یابند (وبستر و همکاران، ۲۰۰۵). در این منطقه دو نوع چرخند فصلی به نام‌های چرخند پیش‌موسمی (Pre monsoon) در ماه می و دیگری چرخند پس‌موسمی (Post monsoon) در ماه‌های اکتبر تا نوامبر شکل می‌گیرد. برخی چرخنده‌ها در مرحله انتقالی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر شکل می‌گیرند. محدوده‌ی اقیانوس هند شمالی، شامل خلیج بنگال و دریای عرب یکی از اقیانوس‌های حاره‌ای گرم است که از این نظر برای شکل‌گیری طوفان‌های حاره‌ای بسیار مساعد می‌باشند و تقریباً ۷ درصد از چرخنده‌های حاره‌ای در این ناحیه تشکیل می‌شوند (گری، ۱۹۶۸). این طوفان‌ها عموماً از اقیانوس‌ها و دریا‌های حاره‌ای، یعنی جایی که سطح آب دریا حداقل ۲۷ درجه سلسیوس است منشأ می‌گیرند. به رغم فعالیت کم‌تر چرخنده‌ها در این حوضه نسبت به سایر حوضه‌های اقیانوسی ولیکن رخداد این طوفان‌ها در این منطقه دارای عواقب بسیار فاجعه‌آمیز و مصیبت‌بار هستند که این امر به دلیل آمیخته‌ای از دشت‌های ساحلی کم عمق به همراه وضعیت‌های ترمودینامیکی مطلوب است که امکان ایجاد بادهای سطحی بالا، بارش‌های سیلابی و امواج مرتفع قابل توجهی را در زمان ورود به خشکی مهیا می‌سازد که با توجه تراکم بالای جمعیتی به همراه شرایط اجتماعی و اقتصادی ضعیف در این منطقه سبب شده که تعدا

و برای اکسید نیتروژن (N<sub>2</sub>O) به ۳۳۲ ppb رسید. قرن بیستم، گرم‌ترین قرن و سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ گرم‌ترین دهه طی هزار سال گذشته بوده‌اند. هر چهار ده گذشته به طور پی در پی از هر یک از دهه‌های قبل ۱۸۵۰، گرم‌تر بوده است. دمای سطح زمین در دو دهه اول قرن بیست و یکم (۲۰۲۰-۲۰۰۱) نسبت به دوره ۱۹۰۰-۱۸۵۰ به میزان ۰/۹۹ °C با دامنه‌ی [۰/۸۴ °C تا ۱/۱ °C] گرم‌تر بوده است. دمای سطحی کره زمین طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره ۱۸۵۰-۱۹۰۰ نیز به میزان ۱/۰۹ °C با دامنه‌ای از ۰/۹۵ تا ۱/۲ درجه سلسیوس بالاتر بوده است که این افزایش دما بر روی خشکی ۱/۵۹ °C [۱/۳۴ °C تا ۱/۸۳ °C] و بر روی اقیانوس ۰/۸۸ °C [۰/۶۸ °C تا ۱/۰۱ °C] برآورد شده است (IPCC, 2021). سطح آب دریاها (SLR) در نتیجه گرمایش جهانی ناشی از انسان در حال افزایش است و نرخ‌های اخیر در بیش از ۲۰۰۰ سال گذشته بی سابقه بوده است. بالا آمدن سطح دریا عمدتاً به دو عامل مرتبط با گرمایش جهانی مرتبط است: آب اضافه شده از ذوب صفحات یخ و یخچال‌های طبیعی و افزایش حجم آب دریا در حین گرم شدن (سینها، ۲۰۰۳). میانگین دمای سطح اقیانوس در سطح جهانی نشان‌دهنده‌ی روندی گرمایشی است که شیب متوسط آن ۰/۱۳ ± ۰/۰۶۲ درجه سلسیوس بر دهه طی ۱۲۰ سال گذشته (۱۹۰۰-۲۰۱۹) بوده است (گراسیا سوتو، ۲۰۲۱). در دریای عرب نیز روند خطی تغییرات دما در دوره ۲۰۱۷-۲۰۱۰ در حال افزایش است که طی این دوره به میزان ۰/۳۶ درجه سلسیوس بوده است (ملا اسماعیل پور و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج پژوهش راجندرا و همکاران (۲۰۱۲) نشان می‌دهد در مناطق سرد، بارندگی کم اتفاق می‌افتد، در حالی که در مناطقی که دارای SST بیش از ۲۸ °C هستند، بارندگی‌های زیادی رخ می‌دهد. با تغییر SST، سایر اشکال زندگی نیز در نواحی مجاور تحت تأثیر قرار می‌گیرند به عنوان مثال نشان داده شده است که چرخه روزانه SST در برآورد زیست توده فیتوپلانکتون در دریای عرب تأثیر دارد (مکیری و همکاران، ۲۰۰۱). از نظر تنوری به خوبی ثابت شده است که دمای سطح آب (SST) بیش از ۲۶ درجه سلسیوس به

یعنی حدود ۳۵۰۰ کیلومتر از خط ساحلی این دریا مربوط به کشورهای غیرعربی است. یک میلیارد جمعیت اطراف این دریا غیر عرب هستند ولی به نام دریای عرب معروف شده است. در میان جغرافی‌نویسان اسلامی نام دریای عرب برای نخستین بار در دو قرن اخیر ظاهر شده است، که این نام را ابتدا استعمارگران اروپایی در نقشه‌ها رایج نمودند. در منابع عربی و اسلامی نام بحر عرب نیامده است و آن‌ها کل این دریا را به همراه دریای عمان و خلیج فارس را روی هم بحر فارس نامیده‌اند (مرکز مطالعات خلیج فارس).

