

پیش نگری سطح آب دریا و دمای آن در منطقه دریایی پارس تحت سناریوی های SSPs

منصوره کوهی^{*}، ایمان بابائیان

استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، پژوهشکده اقلیم شناسی و تغییر اقلیم، مشهد

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹)

چکیده

دریای عرب یکی از پهنه‌های آبی پرتردد دریایی در جهان محسوب می‌شود که همواره از لحاظ مقابله با خواص اقیانوس شناسی 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 تاثیرگذار است. به همین دلیل درک تغییرات این مشخصه در دریای عرب بسیار حائز اهمیت است. لذا در این پژوهش، چشم اندازی 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 ۲۰۲۱-۲۰۴۰ ارایه شده است. نتایج نشان داد تحت جدیدترین سناریوهای SSPs، در چهار ماه مستعد چرخ‌تندزایی در دریای عرب، SST افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش SST تحت چهار افزایش مورد بررسی برای خلیج فارس و دریای عمان بدست آمد. افزایش سطح دریا در نواحی خلیج فارس و دریای عمان طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۱، دامنه‌ای از ۰/۰۹ تا ۰/۱ متر برآورد شده است. برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۱ این افزایش دو برابر خواهد شد.

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

عرب که در مجموع دریای پارس نامیده می‌شود به منظور اتخاذ تصمیم‌های منطقه‌ای در رابطه با استقرار و بهینه سازی سامانه‌های پیش آگاهی 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 متوسط سالانه گاز دی اکسید کربن به ۴۱۰ ppb، متان (CH₄) به ۱۸۶۶ ppb و برای اکسید نیتروژن (N₂O) 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 دهه‌های قبل ۱۸۵۰، گرمتر بوده است. دمای سطح زمین در دو دهه اول قرن بیست و یکم (۲۰۰۱-۲۰۲۰) نسبت به دوره ۱۹۰۰-۱۸۵۰

۱ مقدمه

پهنه‌های آبی دریای عرب، دریای عمان و خلیج فارس از جمله آسیب پذیرترین 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 شده اند منطقه‌ای شناخته می‌شوند که نسبت به امواج گرمایی حدی، طوفان‌های گرد و غبار و کمبود آب بسیار آسیب پذیر 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 رانه تنها به یک دغدغه اکولوژیکی، بلکه امنیتی تبدیل خواهد کرد.

عدم تعديل و کاهش تغییر اقلیم، می‌تواند منجر به درگیری بر سر منابع این مناطق بویژه خلیج فارس گردد. در این راستا، در این پژوهش، چشم اندازی از وضعیت دمای سطح دریا و میزان افزایش سطح آن در خلیج فارس، دریای عمان و دریای

*نگارنده رابط:

پیش بینی کننده‌ی 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 روى می‌دهد. زمان رخداد این توفان‌ها در نیمکره شمالی از فروردین تا مهر و در نیمکره جنوبی از آبان تا اسفند است. چرخنده‌ای حاره ای 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 پیش موسمی (Pre monsoon) در ماه‌های می و دیگری چرخند پس موسمی (Post monsoon) در ماه‌های اکتبر تا نوامبر شکل می‌گیرد. برخی چرخندها در مرحله انتقالی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر شکل می‌گیرند. محدوده‌ی اقیانوس هند شمالی، شامل خلیج بنگال و دریای عرب یکی از اقیانوس‌های حاره ای گرم است که از این نظر برای شکل‌گیری طوفان‌های حاره‌ای بسیار مساعد می‌باشد و تقریباً ۷ درصد از چرخندهای حاره ای 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 منشا می‌گیرند. به رغم فعالیت کم‌تر چرخندها در این حوضه نسبت به سایر حوضه‌های اقیانوسی ویکن 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 سیالی 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 تعداد زیادی از چرخندهای حاره‌ای در این محدوده هنگام ورود به خشکی به فاجعه‌های طبیعی ویرانگر مبدل گردند (بلانژ 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 چرخدنگونه و یمین در ماه ژوئن ۲۰۰۷

