

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر درجه حرارت سطح آب در خلیج فارس با استفاده از مدل‌سازی عددی

شیرین فرخانی^{۱*}، ناصر حاجی زاده ذاکر^۲

۱- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، پست الکترونیکی: s_farkhani@ut.ac.ir

۲- ناصر حاجی زاده ذاکر، دانشیار پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، پست الکترونیکی: nhzaker@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۹

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۷

چکیده

در این مقاله با استفاده از مدل‌سازی عددی، اثرات تغییر اقلیم بر درجه حرارت سطح آب در خلیج فارس بررسی شده است. به منظور ارزیابی این اثرات، مدل‌سازی با استفاده از مدل عددی MIKE 3FM برای دو دوره در سال‌های (۲۰۰۰-۱۹۸۰) به عنوان اقلیم فعلی و (۲۰۸۰-۲۱۰۰) به عنوان اقلیم آینده، انجام شده و نتایج حاصل از آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است. در مدل‌سازی‌های انجام شده از داده‌های سرعت باد، دمای هوا، درصد رطوبت نسبی، بارش و میزان پوشش ابر استفاده شده است. داده‌های مربوط به دوره کنترل سال‌های (۲۰۰۰-۱۹۸۰) از مدل ECMWF و داده‌های مربوط به دوره آینده (۲۰۸۰-۲۱۰۰) از پروژه CORDEX و برای سناریوی RCP 8.5 استخراج شده‌اند. بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی، میانگین درجه حرارت سطحی خلیج فارس در سال‌های ۲۰۸۰-۲۱۰۰ نسبت به میانگین دما در سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۰، در تمامی فصل‌ها افزایش خواهد یافت. فصل‌های تابستان و بهار به ترتیب با ۳/۵ و ۴/۶ درجه سانتی‌گراد میانگین افزایش دما، بیشترین و کمترین تغییرات نسبت به سایر فصول را خواهند داشت. برای فصل‌های پاییز و زمستان نیز به‌طور میانگین ۴/۱ و ۳/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دما پیش‌بینی شده است. بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی، میزان تغییرات درجه حرارت در نواحی کم‌عمق بیشتر از نواحی عمیق خواهد بود.

کلیمات کلیدی: تغییر اقلیم، خلیج فارس، درجه حرارت سطحی، کوردکس، مدل مایک.

۱. مقدمه

خورشیدی دریافت شده از سوی زمین، تکتونیک صفحه‌ای، فوران آتشفشان‌ها و تغییرات ناشی از فعالیت‌های بشری بر محیط طبیعی را نام برد (NASA, 2011). در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم سبب بروز تغییرات محسوسی در دمای سطحی کره زمین گشته است. نتایج حاصل از مطالعات گوناگون نشان داده است که در مقیاس جهانی، درجه حرارت سطحی دریاها و اقیانوس‌ها در طول قرن بیستم روند افزایشی داشته است (Stocker et al.,

تغییرات شاخص و پایدار در توزیع آماری الگوهای جوی در دوره‌هایی متغیر از چند دهه تا میلیون‌ها سال را تغییر اقلیم می‌نامند. این تغییر می‌تواند تغییر در شرایط جوی متوسط و یا تغییر در توزیع آن حول شرایط متوسط باشد. از عوامل ایجادکننده تغییرات اقلیمی می‌توان فرآیندهای اقیانوسی، تغییرات در تابش

شده است (Chambers et al., 2012). بر اساس نتایج حاصل از مطالعات بر روی دریای سیاه، دمای سطحی این دریا تحت سناریوی A1B در بازه زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰ نسبت به بازه زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۰ در حدود ۳/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Chust et al., 2014). بر اساس نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی های عددی، تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، درجه حرارت سطحی دریای بالتیک تا سال ۲۱۰۰ به میزان ۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Stigebrandt and Gustafsson, 2003). مدل‌سازی عددی تأثیرات تغییر اقلیم بر روی درجه حرارت دریای ایرلند، میانگین افزایش دمای سالانه آب این دریا را در قرن ۲۱ در حدود ۱/۹ درجه سانتی‌گراد نشان داد (Olbert et al., 2012). افزایش درجه حرارت سطحی کانال مانس تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 در سال ۲۱۰۰ به ترتیب حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد و ۲/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد گردیده است (L'Hévéder et al., 2017). بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی با مدل^۴ POD، خلیج فارس و دریای عمان تا پایان سال ۲۱۰۰، در فصل تابستان بیشترین افزایش درجه حرارت و در اواخر زمستان کمترین افزایش دما را نسبت به اقلیم فعلی خواهند داشت. نتایج مدل‌سازی هم‌چنین نشان داده است تا پایان قرن ۲۱ میانگین سالانه درجه حرارت دریای عمان و خلیج فارس در حدود ۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که ماه آگوست با ۴/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش دما بیشترین تغییرات را خواهد داشت (Noori et al., 2019). در مطالعه پیش رو به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر درجه حرارت سطح آب در خلیج فارس با استفاده از مدل‌سازی عددی با مدل MIKE پرداخته شده است.

۱. منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس یک محیط نیمه بسته کم‌عمق دریایی است که در ۲۴ تا ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ تا ۵۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این خلیج از شرق از طریق تنگه هرمز و دریای عمان به اقیانوس هند و دریای عرب مرتبط شده و از غرب به دلتای رودخانه اروندرود ختم می‌شود. وسعت خلیج فارس حدود ۲۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع و

درجه حرارت سطحی بدنه‌های آبی و تغییرات آن از عوامل تأثیرگذار بر سرعت و جهت باد و وقوع چرخندها به شمار می‌رود. این تغییر در مشخصه‌های باد در نهایت می‌تواند سبب ایجاد تغییرات در وضعیت جوی و اقلیمی منطقه گردد (Stewart, 2008). تغییر درجه حرارت آب دریاها و اقیانوس‌ها هم‌چنین دارای پتانسیل اثرگذاری بر اکوسیستم‌های آبی می‌باشد. سفید شدگی آبنسنگ‌های مرجانی، مهاجرت اجباری گونه‌های آبی، اثر بر روی پراکنش، بلوغ، زمان تخم‌ریزی، رشد و بقای ماهیان و سرپایان از جمله آثار منفی افزایش دمای آب اقیانوس‌ها به شمار می‌روند (Roessig et al., 2004; Strychar and Sammarco, 2009). با توجه به اهمیت بالای میزان تأثیرپذیری دمای محیط‌های آبی از تغییرات اقلیم، مطالعات گوناگونی در این زمینه در سراسر جهان صورت پذیرفته است.