در این پژوهش از مجموعه داده‌های ماهانه دمای سطح دریای مرکز هدلی انگلستان (<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst>) به عنوان داده‌های مشاهداتی دمای سطح دریا استفاده شده است. این مجموعه داده، جایگزین مجموعه داده‌های جهانی یخ و دمای سطح دریا (GISST<sup>۱</sup>) شده است و ترکیبی منحصربه‌فرد از میدان‌های ماهانه کامل جهانی SST و یخ دریا با قدرت تفکیک شبکه‌ای ۱ درجه طول و ۱ درجه عرض جغرافیایی از سال ۱۸۷۰ تا به امروز است (رینر و همکاران، ۲۰۰۳).

برونداد مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم یا CMIP6<sup>۲</sup> (ایرینگ و همکاران، ۲۰۱۶) به عنوان معتبرترین ابزار پیش‌نگری‌های اقلیمی، به منظور برآورد بی-هنجاری‌های دمای سطحی ماهانه در پهنه‌ی آبی خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب و همچنین بی‌هنجاری سالانه سطح آب دریا در منطقه خلیج فارس و دریای عمان برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ نسبت به دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۵ (دوره پایه مدل‌های سری CMIP6) استفاده شده است. برونداد مدل-های سری CMIP6 تحت سناریوهای اجتماعی-اقتصادی مشترک<sup>۳</sup> (SSPs) در کنار سناریوهای نماینده غلظت گازهای گلخانه‌ای برای تحلیل پس‌خورهای بین‌تغییرات اقلیمی و فاکتورهای اجتماعی-اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری در دسترس قرار دارند (گدن و همکاران، ۲۰۱۹). این سناریوها که در

زیادی از چرخندهای حاره‌ای در این محدوده هنگام ورود به خشکی به فاجعه‌های طبیعی ویرانگر مبدل گردند (بلانژه و همکاران، ۲۰۱۲؛ شجاع و همکاران، ۱۳۹۹). تا سال ۲۰۰۶ بیشتر دانشمندان بر این باور بودند که چرخندزایی در شمال اقیانوس هند قبل و بعد از مونسون اتفاق می‌افتد، اما توسعه غیر معمول دو چرخند گونو و یمین در ماه ژوئن ۲۰۰۷ نگرانی‌های را مبنی بر گرم شدن بیشتر دریای عرب نسبت به خلیج بنگال به وجود آورد به طوری که گونو را به یکی از قوی‌ترین چرخندهای رخ داده در این منطقه تبدیل کرد (رانا و همکاران، ۲۰۱۴). به نظر می‌رسد وقوع طوفان‌های نوظهور مثل طوفان گونو و فت را می‌توان به عنوان یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم در محدوده اقیانوس هند و دریای عرب برشمرد (قویدل، ۱۳۹۰).

به دلیل آثار شدید اقلیمی و اقتصادی-اجتماعی که افزایش سطح دریا و رویداد چرخندهای حاره بر نواحی ساحلی جنوبی ایران جای می‌گذارند، پژوهش و تحقیق در این زمینه بویژه تحت شرایط تغییر اقلیم، از اهمیت بالایی برخوردار است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه مورد بررسی

پهنه‌ی آبی خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب در گستره حدود ۴۷/۷ تا ۷۴/۳ درجه طول جغرافیایی و ۰/۷- تا ۳۱/۱ درجه عرض جغرافیایی قرار دارد. حداکثر پهنای دریای عرب ۲۴۰۰ کیلومتر و حداکثر ژرفای آن تا ۵۰۰۰ متر برآورد شده است. این دریا، ۳۸۶۲۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد و از این نظر، سومین دریای بزرگ دنیا است. کشورهای که با این دریا کرانه دارند عبارتند از: عمان، ایران، یمن، پاکستان، هندوستان، مالدیو و امارات متحده عربی. شهرهای مهم ساحلی این منطقه شامل بمبئی (هندوستان)، کراچی (پاکستان) است. شرقی‌ترین نقطه ایران به نام جزیره مرجان (شیطان) در مجاورت این دریا قرار دارد. بیش از ۷۰ درصد