به میزان $0/99^{\circ}\text{C}$ با دامنه‌ی $[1/1^{\circ}\text{C} / 0/84^{\circ}\text{C}]$ گرم‌تر بوده است. دمای سطحی کره زمین طی دوره ۲۰۱۱–۲۰۲۰ نسبت به دوره ۱۹۰۰–۱۸۵۰ نیز به میزان $1/09^{\circ}\text{C}$ با دامنه‌ی از $0/95^{\circ}\text{C}$ تا $1/2^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس بالاتر بوده است که این افزایش دما بر روی خشکی $1/59^{\circ}\text{C}$ [$1/34^{\circ}\text{C} / 1/83^{\circ}\text{C}$] و بر روی اقیانوس $0/88^{\circ}\text{C}$ [$0/68^{\circ}\text{C} / 1/01^{\circ}\text{C}$] برآورد شده است (IPCC, 2021). سطح آب دریاهای (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 بخ و یخچال‌های طبیعی و افزایش حجم آب دریا در حین گرم شدن (سینها، ۲۰۰۳). میانگین دمای سطح اقیانوس در سطح جهانی نشان دهنده روندی گرمایشی است که شیب متوسط آن $0/013 \pm 0/062^{\circ}\text{C}$ 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 $0/36^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس بوده است (ملا اسماعیل پور و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج پژوهش راجندها و همکاران (۲۰۱۲) نشان می‌دهد در مناطق سرد، بارندگی کم اتفاق می‌افتد، در حالی که در مناطقی که دارای SST بیش از 28°C هستند، بارندگی‌های زیادی رخ می‌دهد. با تغییر SST، سایر اشکال زندگی نیز در نواحی مجاور تحت تاثیر قرار می‌گیرند به عنوان مثال نشان داده شده است که چرخه روزانه SST در برآورد زیست‌توده فیتوپلانکتون در دریای عرب تاثیر دارد (مکیری و همکاران، ۲۰۰۱). از نظر تئوری به خوبی ثابت شده است که دمای سطح آب (SST) بیش از 26°C درجه سلسیوس به عنوان یکی از الزامات چرخندزایی (گری، ۱۹۶۸) است. در شاخص‌های بکار رفته در بررسی ارتباط بین متغیرهای جوی و چرخدنده ای حاره‌ای مانند شاخص پتانسیل پیدایش (امانوئل و نولان، ۲۰۰۴)، از چندین متغیر جوی استفاده شده و دما به عنوان عامل مهم تأثیرگذار در شکل‌گیری چرخدندهای حاره‌ای شناخته می‌شود، منطقی است که بتوان از آن به عنوان یک

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 انگلستان مرکز هدلی

(<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst>) به عنوان داده‌های مشاهداتی دمای سطح دریا استفاده شده است. این مجموعه داده، جایگزین مجموعه داده‌های جهانی يخ و دمای سطح دریا (GISST^۱) شده است و ترکیبی منحصر به فرد از میدان‌های ماهانه کامل جهانی SST و يخ دریا با قدرت تفکیک شبکه‌ای ۱ درجه طول و ۱ درجه عرض جغرافیایی از سال ۱۸۷۰ تا به امروز است (Ringer و همکاران، ۲۰۰۳).

برونداد مدل‌های جفت شده پژوهه مقایسه متقابل مرحله ششم یا CMIP6^۲ (ایرینگ و همکاران، ۲۰۱۶) به عنوان معتبرترین ابزار پیش‌نگری‌های اقلیمی، به منظور برآورد بی‌هنجری‌های دمای سطحی ماهانه در پهنه‌ی آبی خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب و همچنین بی‌هنجری 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 مدل‌های سری CMIP6 تحت سناریوهای اجتماعی-اقتصادی مشترک^۳ (SSPs) در کنار سناریوهای نماینده غلظت گازهای گلخانه ای برای تحلیل پس خورهای بین تغییرات 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 آخرین نسل مدل‌های اقلیمی بکار رفته‌اند، به منظور بررسی این موضوع که چگونه انتخاب‌های اجتماعی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای

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 (Rana 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 بر شمرد (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 ۷۴/۳ تا ۴۷/۷ درجه طول جغرافیایی و ۰-۳۱/۱ درجه عرض جغرافیایی قرار دارد. حداقل پهنه‌ی دریای عرب ۲۴۰۰ کیلومتر و حداً کثیر ژرفای آن تا ۵۰۰۰ متر برآورد شده است. این دریا، ۳۸۶۲۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد و از این نظر، سومین دریای بزرگ دنیا است. کشورهایی 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 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 جغرافی نویسان اسلامی نام دریای عرب برای