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های جهانی تغییر اقلیم^۱، درجه حرارت سطحی شش اکوسیستم دریایی بزرگ^۲ شمال غربی اطلس^۳ تحت سناریوی RCP8.5، در ماه‌های آگوست و فوریه سال ۲۱۰۰ به ترتیب ۴/۸ درجه سانتی‌گراد و ۳/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Khan, 2013). بر اساس نتایج حاصل از مدل سری CMIP5، تحت سناریوی RCP 8.5 در بازه زمانی سال‌های ۲۰۹۹-۱۹۷۶ حداکثر ۶ درجه سانتی‌گراد افزایش برای درجه حرارت سطحی اکوسیستم‌های دریایی بزرگ در نزدیکی اروپا، آمریکای شمالی و اقیانوس منجمد شمالی پیش‌بینی شده است (Alexander et al., 2018). بر اساس مطالعات صورت گرفته مبنی بر ارزیابی آثار تغییر اقلیم، برای درجه حرارت سطحی دریای مدیترانه تا پایان قرن ۲۱ و بر اساس سناریوی RCP8.5 در فصول تابستان و زمستان به ترتیب ۲/۹ درجه سانتی‌گراد و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش دما پیش‌بینی شده است (Scannell et al., 2016). هم‌چنین تحت سناریوی A2 برای دوره زمانی سال‌های ۲۰۹۹-۱۹۶۰ حدود ۳/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش درجه حرارت سطحی برای دریای مدیترانه برآورد شده است (Somot et al., 2006). برای درجه حرارت سطحی آب‌های سواحل استرالیا تا سال ۲۱۰۰ در شرایط سناریوی RCP8.5، ۲-۴ درجه سانتی‌گراد افزایش دما پیش‌بینی

¹ GCM

² Large Marine Ecosystems

³ West Greenland Shelf, the Newfoundland-Labrador Shelf, the Scotian Shelf, the Northeast US continental shelf, the Southeast US continental shelf, and the Gulf of Mexico

⁴ Proper Orthogonal Decomposition

۲. مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر درجه حرارت سطحی خلیج فارس، شرایط هیدرودینامیکی و حرارتی این خلیج برای دو دوره در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۰ به عنوان اقلیم فعلی و سال‌های ۲۱۰۰-۲۰۸۰ به عنوان اقلیم آینده توسط مدل عددی MIKE3 FM مدل‌سازی شده و نتایج حاصل از آن‌ها به صورت میانگین با هم مورد مقایسه قرار گرفته است. به منظور ایجاد شبکه محاسباتی برای اجرای مدل، داده‌های عمق سنجی خلیج فارس برگرفته از مدل ETOPO1، در محیط MIKE ZERO Mesh Generator - بارگذاری شده و بر اساس دقت نتایج حاصل از مش بندی‌های گوناگون، شبکه محاسباتی بهینه انتخاب گردید (شکل ۱).

مدل دارای یک مرز باز در شرق خلیج فارس است که داده‌های درجه حرارت و شوری این مرز از مقاله Alessi (1999) استخراج و در مدل اعمال شده است. هم‌چنین داده‌های میدانی تراز سطح آب در بندر شهید رجایی، تهیه شده از سازمان نقشه برداری کشور، به صورت سری زمانی یک‌ساعته در مرز باز مدل اعمال گشته است. به منظور مدل‌سازی شرایط هیدرودینامیکی و حرارتی خلیج فارس در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۰ از داده‌های هواشناسی مدل محلی ECMWF^۲ شامل سرعت و جهت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، پوشش ابر و میزان بارندگی با دقت مکانی ۰/۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعت استفاده شده است. به منظور مدل‌سازی شرایط حرارتی خلیج فارس در سال‌های ۲۰۸۰-۲۱۰۰ از داده‌های ریزمقیاس شده‌ی مدل CORDEX^۳، با دقت مکانی ۰/۴۴ درجه، برای فاکتورهای سرعت باد، دمای هوا، میزان بارندگی، پوشش ابر و رطوبت نسبی استفاده شده است. مدل‌های جهانی اقلیم^۴ دارای محدودیت‌هایی از قبیل کمبود داده‌های سطحی دقیق و عدم توانایی اجرای مدل در مقیاس‌های ریزتر هستند (Sailor et al., 2000).

بنابراین نتایج حاصل از این مدل‌ها هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیماً برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند. این داده‌ها نیازمند ریزمقیاس‌نمایی هستند تا با اعمال رفتارهای محلی در آن‌ها پیش‌بینی‌هایشان در مقیاس‌های محلی بهبود یابند.