<sup>1</sup> The Global sea Ice and Sea Surface Temperature

<sup>2</sup> The Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

<sup>3</sup> Shared Socioeconomic Pathways

مدل (جدول ۱) طی دوره تاریخی ۲۰۱۴-۱۹۹۵ آورده شده است. P50 اساساً یک سطح آماری از اطمینان است که انتظار می‌رود SST یا SRL پیش‌بینی شده با احتمال ۵۰ درصد از آن فراتر رود. در شکل ۳، تفاوت دمای برآوردی از دو سری مجموعه داده به منظور مقایسه و ارزیابی توانمندی مدل‌های سری CMIP6 آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود مدل‌های سری CMIP6 در ماه ژوئن و می، برای تعدادی از سلول‌های شبکه در منطقه خلیج فارس (نواحی ساحلی)، مقدار SST را کم برآورد کرده‌اند. در ماه می برای ۸ درصد از یاخته‌ها میزان کم برآورد دما دامنه‌ای از ۲- تا ۴- درجه سلسیوس را شامل می‌شود که مقدار کم برآورد ۴ درجه تنها در دو یاخته بدست آمده است. دو ماه اکتبر و نوامبر، بجز برای نقطه شبکه (۲۹/۵۰) طول جغرافیایی  $50/5^{\circ}$  عرض جغرافیایی)، در بقیه نقاط، تفاوت دمای سطح دریا، دارای دامنه‌ای از  $1/8-$  تا  $0/5$  درجه سلسیوس برای ماه اکتبر و  $1/6-$  تا  $0/6$  درجه سلسیوس برای ماه نوامبر است. در این ماه، بیش از ۳۳ درصد از یاخته‌ها دارای تفاوتی از  $0/1-$  تا  $0/1+$  درجه سلسیوس هستند. به رغم تفاوت در مقادیر دو سری داده در برخی یاخته‌ها، الگوی دما در پهنه آبی مورد بررسی طی چهار ماه مورد بررسی، مشابه بدست آمده است. بیشترین مقدار SST در ماه ژوئن در هر دو سری داده دوره پایه در محدوده تنگه هرمز مشاهده می‌شود.

آخرین نسل مدل‌های اقلیمی بکار رفته‌اند، به منظور بررسی این موضوع که چگونه انتخاب‌های اجتماعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر می‌گذارد و بنابراین، چگونه می‌توان به اهداف اقلیمی توافق پاریس دست یافت تدوین شده‌اند. از آنجایی که طوفان‌های منطقه خلیج بنگال دارای دو نقطه اوج در ماه‌های می و نوامبر هستند (آلام و همکاران، ۲۰۰۳) لذا تغییرات دمای سطح دریا برای این دو ماه و ماه‌های می، ژوئن (قبل از مونسون) در این پژوهش بررسی خواهد شد. داده‌های مورد استفاده در فرمت NetCDF از تارنمای <https://interactive-atlas.ipcc.ch/> که حاصل شبکه-بندی مجدد ۲۷ برون‌داد مدل اقلیمی با قدرت تفکیک مکانی  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  برای دوره‌های آماری متفاوت است بارگذاری و در محیط نرم افزار R 4.1.2 برای منطقه مورد نظر برش خورده و نقشه مربوطه ترسیم شده است. تا کنون پژوهش‌هایی در راستای پیش‌نگری دمای سطح دریا تحت سناریوهای SSPs انجام شده است (تونلی و همکاران، ۲۰۲۱).

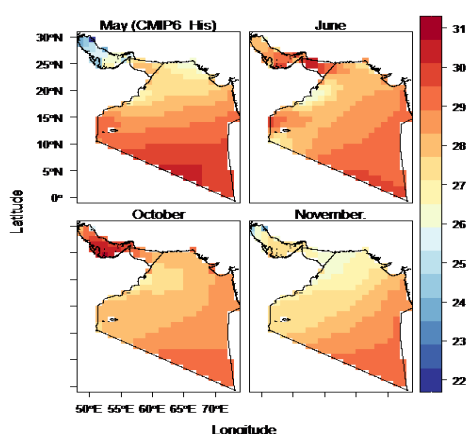
### ۳. نتایج

در شکل ۱، دمای سطحی دریا بر حسب درجه سلسیوس برای منطقه مورد بررسی بر اساس بهترین برآورد (P50) مقادیر مجموعه داده HadISST برای چهار ماه مورد نظر به عنوان داده‌های مشاهداتی و شکل ۲ بر اساس P50 محاسبه شده از ۲۷

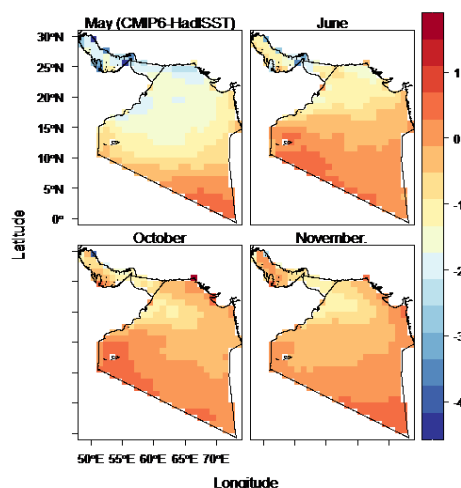
جدول ۱. مدل‌های سری CMIP6 بکار رفته در برآورد SST

