

شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم در جنگل‌های مانگرو ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا

پروانه سبحانی، افشین دانه‌کار*

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

چکیده

اثرات ناشی از تغییرات اقلیم منجر به پیامدهایی همچون افزایش سطح دریا و طوفان‌های دریایی، تغییر در روند بارش‌ها، افزایش دما و کاهش وسعت رویشگاه‌های مانگرو شده است. در مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو (HadCM3) تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 و به‌کارگیری مدل SDSM به شبیه‌سازی اقلیمی پارامترهای بارش و دمای حداقل، حداکثر و میانگین دما در دوره‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۲ و دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ در جنگل‌های مانگرو ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا پرداخته شد. علاوه بر این، با استفاده از روش دومارتن، به تعیین اقلیم محدوده مورد مطالعه اقدام گردید. نتایج نشان داد که مقادیر پارامترهای اقلیمی مورد بررسی از دقت مطلوبی برخوردارند و بیشترین میزان صحت‌سنجی مدل در بین پارامترهای اقلیمی، مربوط به میانگین دما و کمترین میزان، به حداکثر دما اختصاص یافته است. نتایج پیش‌بینی تغییرات دما در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ در مقایسه با دوره‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۲ حاکی از آن است که میانگین دما تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت؛ که بیشترین افزایش روند تغییرات حداکثر و حداقل دما در این منطقه، مربوط به مردادماه است. همچنین میانگین بارش‌ها در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ نیز کاهش خواهد یافت که بیشترین روند کاهشی بارش‌ها مربوط به دی‌ماه تحت سناریو RCP2.6 و کمترین روند کاهشی در تیرماه تحت سناریو RCP8.5 قابل مشاهده است. مطابق نتایج به‌دست‌آمده از ضریب خشکی دومارتن، نوع اقلیم منطقه در دوره‌های مشاهداتی و آتی به طبقه خشک اختصاص یافته است و تغییری در دوره‌های آتی مشاهده نمی‌شود. در این راستا، تغییرات اقلیم در جنگل‌های مانگرو ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا یکی از عمده‌ترین تهدیدات شناخته‌شده در این منطقه محسوب می‌شود که با شبیه‌سازی و پیش‌بینی این تغییرات در دوره‌های آتی، می‌توان به فعالیت‌های حفاظت و احیای آینده این ذخایر ارزشمند زیستی کمک نمود.

کلیدواژه‌ها: پیش‌نگری اقلیم، مدل SDSM، جنگل‌های حرا، منطقه حفاظت‌شده حرا، جزیره قشم، بندر خمیر.

۱. محقق پسادکتری، گروه محیط‌زیست، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، کرج، ایران

۲. استاد گروه محیط‌زیست، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، کرج، ایران، نویسنده مسئول، danehkar@ut.ac.ir

مقدمه

در چند دهه اخیر، افزایش دمای زمین باعث برهم زدن تعادل اقلیمی و تغییرات گسترده‌ای در نواحی کره زمین شده است (کبیر^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین گزارش ارزیابی هیئت بین دولتی تغییرات اقلیم (IPCC)^۲ نشان داد که روند تغییر آب‌وهوا و گرمایش جهانی با سرعت بیشتری نسبت به گذشته در حال افزایش است (هیئت بین دولتی تغییرات اقلیم، ۲۰۲۱). تغییرات اقلیم از طریق تغییر در الگوی دما، بارش و سایر متغیرهای آب‌وهوایی بر تمامی فرایندهای زیستی تأثیرگذار است و منجر به تغییر در عملکرد بوم‌سازگان و کاهش تنوع زیستی به‌ویژه در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک شده است (ایوکانگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۵؛ استوارد^۴ و همکاران، ۲۰۱۸، سبحانی و اسماعیل‌زاده، ۲۰۲۲). تغییرات اقلیمی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی است که بشر در قرن حاضر با آن مواجه شده است؛ بنابراین پیش‌بینی تغییرات اقلیمی به‌منظور پیش‌آگاهی از وضعیت آینده و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل و سازگاری با تغییرات اقلیمی از اهمیت بسیاری برخوردار است (عرب سلگار^۵ و همکاران، ۲۰۲۲).

تغییرات اقلیم تأثیرات غیرقابل پیش‌بینی بر جوامع انسانی دارد و همچنین پیامدهای سنگینی را بر اکوسیستم‌های طبیعی و ذخایر ارزشمند زیستی بر جای می‌گذارد. پیش‌بینی تغییرات اقلیم در آینده می‌تواند اطلاعات مهم و حیاتی را برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر جوامع انسانی و محیط طبیعی فراهم کند. در این راستا، یکی از مباحث مهم و کلیدی، مدل‌سازی و پیش‌بینی دقیق تغییرات اقلیمی در مقیاس‌های زمانی کوتاه و بلندمدت است (ونگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). امروزه درک مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از حوزه‌های اصلی تحقیقات علمی، نیازمند مطالعات و پیشرفت‌های بیشتر و یکی از چالش‌های بزرگ برنامه تحقیقات جهانی آب‌وهوا (WCRP) شناخته شده است

(سیلمن^۷ و همکاران، ۲۰۱۷).