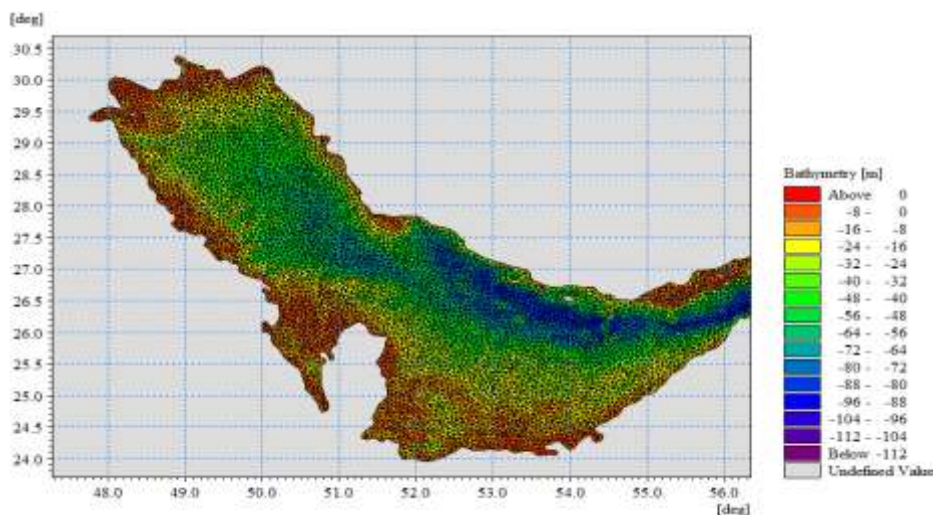
بیشترین عرض آن ۳۳۸ کیلومتر می‌باشد. ژرفای میانگین آن ۳۶ متر است که در تنگه هرمز عمق به ۱۰۰ متر نیز می‌رسد (Reynolds, 1993). اقلیم حاکم بر خلیج فارس خشک نیمه استوایی است که در تابستان دما را در برخی نقاط به ۴۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد رسانده و محیط بادخیزی را برای منطقه فراهم می‌آورد. این بدنه آبی تحت تأثیر سه سیستم آب و هوایی اصلی شامل: واپرخند سرد سیبری، سیستم کم‌فشار سودان و مانسون‌های هند می‌باشد (Al-Ghadban and Salman, 1993). این ناحیه تحت تأثیر بادهای غالب از شمال غرب موسوم به باد شمال^۱ است که در قسمت‌های جنوبی تغییر جهت داده و به طرف جنوب تمایل پیدا می‌کند. این بادهای باعث به وجود آمدن امواج و جریان‌های سطحی در این خلیج می‌گردند (Perrone, 1981). میزان تبخیر سطحی در آب‌های خلیج فارس بین ۱/۴۴ تا ۵ متر در سال می‌باشد (Meshal & Hassan, 1986). این در حالی است که ورودی رودخانه‌ها بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۶ متر در سال و میزان بارش نیز ۰/۰۷ تا ۱ متر در سال می‌باشد که مجموع این دو مقدار از میزان تبخیر بسیار کمتر است (Reynolds, 1993). خلیج فارس در زمره‌ی بارزش‌ترین زیست‌بوم‌های آبی جهان قرار دارد. این خلیج با وجود متنوع‌ترین رویشگاه‌های گرمسیری و گونه‌های مختلف جانداران آبری نظیر مرجان‌ها، ماهی‌های خوراکی و غیرخوراکی، صدف‌ها، حلزون‌ها، نرم‌تنان، لاک‌پشت‌ها و ... دارای شرایط بسیار ویژه‌ای است که محیط‌زیست آن را تبدیل به محیطی بسیار حساس و شکننده کرده است. (لطفی و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات منطقه‌ای در برخی نقاط جهان بیانگر این مسئله است که بدنه‌های آبی کم‌عمق نظیر خلیج‌ها در اثر گرمایش جهانی دچار تغییرات حرارتی شدیدتری نسبت به آب‌های عمیق می‌شوند (Belkin, 2009). دمای بالای آب در خلیج فارس و شوری زیاد آن باعث می‌شود که جانداران منطقه خلیج فارس در یک حالت حدی شوری و دما قرار داشته باشند. به همین علت افزایش اندک دمای آب تأثیر بسیار زیادی بر روی اکوسیستم این منطقه خواهد گذاشت. بنابراین ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر درجه حرارت این بدنه آبی ضروری به نظر می‌رسد.

² European Center for Medium range Weather Forecast

³ Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment

⁴ Global Climate Model

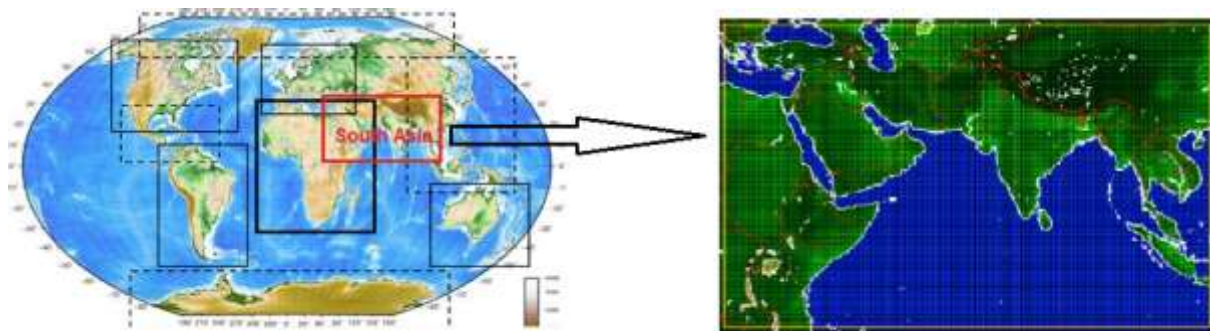
¹ Shamal



شکل ۱: شبکه محاسباتی استفاده شده در مدل‌سازی با ۱۱۵۸۱ المان و ۶۲۲۶ گره

در پنجمین گزارش ارزیابی تغییر اقلیم (AR5)، سناریوی RCP 8.5 به منظور پیش‌بینی حداکثر تغییرات آینده انتخاب شده است. لازم به ذکر است در پروژه CORDEX کل جهان به ۱۳ منطقه مساوی تقسیم‌بندی شده و کشور ایران از نظر جغرافیایی در مناطق ۶ (جنوب آسیا) و ۸ (آسیای مرکزی) پروژه یادشده قرار می‌گیرد که در این تحقیق، با توجه به موقعیت خلیج فارس از داده‌های آسیای جنوبی استفاده شده است (شکل ۲).