| نام مدل       | منبع   | قدرت تفکیک (km) | نام مدل        | منبع  | قدرت تفکیک (km) |
|---------------|--|-----------------|----------------|---|-----------------|
| ACCESS-CM2    | سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی مشترک المنافع-استرالیا                 | ۲۵۰             | HadGEM-GC31-LL | مرکز هدلی دفتر آب و هوایی - انگلستان                    | ۱۰۰             |
| ACCESS-ESM1-5 |  | ۲۵۰             | IITM-ESM       | مرکز پژوهش‌های تغییر اقلیم، موسسه هواشناسی حاره‌ای- هند | ۲۵۰             |
| AWI-CM-1-1MR  | موسسه آلفرد و گنر - آلمان  | ۲۵              | INM-CM5-0      | موسسه محاسبات عددی- روسیه                               | ۱۰۰             |
| BCC-CSM2-MR   | مرکز اقلیمی پکن-چین  | ۱۰۰             | IPSL-CM6A-LR   | موسسه پیر سیمون لاپلاس- فرانسه                          | ۱۰۰             |
| CAMS-CSM1-0   | آکادمی علوم جوی چین  | ۱۰۰             | KIOST-ESM      | موسسه علوم و فناوری اقیانوسی-کره                        | ۲۵۰             |
| CESM2-WACCM   | مرکز ملی پژوهش‌های جوی- آمریکا                                       | ۱۰۰             | MPI-ESM1-2-HR  | موسسه هواشناسی ماکس پلانک-                              | ۵۰              |
| CMCC-CM2-SR5  | مرکز اروپایی- مدیترانه‌ای تغییرات اقلیمی                             | ۱۰۰             | MPI-ESM1-2-LR  | آلمان   | ۲۵۰             |
| CNRM-CM6-1-HB | مرکز ملی تحقیقات هواشناسی و هواشناسی فرانسه و آزمایشگاه CNRM- فرانسه | ۲۵              | NESM3          | دانشگاه علوم ارتباطات و فناوری نانجینگ-چین              | ۱۰۰             |

|     |   |             |     |  |               |
|-----|---|-------------|-----|--|---------------|
| ۱۰۰ | مرکز اقلیمی نروژ-نروژ                   | NorESM2-LM  | ۱۰۰ |  | CNRM-CM6-1    |
| ۱۰۰ |   | NorESM2-MM  | ۱۰۰ |  | CNRM-ESM2-1   |
| ۱۰۰ | مرکز هدلی دفتر آب و هوایی - انگلستان    | UKESM1-0-LL | ۱۰۰ | مرکز کانادایی تحلیل و مدلسازی اقلیمی - کانادا                                | Can-ESM2-1    |
| ۵۰  | آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیک - USA | GFDL-ESM4   | ۱۰۰ | کنسرسیوم اروپایی   | EC-Earth3-Veg |
| ۲۵  |   | GFDL-CM4    | ۱۰۰ |  | EC-Earth3     |
|     |   |             | ۱۰۰ | آزمایشگاه اصلی ایالتی مدل سازی عددی علوم جوی و دینامیک سیالات ژئوفیزیک - چین | FGOALS-g3     |



شکل ۲. مقدار برآوردی SST ماهانه بر اساس مجموعه داده CMIP6 طی دوره پایه



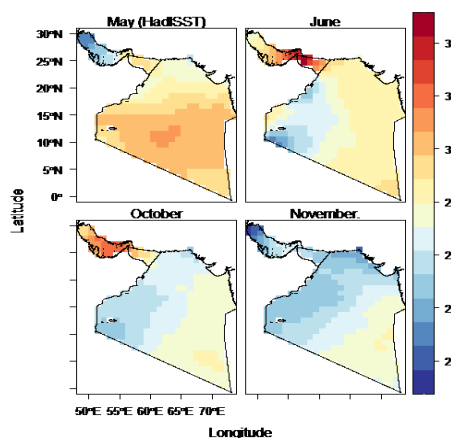
شکل ۳. تفاوت SST دو مجموعه داده برای چهار ماه طی دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴

تحت سناریوی SSP3-7.0 دما به میزان ۰/۶۵ و تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP1-2.6 به میزان حدود ۰/۷ درجه بر حسب C سلسیوس در این ناحیه افزایش خواهد یافت. سناریوهای SSP1، SSP2 و SSP5 به ترتیب به عنوان سناریوهای خوشبینانه، متوسط و بدبینانه شناخته می

باتاچاریا و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود نشان دادند که سه مدل IPSL-، CanESM5، MPI-ESM1-2-HR در مقایسه با سایر مدل ها (۱۱ مدل منتخب) دارای اریبی کمتر و در نتیجه عملکرد بهتری در شبیه سازی دمای سطح دریا در منطقه غرب دریای عرب در فصل مونسون بودند. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه ۱۱ مدل CMIP6 دارای عملکرد قابل قبولی در شبیه سازی دمای سطح دریا در منطقه دریای عرب بوده اند.