¹ The Global sea Ice and Sea Surface Temperature

² The Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

³ Shared Socioeconomic Pathways

است. P50 اساساً یک سطح آماری از اطمینان است که انتظار می رود SST یا SRL پیش بینی شده با احتمال ۵۰ درصد از آن فراتر رود. در شکل ۳، تفاوت دمای برآورده از دو سری مجموعه داده به منظور مقایسه و ارزیابی توانمندی مدل های سری CMIP6 آورده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود مدل های سری CMIP6 در ماه ژوئن و می، برای تعدادی از سلول های شبکه در منطقه خلیج فارس (ناحی ساحلی)، مقدار SST را کم برآورد کرده اند. در ماه می برای ۸ درصد از یاخته ها میزان کم برآورده دما دامنه ای از -۲ تا -۴ درجه سلسیوس را شامل می شود که مقدار کم برآورده ۴ درجه تنها در دو یاخته بدست آمد است. دو ماه اکتبر و نوامبر، بجز برای نقطه شبکه (۰/۵۰° طول جغرافیایی و ۵۰/۵ عرض جغرافیایی)، در بقیه نقاط، تفاوت دمای سطح دریا، دارای دامنه ای از ۱/۸ تا ۰/۵ درجه سلسیوس برای ماه اکتبر و ۰/۶ تا ۰/۱ درجه سلسیوس برای ماه نوامبر است.. در این ماه، بیش از ۳۳ درصد از یاخته ها دارای تفاوتی از -۰/۱ تا +۰/۱ درجه سلسیوس هستند. به رغم تفاوت در مقادیر دو سری داده در برخی یاخته ها، الگوی دما در پنهان آبی مورد بررسی طی چهار ماه مورد بررسی، مشابه بدست آمد است. بیشترین مقدار SST در ماه ژوئن در هر دو سری داده دوره پایه در محدوده تنگه هرمز مشاهده می شود.

تأثیر می گذارد و بنابراین، چگونه می توان به اهداف اقلیمی توافق پاریس دست یافت تدوین شده اند. از آنجایی که طوفان های منطقه خلیج بنگال دارای دو نقطه اوج در ماه های می و نوامبر هستند (آلام و همکاران، ۲۰۰۳) لذا تغییرات دمای سطح دریا برای این دو ماه و ماه های می، ژوئن (قبل از مونسون) در این پژوهش بررسی خواهد شد. داده های مورد استفاده در فرمت NetCDF از تارنمای <https://interactive-atlas.ipcc.ch/> که حاصل شبکه-بندي مجدد ۲۷ برونداد مدل اقلیمی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰° برای دوره های آماری متفاوت است بارگذاری و در محیط نرم افزار ۴.۱.۲ R برای منطقه مورد نظر برش خورده و نقشه مربوطه ترسیم شده است. تا کنون پژوهش هایی در راستای پیش نگری دمای سطح دریا تحت سناریو های SSPs انجام شده است (تونلی و همکاران، ۲۰۲۱).

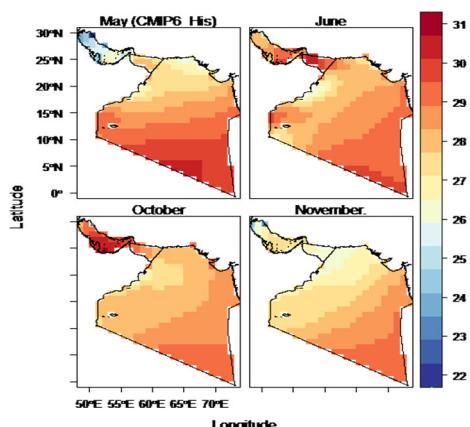
۳ نتایج

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 داده مشاهداتی و شکل ۲ بر اساس P50 محاسبه شده از ۲۷ مدل (جدول ۱) طی دوره تاریخی ۱۹۹۵-۲۰۱۴ آورده شده

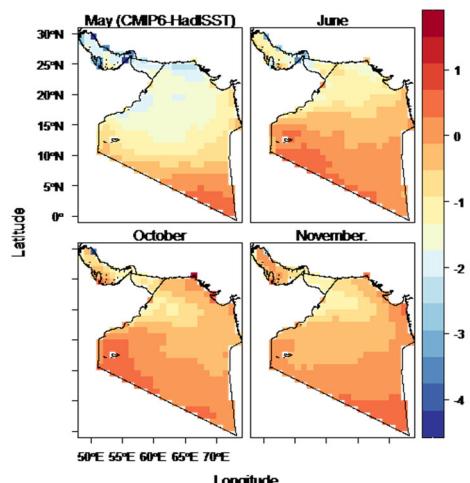
جدول ۱. مدل های سری CMIP6 بکار رفته در برآورد SST