سازمان جهانی هواشناسی برای استانداردسازی و ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل‌های گردش عمومی پروژه‌ای به نام CORDEX را ارائه نموده است. CORDEX یک خروجی کلی از ترکیب چندگانه مدل‌های ریزمقیاس آماری و دینامیکی با در نظر گرفتن ترکیب چندگانه مدل‌های جهانی تغییر اقلیم از مجموعه‌ی CMIP5 تولید می‌کند (Giorgi et al., 2009). در این مطالعه از داده‌های ریزمقیاس شده‌ی این پروژه استفاده شده است. از میان سناریوهای معرفی شده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم

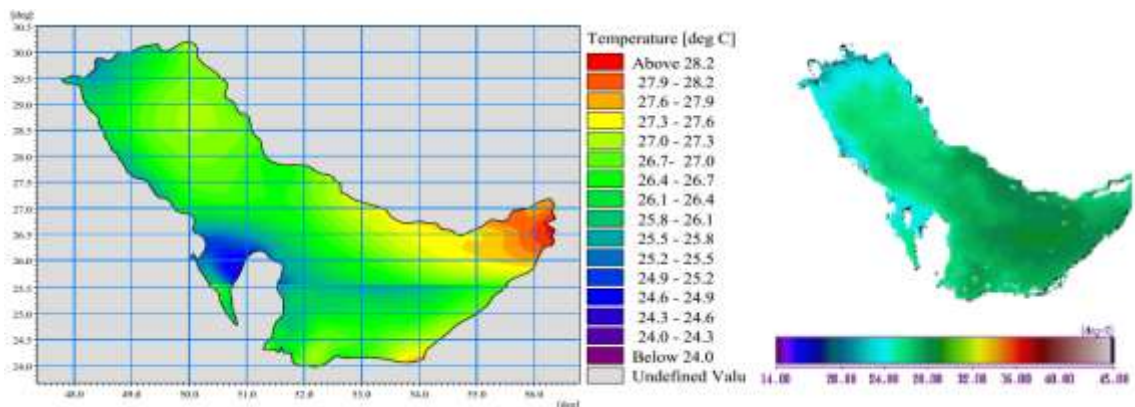


شکل ۲: منطقه ۶ (جنوب آسیا) از مناطق سیزده‌گانه پروژه CORDEX

آمده از مدل‌سازی با تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده توسط ماهواره Aqua، ارائه شده در پژوهش (Hamzehei et al., 2013)، مقایسه شده و همخوانی بسیار بالایی مشاهده گردید. در شکل‌های ۳ و ۴ مقایسه نتایج مدل‌سازی و تصاویر ماهواره‌ای در ماه‌های ژانویه و نوامبر سال ۲۰۰۰ به‌عنوان نمونه نشان داده شده‌اند.

۳. واسنجی و صحت‌سنجی مدل

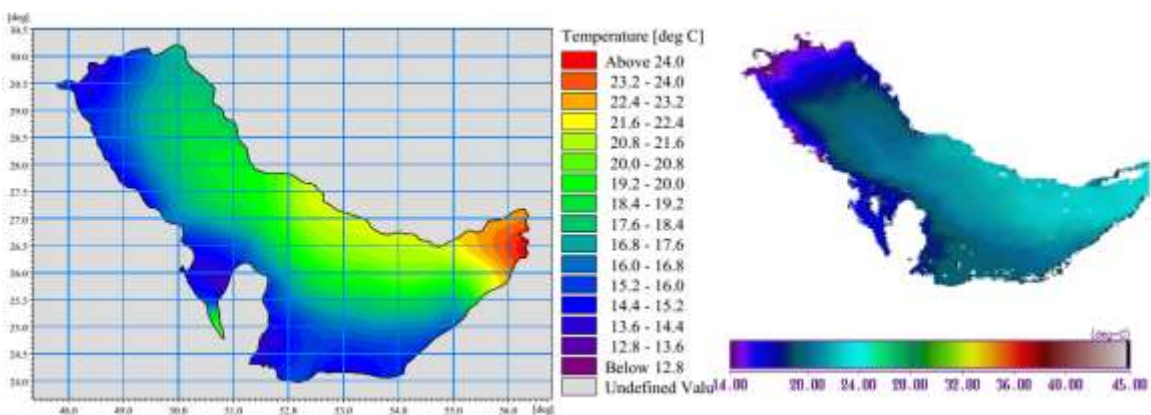
به‌منظور واسنجی مدل مورد استفاده در این مقاله، پارامترهای درجه حرارت سطح آب و تراز سطح آب مورد استفاده قرار گرفته‌است. به‌منظور سنجش صحت عملکرد مدل در شبیه‌سازی درجه حرارت، میانگین ماهانه درجه حرارت سطحی به دست



(الف)

(ب)

شکل ۳: میانگین درجه حرارت سطحی خلیج فارس در ماه ژانویه سال ۲۰۰۰ (الف) نتیجه مدل سازی عددی (ب) تصویر ماهواره ای Aqua



(الف)

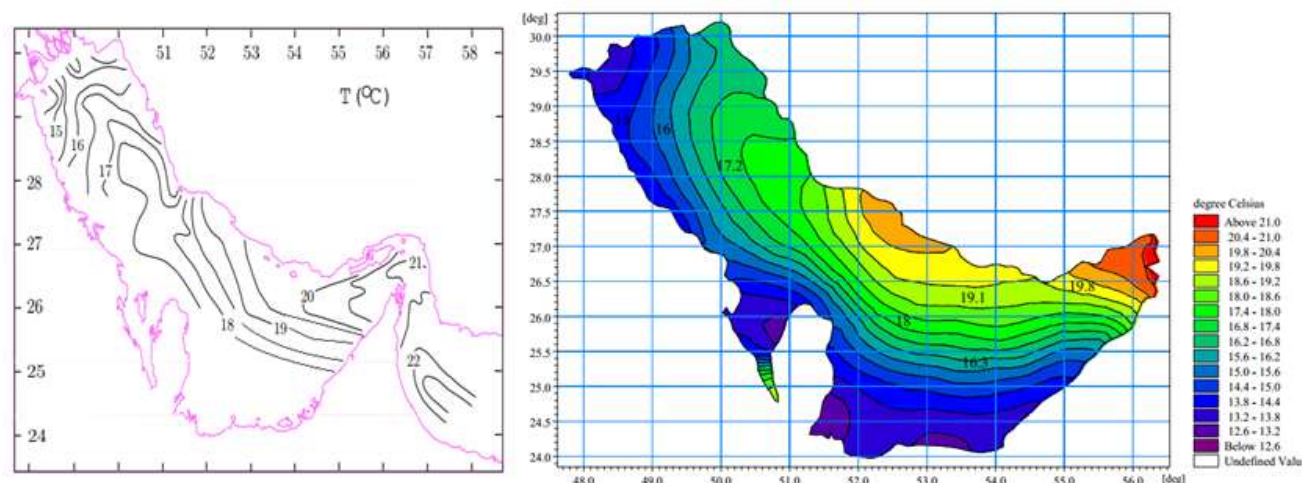
(ب)