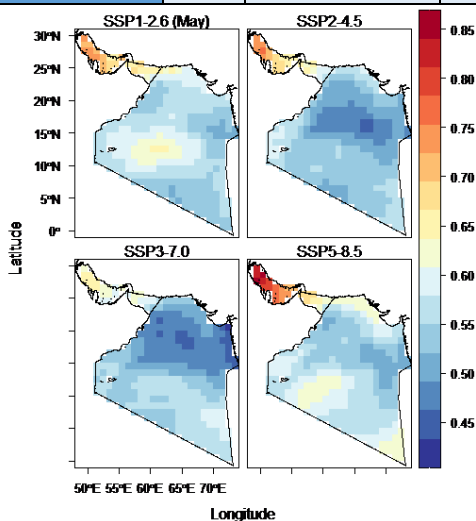
### ۳-۱. پیش‌نگری تغییرات دمای سطحی و سطح آب دریا در منطقه مورد نظر طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰

در شکل ۴ تغییرات دمای ماه می دوره آینده نزدیک نسبت به دوره پایه آورده شده است. همانطور که انتظار می‌رود تحت سناریوی SSP8.5 بیشترین افزایش دما رخ خواهد دارد که متعلق به نواحی ساحلی خلیج فارس، به میزان ۰/۸۷ درجه سلسیوس (P50 ۲۸ مدل) است.



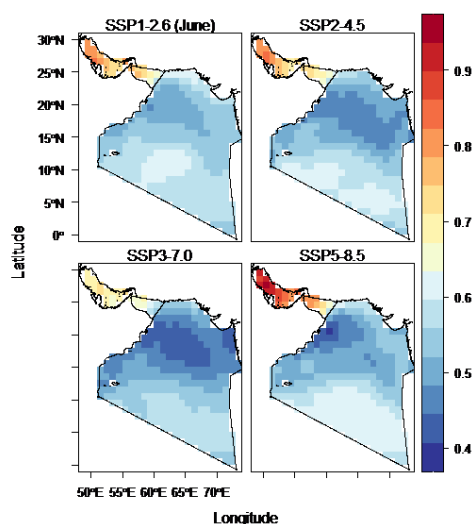
شکل ۴. میانگین برآوردی ماهانه SST بر اساس مجموعه داده HadISST طی دوره پایه

|           |     |           |     |
|-----------|-----|-----------|-----|
| GFDL-ESM4 | ۰/۴ | FGOALS-g3 | ۰/۵ |
|-----------|-----|-----------|-----|



شکل ۴. تغییر SST ماه می دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ بر

حسب °C



شکل ۵: تغییر SST ماه ژوئن دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ بر

حسب °C

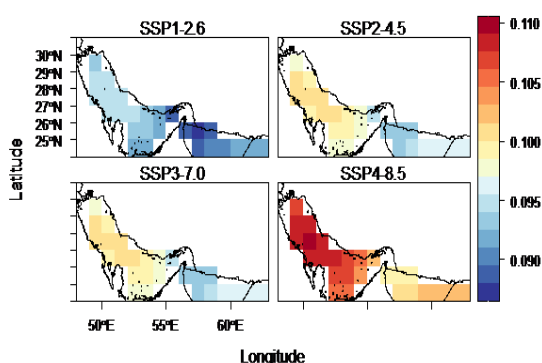
در ماه اکتبر، در نواحی مرکزی این دریا، افزایش کمتری نسبت به نواحی شمالی و جنوبی آن بدست آمده است. که این الگو در چهار سناریوی تحت بررسی مشاهده می‌شود. دامنه افزایش دما تا بیش از ۱ درجه سلسیوس در خلیج فارس و دریای عمان تحت سناریوی SSP5-8.5 مشاهده می‌شود. در ماه نوامبر افزایش SST بیشتر در نواحی غربی دریای عرب نسبت به سمت شرقی آن پیش‌نگری شده است. بیشترین افزایش دما در ماه‌های اکتبر و نوامبر بدست آمد. تحت

شوند. در ناحیه دریا عرب، افزایش دما در ماه می به میزان ۰/۶ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه برآورد شده است. در جدول ۲، مقدار تغییر پیش‌نگری شده هر مدل تحت سناریوی SSP5-8.5 آورده شده است. بیشترین مقدار افزایش دما برای مدل Can-ESM2-1 بدست آمده است. همانطور که در شکل‌های ۴ تا ۷ مشاهده می‌شود در دو ماه می و ژوئن، بیشترین افزایش دما در نواحی جنوبی دریای عرب نسبت به نواحی مرکزی آن برآورد شده است. تحت سناریوی SSP1-2.6 افزایش دما برای دریای عرب به ترتیب ۰/۶ برای ماه می و ۰/۵ درجه سلسیوس برای سه ماه دیگر بدست آمد.