نام مدل	منبع	نام مدل	قدر تفکیک (km)	منبع	قدر تفکیک (km)	قدرت تفکیک (km)
ACCESS-CM2	سازمان پژوهش های علمی و صنعتی مشترک المنافع- استرالیا	HadGEM-GC31-LL	۲۵۰	ACCESS-ESM1-5	۲۵۰	۱۰۰
	مرکز هدایی دفتر آب و هواشناسی انگلستان	IITM-ESM	۲۵۰			۲۵۰
AWI-CM-1-1MR	موسسه آلفرد و گنر- آلمان	INM-CM5-0	۲۵	موسسه پیر سیمون لاپلاس- فرانسه	۱۰۰	۱۰۰
BCC-CSM2-MR	مرکز اقیمی پکن- چین	IPSL-CM6A-LR	۱۰۰	موسسه علوم و فناوری اقیانوسی- کره	۱۰۰	۲۵۰
CAMS-CSM1-0	آکادمی علوم جوی چین	KIOST-ESM	۱۰۰	موسسه هواشناسی ماکس پلانک- آلمان	۱۰۰	۵۰
CESM2-WACCM	مرکز ملی پژوهش های جوی- امریکا	MPI-ESM1-2-HR	۱۰۰	مرکز اروپایی- مدیرانه ای تغییرات اقلیمی	۱۰۰	۲۵۰
CMCC-CM2-SR5	مرکز اروپایی- مدیرانه ای تغییرات اقلیمی	MPI-ESM1-2-LR	۱۰۰			
CNRM-CM6-1-HB	مرکز ملی تحقیقات هواشناسی و هواشناسی فرانسه و آزمایشگاه CNRM- فرانسه	NESM3	۲۵	دانشگاه علوم ارتباطات و فناوری نانجینگ- چین	۲۵	۱۰۰

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



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

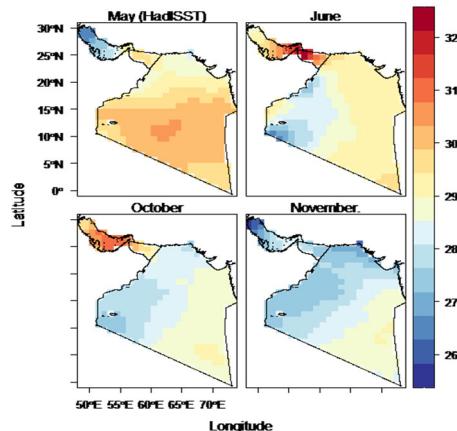


شکل ۳. تنهاوت SST دو مجموعه داده برای چهار ماه طی دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ بر حسب $^{\circ}\text{C}$ سلسیوس در این ناحیه افزایش خواهد یافت. سناریوهای SSP1-2.6, SSP2, SSP5 و SSP1-4.5 در ترتیب به عنوان ناحیه دریا عرب، افزایش دما در ماه می به میزان 0.6°C درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه برآورد شده است. در جدول ۲،

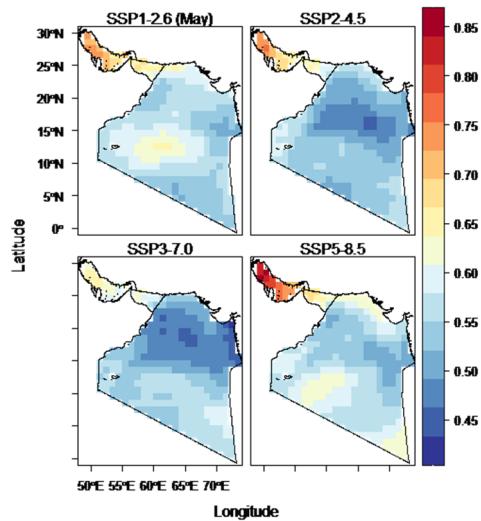
باتاچاریا و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود نشان دادند که سه مدل IPSL-CM6A-LR و CanESM5, MPI-ESM1-2-HR در مقایسه با سایر مدل‌ها (۱۱ مدل منتخب) دارای اریبی کمتر و در نتیجه عملکرد بهتری در شبیه سازی دمای سطح دریا در منطقه غرب دریای عرب در فصل مونسون بودند. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد همه ۱۱ مدل CMIP6 دارای عملکرد قابل قبولی در شبیه سازی دمای سطح دریا در منطقه دریای عرب بوده اند.