شکل ۴: میانگین درجه حرارت سطحی خلیج فارس در ماه نوامبر سال ۲۰۰۰ (الف) نتیجه مدل سازی عددی (ب) تصویر ماهواره ای Aqua

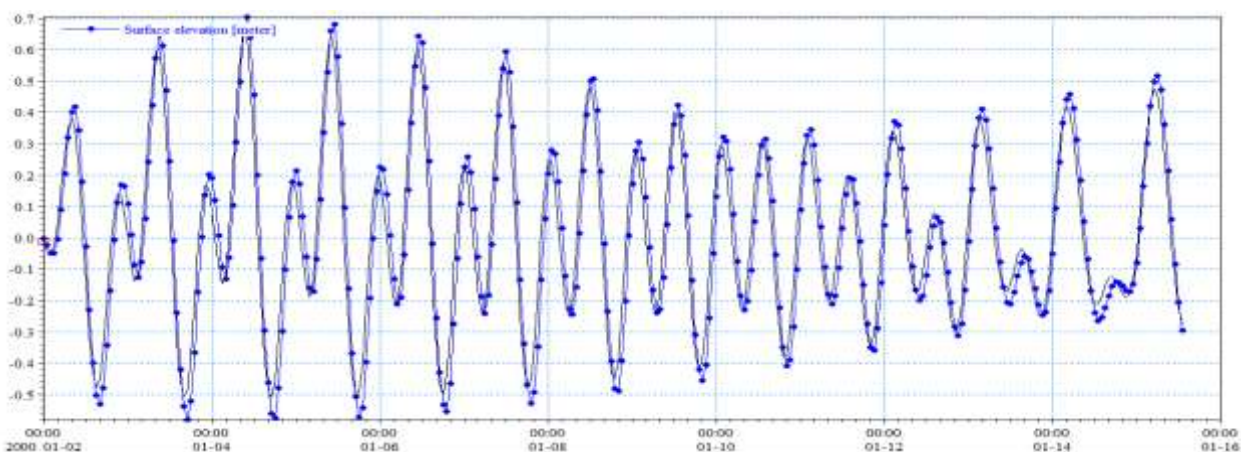
اندازه گیری های میدانی (Reynolds, 1993) به عنوان نمونه نشان داده شده است.

هم چنین به منظور واسنجی مدل مورد مطالعه، از اطلاعات تراز سطح آب بندر بوشهر، تهیه شده از سازمان نقشه برداری کشور استفاده شده است. در شکل ۶ مقایسه تراز سطح آب پیش بینی شده توسط مدل و اندازه گیری میدانی در نزدیکی بندر بوشهر پس از واسنجی مدل در ماه ژانویه سال ۲۰۰۰ نشان داده شده است.

هم چنین از نتایج ارائه شده در پژوهش (Reynolds, 1993) به منظور صحت سنجی مدل استفاده شده است. بر اساس مقایسه های صورت گرفته، نتایج حاصل از مدل سازی تطابق بالایی با الگوهای ارائه شده در پژوهش مذکور داشته و مدل توانسته به خوبی ساختار حرارتی خلیج فارس را نشان دهد. در شکل ۵ مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی برای درجه حرارت سطحی خلیج فارس در فصل زمستان و الگوی ارائه شده حاصل از



شکل ۵: مقایسه نتایج مدل سازی درجه حرارت سطحی خلیج فارس در فصل زمستان سال ۱۹۹۲ و الگوی ارائه شده در (Reynolds, 1993)



شکل ۶: مقایسه تراز سطح آب پیش‌بینی شده توسط مدل و اندازه‌گیری میدانی در نزدیکی بندر بوشهر پس از واسنجی مدل در ماه ژانویه سال ۲۰۰۰

۴. نتایج و بحث

بیشترین افزایش نسبت به سایر فصول را خواهد داشت. در مقابل فصل بهار با میانگین افزایش دمای ۳/۵ درجه سانتی‌گراد، کمترین تغییرات نسبت به اقلیم فعلی را در مقایسه با سایر فصل‌ها خواهد داشت.

در مطالعه (Noori et al., 2019)، نتایج حاصل از مدل عددی POD نیز حاکی از روند گرمایشی درجه حرارت سطحی خلیج فارس تا سال ۲۱۰۰ بوده است. پیش‌بینی‌های حاصل از مدل POD نیز مشابه مدل MIKE، تا سال ۲۱۰۰ بیشترین گرمایش را در فصل تابستان و به میزان ۴/۳ درجه سانتی‌گراد نشان داده است. کم‌ترین میزان گرمایش بر اساس نتایج حاصل از این مدل تا سال ۲۱۰۰، در انتهای زمستان به وقوع خواهد پیوست.

در شکل‌های ۷ تا ۱۰ میانگین ۲۰ ساله درجه حرارت سطح آب در سال‌های (۱۹۸۰-۲۰۰۰) و (۲۰۸۰-۲۱۰۰) در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده افزایش درجه حرارت سطحی در تمامی فصل‌های اقلیم آینده نسبت به اقلیم فعلی می‌باشند. این افزایش دمای آب، در سازگاری با افزایش درجه حرارت هوا در اثر گرمایش جهانی در منطقه خلیج فارس می‌باشد.