جدول ۲. مقدار تغییر SST برآورد شده دریای عرب توسط هر مدل تحت سناریوی SSP5-8.5 برای ماه می نسبت به دوره پایه بر حسب °C

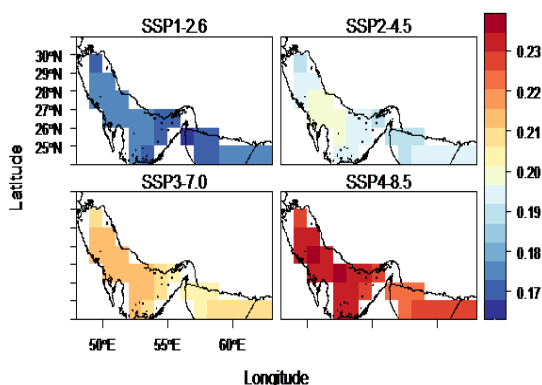
| نام مدل        | $\Delta SST$ | نام مدل       | $\Delta SST$ |
|----------------|--------------|---------------|--------------|
| HadGEM-GC31-LL | ۱            | ACCESS-CM2    | ۰/۷          |
| IITM-ESM       | ۰/۴          | ACCESS-ESM1-5 | ۰/۶          |
| INM-CM5-0      | ۰/۵          | AWI-CM-1-1MR  | ۰/۴          |
| IPSL-CM6A-LR   | ۰/۶          | BCC-CSM2-MR   | ۰/۵          |
| KIOST-ESM      | ۰/۵          | CAMS-CSM1-0   | ۰/۲          |
| MPI-ESM1-2-HR  | ۰/۴          | CESM2-WACCM   | ۰/۸          |
| KIOST-ESM      | ۰/۴          | CMCC-CM2-SR5  | ۰/۴          |
| MPI-ESM1-2-HR  | ۰/۴          | CNRM-CM6-1-HB | ۰/۸          |
| MPI-ESM1-2-LR  | ۰/۳          | CNRM-CM6-1    | ۰/۶          |
| NESM3          | ۰/۲          | CNRM-ESM2-1   | ۰/۶          |
| NorESM2-LM     | ۰/۵          | Can-ESM2-1    | ۱/۱          |
| NorESM2-MM     | ۰/۶          | EC-Earth3-Veg | ۰/۵          |
| UKESM1-0-LL    | ۱            | EC-Earth3     | ۰/۵          |

ترین سناریو افزایش سطح دریا بر اساس P50 ۲۸ مدل، در سواحل ایران بیش از ۰/۱۱ متر خواهد بود. در این دوره،



شکل ۸. تغییر SLR بر حسب متر طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴

تفاوتی بین دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP3-7.0 مشاهده نمی شود و هر دو این سناریوها دامنه ای از ۰/۰۹ تا ۰/۱۱ متر را برای این منطقه برآورد کرده اند. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود افزایش سطح دریا طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۱ دو برابر دوره قبل بدست آمده است. در این دوره، تفاوت عمده ای در برآورد افزایش سطح دریا در دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP3-7.0 مشاهده می شود. در سناریوی SSP2-4.5 دامنه افزایش از ۰/۱۸ تا ۰/۱۹ متر و در سناریوی SSP3-7.0 دامنه این افزایش در بازه ی ۰/۲۰ تا ۰/۲۲ قرار دارد.

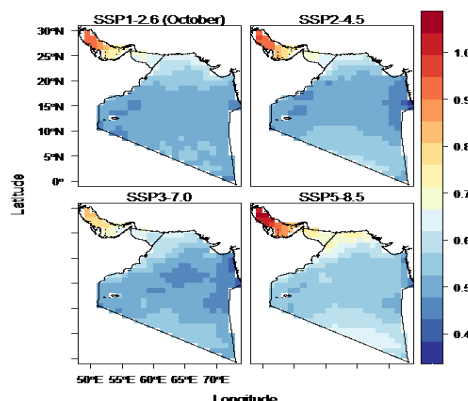


شکل ۷. تغییر میانگین SST ماه نوامبر دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴

#### ۴. نتیجه گیری و جمع بندی

روند گرمایشی در اقیانوس هند سهم عمده ای در روند کلی میانگین SST جهانی دارد. تغییرات کوچکی در SST منجر به پاسخ قابل توجهی به جو بالایی شده که منجر به تغییرات اقلیمی جهانی و منطقه ای از طریق بر همکنش های جوی می

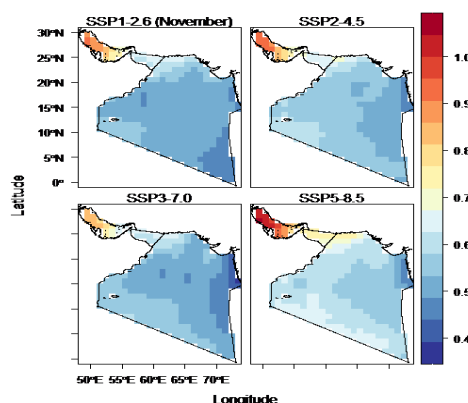
سناریوی SSP3-7.0 کمترین افزایش دما برای ۴ ماه مورد بررسی برای خلیج فارس و دریای عمان برآورد شده است.



شکل ۶. تغییر SST ماه اکتبر دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ بر حسب °C

#### ۲-۳. پیش نگری سطح دریا طی دوره آینده نزدیک

در شکل ۸، تغییرات سطح دریای عرب و خلیج فارس و دریای عمان تحت چهار سناریوی SSPs برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود تحت سناریوی SSP1-2.6 افزایش سطح دریا به میزان ۰/۰۹ متر برای سواحل ایران پیش نگری شده است.