۱-۳-پیش‌نگری تغییرات دمای سطحی و سطح آب دریا

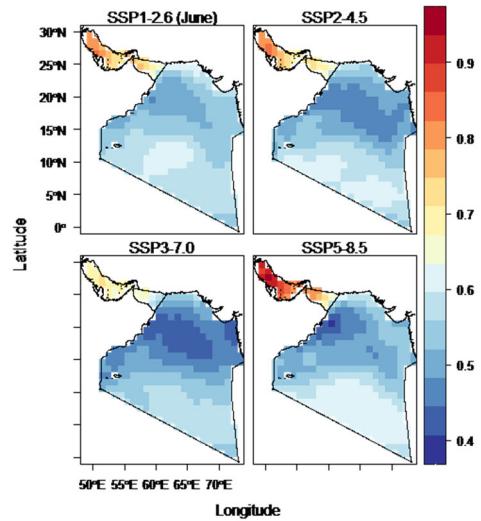
در منطقه مورد نظر طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در شکل ۴ تغییرات دمای ماه می دوره آینده نزدیک نسبت به دوره پایه آورده اشده است. همانطور که انتظار می‌رود تحت سناریوی SSP8.5 بیشترین افزایش دما رخ خواهد دارد که متعلق به نواحی ساحلی خلیج فارس، به میزان $8/7^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس (۲۸ مدل) است. تحت سناریوی SSP3-7.0 دما به میزان $6/9^{\circ}\text{C}$ و تحت دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP2-4.5 به میزان حدود $0/7^{\circ}\text{C}$ درجه



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



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



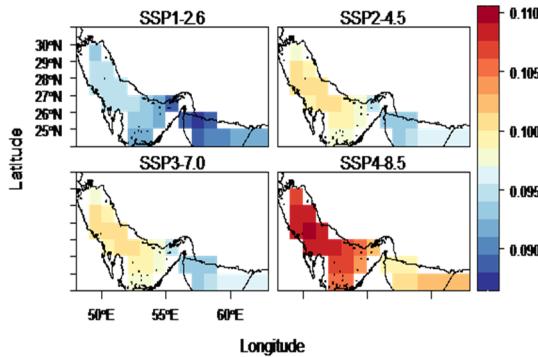
شکل ۵: تغییر SST ماه ژوئن دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ بر حسب °C

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 می شود. دامنه افزایش دما تا بیش از ۱ درجه سلسیوس در خلیج فارس و دریای عمان تحت سناریوی SSP5-8.5 مشاهده می شود. در ماه نوامبر افزایش SST بیشتر در نواحی غربی دریای عرب نسبت به سمت شرقی آن پیش نگری شده است. بیشترین افزایش دما در ماههای اکتبر و نوامبر بدست آمد. تحت سناریوی SSP3-7.0 کمترین افزایش دما برای ۴ ماه مورد بررسی برای خلیج فارس و دریای عمان برآورده شده است.

مقدار تغییر پیش نگری شده هر مدل تحت سناریوی-8.5 آورده شده است. بیشترین مقدار افزایش دما برای مدل Can-ESM2-1 بدست آمده است. همانطور که در شکل های ۴ تا ۷ مشاهده می شود در دو ماه می و ژوئن، بیشترین افزایش دما در نواحی جنوبی دریای عرب نسبت به نواحی مرکزی آن برآورده شده است. تحت سناریوی SSP1-2.6 افزایش دما برای دریای عرب به ترتیب 0.6°C برای ماه می و 0.5°C درجه سلسیوس برای سه ماه دیگر بدست آمد.