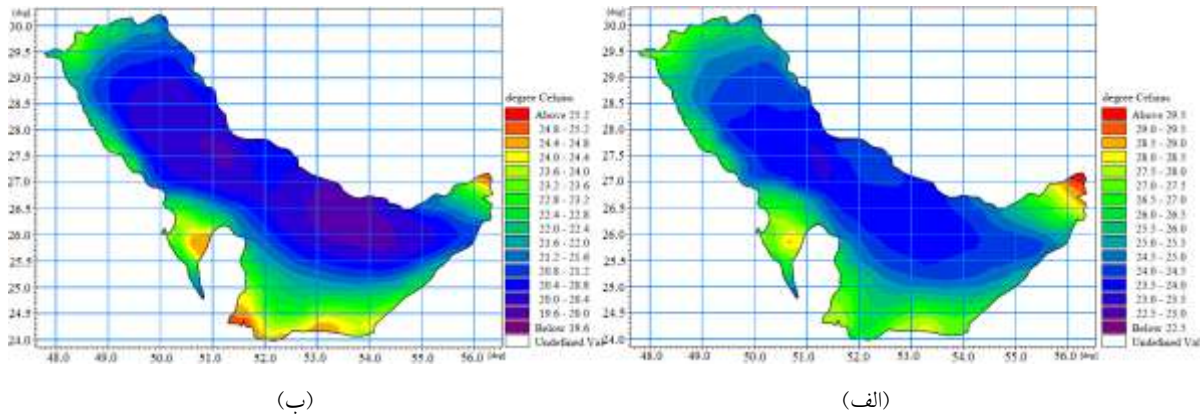
افزایش میانگین دمای سطح آب در فصل‌های گوناگون در شکل ۱۱ و در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق مقادیر به دست‌آمده، فصل تابستان با میانگین افزایش ۴/۶ درجه سانتی‌گراد،

به‌صورت یکسان اتفاق نخواهد افتاد و میزان تغییرات دما در مناطق کم‌عمق بیشتر از مناطق عمیق خواهد بود (شکل ۱۱). به‌عنوان نمونه در فصل تابستان کناره‌های جنوبی خلیج فارس در حدود ۵/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش درجه حرارت و بخش‌های مرکزی که عمق بیشتری دارند، در حدود ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش دما خواهند داشت.

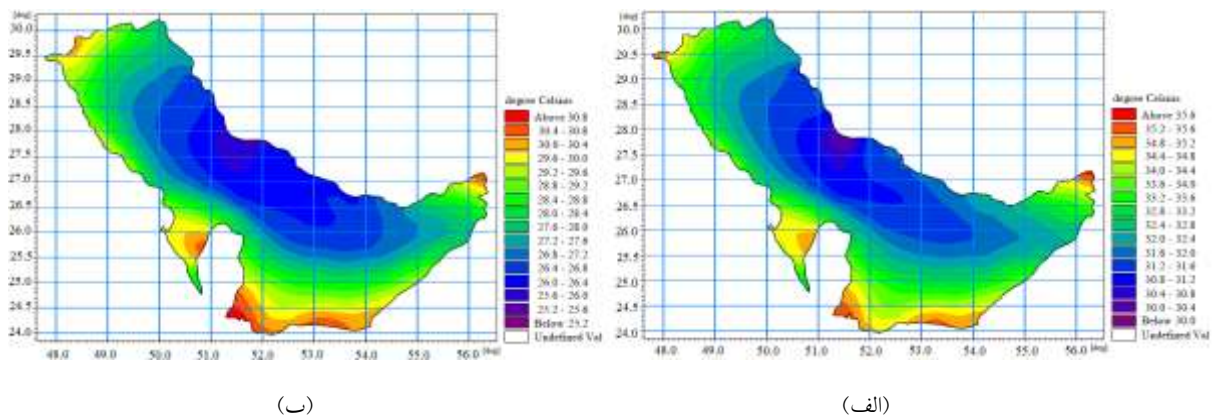
جدول ۱: میانگین افزایش درجه حرارت سطح آب خلیج فارس در سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ (درجه سانتی‌گراد) نسبت به سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۰۰

بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۲/۵	۴/۶	۴/۱	۲/۸

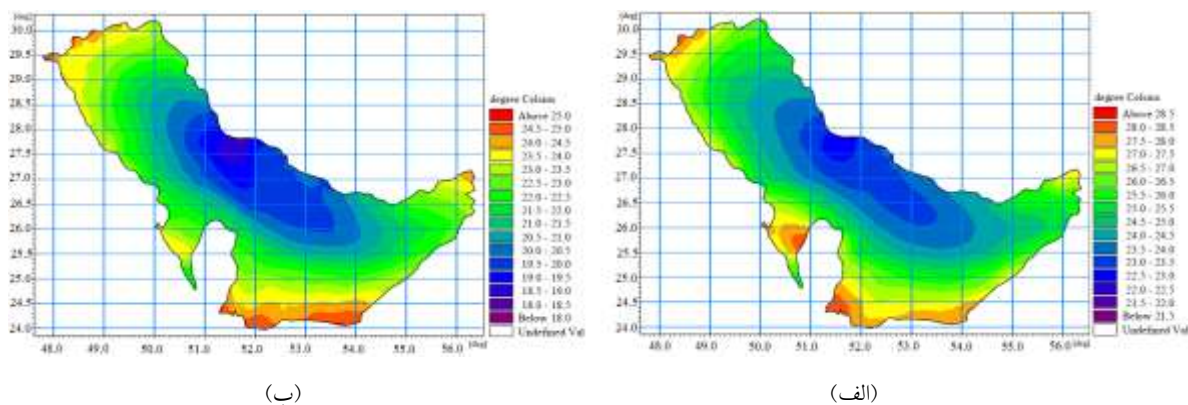
لازم به ذکر است بر اساس نتایج به دست آمده، میزان تغییرات دمای آب در آینده نسبت به اکنون در تمام بخش‌های خلیج فارس



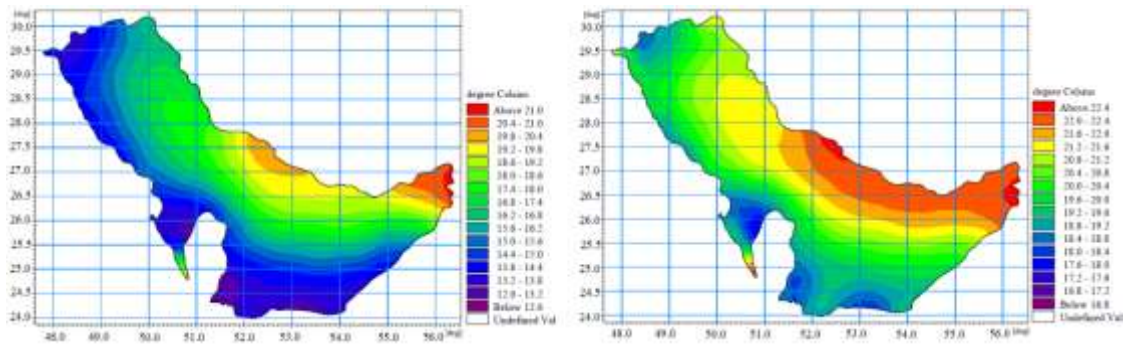
شکل ۷: میانگین درجه حرارت سطحی خلیج فارس در فصل بهار در الف) اقلیم فعلی و ب) اقلیم آینده