شکل ۵. تغییر میانگین SLR ماه نوامبر دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴

تحت بدبینانه ترین سناریو افزایش سطح دریا بر اساس P50 ۲۸ مدل، در سواحل ایران بیش از ۰/۱۱ متر خواهد بود. در این دوره، تفاوتی بین دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP3-7.0 مشاهده نمی شود و هر دو این سناریوها دامنه ای از ۰/۰۹ تا ۰/۱۱ متر را برای این منطقه برآورد کرده اند. تحت بدبینانه



سه شهر مهم بندرعباس، عسلویه، بوشهر در امتداد خلیج فارس و جزایری مهمی از قبیل خارگ، لاوان، کیش، قشم، سیری، ابوموسی، تنب بزرگ و تنب کوچک در طول خلیج فارس (بیش از ۴۰ جزیره ایرانی خلیج فارس در حوزه سیاسی سه استان بوشهر، خوزستان و هرمزگان قرار دارند که کمتر از نیمی از آن مسکونی هستند) در معرض خطرات ناشی از این دو رویداد قرار خواهند گرفت (جعفری و همکاران، ۱۳۹۵).

ضروری است نتایج این پژوهش در تصمیم‌گیری‌ها در خصوص احداث بنادر و سازه‌های ساحلی و دریایی از قبیل آبگیرهای آب شیرین کن‌ها مد نظر قرار گرفته و استقرار بهبود وضعیت سامانه‌های پیش‌آگاهی با تمرکز بر پیش‌بینی و ردیابی طوفان‌های حاره‌ای حوضه دریای عرب در اولویت تصمیم‌گیران و مدیران این مناطق ایران قرار گیرد.

## ۵. منابع

۱. جعفری، اعظم، ترابی آزاد، مسعود، سهرابی، شهاب، (۱۳۹۵). بررسی اثرات افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم جهانی بر میانگین سطح تراز آب (MSL) در سواحل شمالی خلیج فارس (سواحل استان هرمزگان، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، (۳) ۱۸، ۸۱-۹۷.
۲. شجاع، فائزه، خسروی، محمود، شمسی پور، علی اکبر، (۱۳۹۹). تحلیل شرایط همدید چرخنده‌های حاره ای ساگار و میکونو در دریای عرب سال ۲۰۱۸، سپهر، (۱۱۳) ۲۹، ۹۳-۱۱۲.
۳. قویدل رحیمی، یوسف، (۱۳۹۰). نگاشت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حاره ای فت در سواحل چابهار، مدرس علوم انسانی- برنامه ریزی و آمایش فضا، ۲، ۱۰۱-۱۱۸.
۴. مشهدی لیلا، حاجی زاده ذاکر ناصر، سلطانپور محسن، مقیمی سعید، (۱۳۹۲). شبیه سازی عددی امواج و مد ناشی از توفان گنو در خلیج چابهار. مهندسی دریا، (۹) ۱۷، ۵۰-۳۷.

گردد (نایروجیرو و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش چرخنده‌های حاره‌ای در دریای عرب از سال ۱۹۷۱ طی فصل پیش از مونسون (می - ژوئن) (یان و همکاران، ۲۰۱۷) و افزایش فراوانی چرخنده‌های فوق‌العاده قوی در دریای عرب در سال- های اخیر همانند گونو (موراکانی و همکاران، ۲۰۱۳) شاهدهی بر این ادعا می‌باشند.

اگرچه عموماً طوفان‌هایی که در دریای عرب تشکیل می‌شود تمایل دارند که به سمت غرب (عمان) و شمال (پاکستان و هند) حرکت کنند و به ندرت وارد دریای عمان می‌شوند، اما بررسی‌های و گزارش‌های منتشر شده توسط سازمان هواشناسی کشور هند نشان داده طی سالیان اخیر، تعدادی از این طوفان‌های قوی وارد دریای عمان شده و می‌توانند سواحل ایران و عمان را متاثر نمایند (مشهدی و همکاران، ۱۳۹۲). لذا ضروری است وضعیت احتمالی چرخنده‌های در دوره‌های آتی بررسی گردد.

از طرف دیگر، اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای به طور متوسط افزایش سالیانه ۱ تا ۲ میلی متر برای افزایش سطح تراز آب دریا‌های آزاد پیش‌بینی کرده‌اند (سینها، ۲۰۰۳). این فرایند در دراز مدت سبب بروز مشکلات متعددی نظیر به زیر آب رفتن بسیاری از مناطق مسکونی، از بین رفتن بسیاری از زمین‌های زراعی، تخریب سازه‌های دریایی، بنادر، اسکله‌ها، شور شدن منابع آبی و بسیاری موارد دیگر خواهد شد (ماهانگو، ۲۰۰۶) به همین دلیل بررسی و ارایه چشم‌اندازی از وضعیت آتی سطح دریا بر اساس معتبرترین ابزار پیش‌نگری (مدل- های اقلیمی) ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، در این پژوهش، پیش‌نگری انجام شده بر اساس ۲۸ مدل سری CMIP6 برای دو متغیر دمای سطح دریا (SST) و میزان افزایش سطح دریا (SRL) برای دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) و برای آینده میانی (۲۰۶۰-۲۰۴۱) برای SRL برای منطقه دریای پارس ارایه شد. نتایج نشان داد هر دو متغیر SST و SRL طی دوره آتی با مقادیر متفاوتی بر حسب سناریو و مدل اقلیمی افزایش خواهند یافت. با توجه به ایجاد یکی از وضعیت محیطی مطلوب برای رخداد چرخند حاره- ای (افزایش دمای سطح آب) و همچنین افزایش سطح دریا،