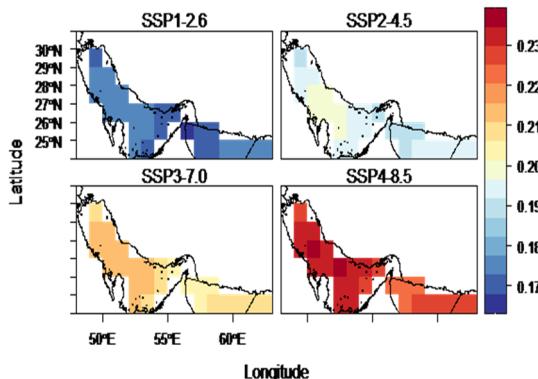
جدول ۲. مقدار تغییر SST برآورده شده دریای عرب توسط هر مدل تحت سناریوی SSP5-8.5 برای ماه می نسبت به دوره پایه بر حسب °C

نام مدل	ΔSST	نام مدل	ΔSST
HadGEM-GC31-LL	۱	ACCESS-CM2	0.7°C
IITM-ESM	0.4°C	ACCESS-ESM1-5	0.6°C
INM-CM5-0	0.5°C	AWI-CM-1-1MR	0.4°C
IPSL-CM6A-LR	0.6°C	BCC-CSM2-MR	0.5°C
KIOST-ESM	0.5°C	CAMS-CSM1-0	0.2°C
MPI-ESM1-2-HR	0.4°C	CESM2-WACCM	0.8°C
KIOST-ESM	0.4°C	CMCC-CM2-SR5	0.4°C
MPI-ESM1-2-HR	0.4°C	CNRM-CM6-1-HB	0.8°C
MPI-ESM1-2-LR	0.3°C	CNRM-CM6-1	0.6°C
NESM3	0.2°C	CNRM-ESM2-1	0.6°C
NorESM2-LM	0.5°C	Can-ESM2-1	1.1°C
NorESM2-MM	0.6°C	EC-Earth3-Veg	0.5°C
UKESM1-0-LL	۱	EC-Earth3	0.5°C
GFDL-ESM4	0.4°C	FGOALS-g3	0.5°C

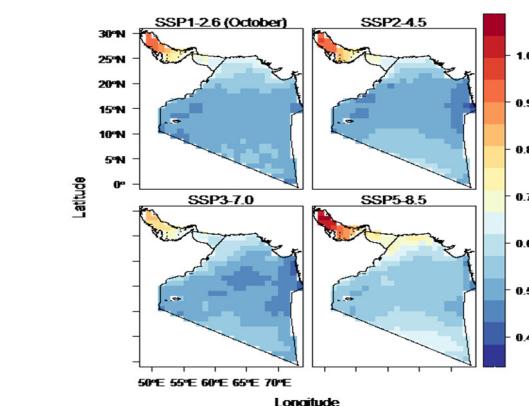


شکل ۵ تغییر SLR بر حسب متر طی دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ نسبت به دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰

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 ۰/۱ متر را برای این منطقه برآورد کرده‌اند. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود افزایش سطح دریا طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۱ دو برابر دوره قبل بدست آمده است. در این دوره، تفاوت عمده‌ای در برآورد افزایش سطح دریا در دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP3-7.0 مشاهده می‌شود. در سناریوی SSP2-4.5 دامنه افزایش از ۰/۱۸ تا ۰/۲۰ متر و در سناریوی SSP3-7.0 دامنه افزایش در بازه‌ی ۰/۱۹ تا ۰/۲۲ متر قرار دارد.

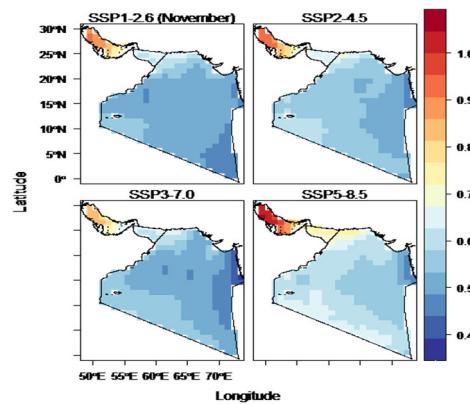


شکل ۶ تغییر SST ماه اکتبر دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ نسبت به دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بر حسب °C



شکل ۷ تغییرات 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 ۲۰۴۰-۲۰۶۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تحت سناریوی SSP1-2.6 افزایش سطح دریا به میزان ۰/۰۹ متر برای سواحل ایران پیش‌نگرانی شده است.