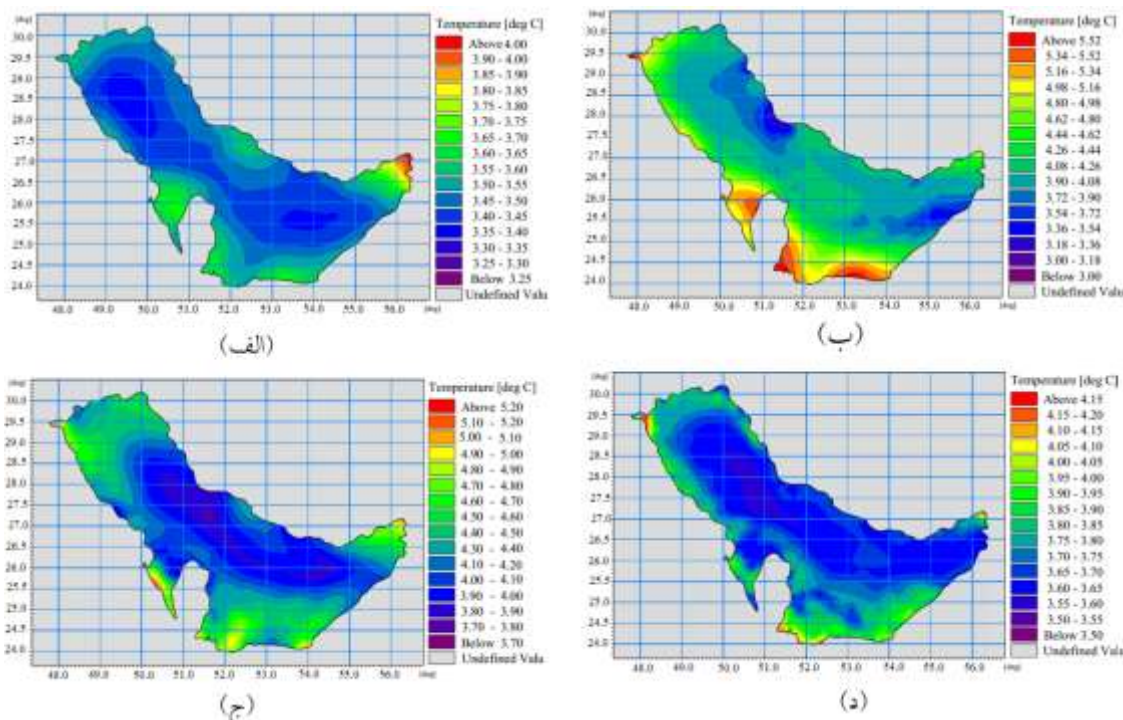
شکل ۸: میانگین درجه حرارت سطحی خلیج فارس در فصل تابستان در الف) اقلیم فعلی و ب) اقلیم آینده



شکل ۹: میانگین درجه حرارت سطحی خلیج فارس در فصل پاییز در الف) اقلیم فعلی و ب) اقلیم آینده



شکل ۱۰: میانگین درجه حرارت سطحی خلیج فارس در فصل زمستان در الف) اقلیم فعلی و ب) اقلیم آینده



شکل ۱۱: میانگین تغییرات درجه حرارت سطحی خلیج فارس در سال های (۲۰۸۰-۲۱۰۰) نسبت به سال های (۱۹۸۰-۲۰۰۰) در فصول الف) بهار، ب) تابستان، ج) پاییز، د) زمستان

۵. نتیجه گیری

اساس نتایج مدل سازی های انجام شده پیش بینی می شود تحت سناریوی RCP 8.5، میانگین درجه حرارت سطحی آب خلیج فارس در سال های ۲۰۸۰-۲۱۰۰ نسبت به سال های ۱۹۸۰-۲۰۰۰ در تمامی فصول افزایش خواهد یافت. با توجه به اثرپذیری مستقیم درجه حرارت سطحی دریاها و اقیانوس ها از دمای هوا، افزایش دمای آب در سازگاری کامل با افزایش درجه حرارت هوا در اثر گرمایش جهانی در منطقه خلیج فارس می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده میزان تغییرات درجه حرارت در بخش های مختلف خلیج فارس در آینده، یکسان نخواهد بود. بدین صورت

مطابق پیش بینی های صورت گرفته توسط مدل های جهانی اقلیمی و هم چنین اندازه گیری های انجام شده، دمای آب دریاها و اقیانوس ها به واسطه پدیده گرمایش جهانی، رو به افزایش است. به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر درجه حرارت سطحی خلیج فارس، مدل سازی هیدرودینامیکی برای دو دوره در سال های (۱۹۸۰-۲۰۰۰) و (۲۰۸۰-۲۱۰۰) صورت گرفته و نتایج به دست آمده به صورت میانگین ۲۰ ساله مورد مقایسه قرار گرفته اند. بر

ecosystems. *Progress in Oceanography*, 81(1-4), pp.207-213.

<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.04.011>

Chambers, L.E., Dann, P., Deveney, C., Dunlop, N. and Woehler, E., 2012. Marine Climate Change in Australia Impacts and Adaptation Responses 2012 REPORT CARD: Seabirds. Marine Climate Change in Australia Impacts and Adaptation Responses 2012 REPORT CARD, 2012, pp.401-428.

Chust, G., Allen, J.I., Bopp, L., Schrum, C., Holt, J., Tsiaras, K., Zavatarelli, M., Chifflet, M., Cannaby, H., Dadou, I. and Daewel, U., 2014. Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Global Change Biology*, 20(7), pp.2124-2139.