14. [http:// www.persiangulfstudies.com /fa/pages/875/](http://www.persiangulfstudies.com/fa/pages/875/)
15. <http://www.persiangulfstudies.com/fa>
16. IPCC, 2021. "Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
17. Mahongo, S. (2006, November). Impacts of sea level change. In ODINAFRICA/GLOSS Training Workshop on Sea-Level Measurement and Interpretation, Oostende, Belgium (pp. 13-24).
18. McCreary Jr, J. P., Kohler, K. E., Hood, R. R., Smith, S., Kindle, J., Fischer, A. S., & Weller, R. A. (2001). Influences of diurnal and intraseasonal forcing on mixed-layer and biological variability in the central Arabian Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C4), 7139-7155.
19. Murakami, H., Sugi, M., & Kitoh, A. (2013). Future changes in tropical cyclone activity in the North Indian Ocean projected by high-resolution MRI-AGCMs. *Climate Dynamics*, 40(7), 1949-1968.
20. Nyadjro, E. S., Subrahmanyam, B., Murty, V. S. N., & Shriver, J. F. (2012). The role of salinity on the dynamics of the Arabian Sea mini warm pool. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C9).
21. Rajendran, K., Nanjundiah, R. S., Gadgil, S., & Srinivasan, J. (2012). How good are the simulations of tropical SST-rainfall relationship by IPCC AR4 atmospheric and coupled models?. *Journal of earth system science*, 121(3), 595-610.
22. Rana, A. S., Zaman, Q., Afzal, M., & Haroon, M. A. (2014). Characteristics of sea surface temperature of the Arabian Sea Coast of Pakistan and impact of tropical cyclones on SST. *Pakistan Journal of Meteorology*, 11(21).
23. Rayner, N. A. A., Parker, D. E., Horton, E. B., Folland, C. K., Alexander, L. V., Rowell, D. P., ... & Kaplan, A. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the
۵. ملا اسماعیل پور، سعید، محمد مهدیزاده، مهدی، حسن زاده، اسماعیل، خلیل آبادی، محمدرضا. (۱۳۹۸). بررسی تغییرات دما و شوری سطح دریای عربی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷. دریافون، ۶(۳)، ۸۸-۹۷.
6. Alam, M. M., Hossain, M. A., & Shafee, S. (2003). Frequency of Bay of Bengal cyclonic storms and depressions crossing different coastal zones. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(9), 1119-1125.
7. Belanger, J. I., Webster, P. J., Curry, J. A., & Jelinek, M. T. (2012). Extended prediction of North Indian Ocean tropical cyclones. *Weather and forecasting*, 27(3), 757-769.
8. Bruyère, C. L., Holland, G. J., & Towler, E. (2012). Investigating the use of a genesis potential index for tropical cyclones in the North Atlantic basin. *Journal of Climate*, 25(24), 8611-8626.
9. Emanuel, K., & Nolan, D. S. (2004, July). Tropical cyclone activity and the global climate system. In 26th conference on hurricanes and tropical meteorology.
10. Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958.
11. Garcia-Soto, C., Cheng, L., Caesar, L., Schmidt, S., Jewett, E. B., Cheripka, A., ... & Abraham, J. P. (2021). An overview of ocean climate change indicators: Sea surface temperature, ocean heat content, ocean pH, dissolved oxygen concentration, arctic sea ice extent, thickness and volume, sea level and strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). *Frontiers in Marine Science*.
12. Gidden, M. J., Riahi, K., Smith, S. J., Fujimori, S., Luderer, G., Kriegler, E., ... & Takahashi, K. (2019). Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific model development*, 12(4), 1443-1475.
13. Gray, W. M. (1968). Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Monthly Weather Review*, 96(10), 669-700.

- increases in sea surface temperature. *Frontiers in Marine Science*, 8, 636226.
26. Webster, P. J., Holland, G. J., Curry, J. A., & Chang, H. R. (2005). Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment. *Science*, 309(5742), 1844-1846.
27. Yan, Q., Wei, T., & Zhang, Z. (2017). Variations in large-scale tropical cyclone genesis factors over the western North Pacific in the PMIP3 last millennium simulations. *Climate Dynamics*, 48(3), 957-970.
- late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D14).
24. Sinha, P. C., 2003. "Sea Level Rise due to Global Warming and Climate Variability", *Antarctic Geosciences, Ocean atmosphere Interaction and Paleoclimatology* .pp 148-159.
25. Tonelli, M., Signori, C. N., Bendia, A., Neiva, J., Ferrero, B., Pellizari, V., & Wainer, I. (2021). Climate projections for the southern ocean reveal impacts in the marine microbial communities following