شکل ۸: تغییر میانگین SST ماه نوامبر دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ نسبت به دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بر حسب °C

تحت بدینانه ترین سناریو افزایش سطح دریا بر اساس P50 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 ۰/۱ متر را برای این منطقه برآورد کرده‌اند. تحت بدینانه ترین سناریو افزایش سطح دریا بر اساس ۲۸ P50 مدل، در سواحل ایران بیش از ۰/۱۱ متر خواهد بود. در این دوره،

۴ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

روند گرمایشی در اقیانوس هند سهم عمده‌ای 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 منطقه‌ای از طریق بر همکنش‌های جوی می‌گردد (نایروجیرو و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش چرخندهای حراره‌ای در دریای عرب از سال ۱۹۷۱ طی فصل پیش از

ابوموسی، تن بزرگ و تن کوچک در طول خلیج فارس (یش 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 خواهد 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 و بهبود وضعیت سامانه‌های پیش‌آگاهی با تمرکز بر پیش‌بینی و ردیابی طوفان‌های حراره‌ای حوضه دریایی عرب در اولویت تصمیم‌گیران و مدیران این مناطق ایران قرار گیرد.

۵ منابع

جعفری، اعظم، ترابی آزاد، مسعود، شهرابی، 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، ۱۸(۳)، ۹۷-۸۱).

شجاع، فائزه، خسروی، محمود، شمسی پور، علی اکبر، (۱۳۹۹). تحلیل شرایط همیدی چرخندهای حراره‌ای ساگار و میکونو در دریایی عرب سال ۲۰۱۸، سپهر، (۱۱۳)، ۹۳-۱۱۲.

قویدل رحیمی، یوسف، (۱۳۹۰). نگاشت و تحلیل همگرایی جریان رطوبت جو طی بارش فوق سنگین ناشی از طوفان حراره‌ای فت در سواحل چابهار، مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضاء، ۲، ۱۰۱-۱۱۸.

مشهدی لیلا، حاجی زاده ذاکر ناصر، سلطانپور محسن، مقیمی سعید، (۱۳۹۲). شبیه سازی عددی امواج و مدناسی از توفان گنو در خلیج چابهار. مهندسی دریا، (۹)، ۵۰-۱۷.

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. دریافنون، ۶(۳)، ۹۷-۸۸.

مونسون (می - ژوئن) (یان و همکاران، ۲۰۱۷) و افزایش فراوانی چرخندهای فوق العاده قوی در دریای عرب در سال- های اخیر همانند گنو (موراکانی و همکاران، ۲۰۱۳) شاهدی بر این ادعا می‌باشد.

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 هوایشناسی 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 چرخندهای در دوره‌های آتی بررسی گردد.

از طرف دیگر، اندازه گیری‌های ماهواره‌ای به طور متوسط افزایش سالیانه ۱ تا ۲ میلی متر برای افزایش سطح تراز آب دریاهای آزاد پیش‌بینی کردۀ‌اند (سینهای، 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، اسکله‌های، شورشدن منابع آبی و بسیاری موارد دیگر خواهد شد (ماهانگو، ۲۰۰۶) به همین دلیل بررسی و ارایه چشم اندازی 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 SST منطقه دریایی پارس ارایه شد. نتایج نشان داد هر دو متغیر SRL طی دوره آتی با مقادیر متفاوتی بر حسب سناریو و مدل اقلیمی افزایش خواهد یافت. با توجه به ایجاد یکی از وضعیت محیطی مطلوب برای رخداد چرخند حراره‌ای (افزایش دمای سطح آب) و همچنین افزایش سطح دریا، سه شهر مهم بندرعباس، عسلویه، بوشهر در امتداد خلیج فارس و جزایر مهمی از قبیل خارگ، لاوان، کیش، قشم، سیری،

- Waterfield, O., Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 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).
- 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.
- 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.
- Nyadapro, 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).
- 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.
- 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).
- 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 late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D14).
- Sinha.P.C.,2003. "Sea Level Rise due to Global Warming and Climate Variability", Antarctic Geosciences, Ocean atmosphere Interaction and Paleoclimatology .pp 148-159.
- 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 increases in sea surface temperature. *Frontiers in Marine Science*, 8, 636226.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Emanuel, K., & Nolan, D. S. (2004, July). Tropical cyclone activity and the global climate system. In 26th conference on hurricanes and tropical meteorology.
- 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.
- Garcia-Soto, C., Cheng, L., Caesar, L., Schmidtko, S., Jewett, E. B., Cherripka, 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*.
- 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.
- Gray, W. M. (1968). Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Monthly Weather Review*, 96(10), 669-700.
- <http://www.persiangulfstudies.com/fa/pages/875/>
- <http://www.persiangulfstudies.com/fa>
- 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.