<https://doi.org/10.1111/gcb.12562>

Giorgi, F., Jones, C. and Asrar, G.R., 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *World Meteorological Organization (WMO) Bulletin*, 58(3), p.175.

Hamzehei, S., Bidokhti, A.A., Mortazavi, M.S. and Gheiby, A., 2013. Red tide monitoring in the Persian Gulf and Gulf of Oman using MODIS sensor data. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(12), pp.1100-1107.

Khan, A.H., Levac, E. and Chmura, G.L., 2013. Future sea surface temperatures in Large Marine Ecosystems of the Northwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 70(5), pp.915-921.

<https://doi.org/10.1093/icesjms/fst002>

L'Hévéder, B., Speich, S., Ragueneau, O., Gohin, F. and Bryère, P., 2017. Observed and projected sea surface temperature seasonal changes in the Western English Channel from satellite data and CMIP5 multimodel ensemble. *International Journal of Climatology*, 37(6), pp.2831-2849.

<https://doi.org/10.1002/joc.4882>

که بخش‌های کم‌عمق تغییرات شدیدتری را تجربه خواهند کرد. میزان تیخیر و تابش امواج حرارتی از سطح دریا به اتمسفر و بالعکس، که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ساختار حرارتی بدنه‌های آبی محسوب می‌شوند، تحت تأثیر فاکتورهای اقلیمی دمای هوا و سرعت باد می‌باشند. با توجه به این‌که تبادلات حرارتی بین بدنه آبی و اتمسفر و تأثیرپذیری از آثار باد در نواحی کم‌عمق شدیدتر می‌باشد، در نتیجه تأثیر تغییر پارامترهای نامبرده نیز بر مناطق کم‌عمق بیشتر بوده که این مسئله توجه‌کننده افزایش دمای بیشتر در نواحی با عمق کمتر می‌باشد. هم‌چنین نتایج به دست آمده از مدل‌سازی پیشینه تغییرات دما در آینده را برای فصل تابستان و کمینه افزایش دما را برای فصل بهار نشان دادند.

منابع

لطفی، ح، بقایی، ح، موسوی، ر، خیامباشی، س، ۱۳۸۹. محیط زیست خلیج فارس و حفاظت از آن. فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیای انسانی، سال سوم، شماره اول.

Alessi, C.A., Hunt, H.D. and Bower, A.S., 1999. Hydrographic Data from the US Naval Oceanographic Office: Persian Gulf, Southern Red Sea, and Arabian Sea 1923-1996 (No. WHOI-99-02). WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION MA.

<https://doi.org/10.1575/1912/78>

Alexander, M.A., Scott, J.D., Friedland, K.D., Mills, K.E., Nye, J.A., Pershing, A.J. and Thomas, A.C., 2018. Projected sea surface temperatures over the 21-st century: Changes in the mean, variability and extremes for large marine ecosystem regions of Northern Oceans. *Elem Sci Anth*, 6(1).

<https://doi.org/10.1525/elementa.191>

Al-Ghadban, A.N. and Salman, A.S., 1993. Preliminary assessment of the suspended sediment and its associated pollutants in Kuwait Bay. Kuwait Institute for Scientific Research, Report No. KISR, 4213.

Belkin, I.M., 2009. Rapid warming of large marine

- Scannell, H.A., Pershing, A.J., Alexander, M.A., Thomas, A.C. and Mills, K.E., 2016. Frequency of marine heatwaves in the North Atlantic and North Pacific since 1950. *Geophysical Research Letters*, 43(5), pp.2069-2076.
<https://doi.org/10.1002/2015GL067308>
- Somot, S., Sevault, F. and Déqué, M., 2006. Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean Sea for the twenty-first century using a high-resolution ocean circulation model. *Climate Dynamics*, 27(7-8), pp.851-879.
<https://doi.org/10.1007/s00382-006-0167-z>
- Stewart, R. H., 2008, Introduction to Physical Oceanography, Texas A&M University, 57-59.
- Stigebrandt, A. and Gustafsson, B.G., 2003. Response of the Baltic Sea to climate change—theory and observations. *Journal of Sea Research*, 49(4), pp.243-256.
[https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(03\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(03)00021-2)
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M., 2013. IPCC, 2013. Climate change.
- Strychar, K.B. and Sammarco, P.W., 2009. Exaptation in corals to high seawater temperatures: Low concentrations of apoptotic and necrotic cells in host coral tissue under bleaching conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 369(1), pp.31-42.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.10.021>
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M. and Soden, B., 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. Chapter 3. Climate change, pp.235-336.
- Meshal, A.H. and Hassan, H.M., 1986. Evaporation from the coastal water of the central part of the Gulf. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 4(2), pp.649-655.
- NASA, (2011), What's in a Name? Global Warming vs. Climate Change.
- Noori, R., Tian, F., Berndtsson, R., Abbasi, M.R., Naseh, M.V., Modabberi, A., Soltani, A. and Kløve, B., 2019. Recent and future trends in sea surface temperature across the Persian Gulf and Gulf of Oman. *PLoS one*, 14(2), p.e0212790.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212790>
- Olbert, A.I., Dabrowski, T., Nash, S. and Hartnett, M., 2012. Regional modelling of the 21st century climate changes in the Irish Sea. *Continental Shelf Research*, 41, pp.48-60.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2012.04.003>
- Perrone, T.J., 1981. Winter shamal in the Persian Gulf (No. NEPRF-TR-79-06). NAVAL ENVIRONMENTAL PREDICTION RESEARCH FACILITY MONTEREY CA.
- Reynolds, R.M., 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin*, 27, pp.35-59.
[https://doi.org/10.1016/0025-326X\(93\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(93)90007-7)
- Roessig, J.M., Woodley, C.M., Cech, J.J. and Hansen, L.J., 2004. Effects of global climate change on marine and estuarine fishes and fisheries. *Reviews in fish biology and fisheries*, 14(2), pp.251-275.
<https://doi.org/10.1007/s11160-004-6749-0>
- Sailor, D.J., Hu, T., Li, X. and Rosen, J.N., 2000. A neural network approach to local downscaling of GCM output for assessing wind power implications of climate change. *Renewable Energy*, 19(3), pp.359-378.
[https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(99\)00056-7](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(99)00056-7)