کاهش بارندگی و افزایش دما باعث افزایش خشکسالی، بیابان‌زایی و تبخیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است؛ درحالی‌که این مناطق بدون در نظر گرفتن اثرات تغییر اقلیم به دلیل خشکسالی‌های طولانی‌مدت به‌عنوان نواحی آسیب‌پذیر به‌لحاظ وقوع مخاطرات محیطی شناخته شده‌اند (عمادالدین^۸ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ویسته-سرانو^۹ و همکاران، ۲۰۲۰). در این میان جنگل‌های مانگرو ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا نیز از این امر مستثنا نیست. از عمده‌ترین اثرات تغییرات اقلیم در این رویشگاه‌های طبیعی، می‌توان به تغییر در الگوی بارش‌ها، افزایش سطح مواد غذایی و رسوب‌گذاری، تغییر در رژیم‌های جزرومدی و بالا آمدن سطح آب دریاها اشاره کرد (داور و همکاران، ۲۰۲۱؛ اعتمادی و دلشوب، ۲۰۲۰؛ اعتمادی و همکاران، ۲۰۲۱). ازسوی دیگر، کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی از طریق افزایش تبخیر و ایجاد تنش شوری سبب کاهش تولید خالص اولیه، کاهش میزان رشد و بقای نهال‌ها، تنوع زیستی و توان رقابت مانگروها، افزایش وسعت گونه‌های شوری‌پسند و مرگ‌ومیر و کاهش این ذخایر ارزشمند زیستی شده است (سگران^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۳). در بسیاری از مطالعات، تغییرات ایجادشده در بارندگی‌ها و افزایش دما به‌عنوان عمده‌ترین عوامل تغییر در ساختار و عملکرد جنگل‌های مانگرو شناخته شده است (سینگ^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۲؛ گیلیس^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به اهمیت تغییرات اقلیم و پیامدهای غیرقابل پیش‌بینی آن بر بوم‌سازگان‌های طبیعی پژوهش‌هایی تاکنون صورت گرفته که به برخی از آن‌ها در این مطالعه اشاره شده است. مریانجی و همکاران (۲۰۲۲)، به مدل‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات دما در شهرستان همدان پرداختند. نتایج نشان داد که افزایش معنادار میانگین حداکثر دما در مقیاس سالانه و ماهانه در هر سه سناریوی RCP2.5 و RCP4.5 و RCP8.5

7. Sillmann
8. Emadodin
9. Vicente-Serrano
10. Segaran
11. Singh
12. Gillis

0
1
2

1. Kabir
2. Intergovernmental Panel on Climate Change
3. Xikang
4. Seward
5. Arab Solghar
6. Wang

برای پیش‌بینی‌هایی با وضوح بیشتر و در مقیاس‌های مکانی و زمانی از دقت مورد نیاز برای مدل‌های منطقه‌ای و هیدرولوژیک برخوردار نیستند. از این رو در مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو (HadCM3) تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 (با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری) و به‌کارگیری مدل SDSM به شبیه‌سازی اقلیمی پارامترهای بارش و دمای حداقل، حداکثر و میانگین دما در دوره‌های مشاهداتی (۱۹۹۶-۲۰۲۲) و دوره‌های آتی (۲۰۲۲-۲۰۵۰) در جنگل‌های مانگرو ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا پرداخته شد. علاوه بر این، با استفاده از روش دومارتن، به تعیین اقلیم محدوده مورد مطالعه طی دوره‌های مشاهداتی و آتی نیز اقدام گردید. مطالعه حاضر این فرصت را فراهم می‌سازد تا نتایج پیش‌بینی و شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی با دقت بالا و در مقیاسی خردتر مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. علاوه بر این، به شناسایی و تعیین نوع طبقه‌بندی اقلیم در وضعیت کنونی و آینده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 نیز پرداخته می‌شود.

پیش‌بینی و شبیه‌سازی دقیق تغییرات اقلیمی، اطلاعات ارزشمندی را در ارتباط با تأثیرات نامطلوب ناشی از تغییر اقلیم بر جنگل‌های مانگرو زیست‌کره حرا در اختیار ما قرار می‌دهند. همچنین نتایج حاصل از این بررسی‌ها می‌تواند نقش مهمی در کارایی و موفقیت برنامه‌های حفاظت و توسعه رویشگاه‌های مانگرو داشته باشد و به‌عنوان بخشی از مدیریت یکپارچه زون ساحلی، تعادلی را میان اولویت‌بندی تهدیدات پیش‌بینی‌شده و ارائه راهکارهایی مدیریتی، سازمانی و قانونی در این ذخیره‌گاه ارزشمند زیستی فراهم سازد. در این راستا عمده‌ترین سؤالات تحقیق عبارت‌اند از: ۱. روند بارش‌ها و دمای حداقل، حداکثر و میانگین دما طی دوره‌های آتی (۲۰۲۲-۲۰۵۰) از چه وضعیتی برخوردار خواهد بود؟ ۲. مطابق با پیش‌بینی تغییرات اقلیمی صورت‌گرفته، محدوده مورد مطالعه در طی دوره‌های آتی در کدام‌یک از طبقات اقلیمی دومارتن قرار خواهد گرفت؟

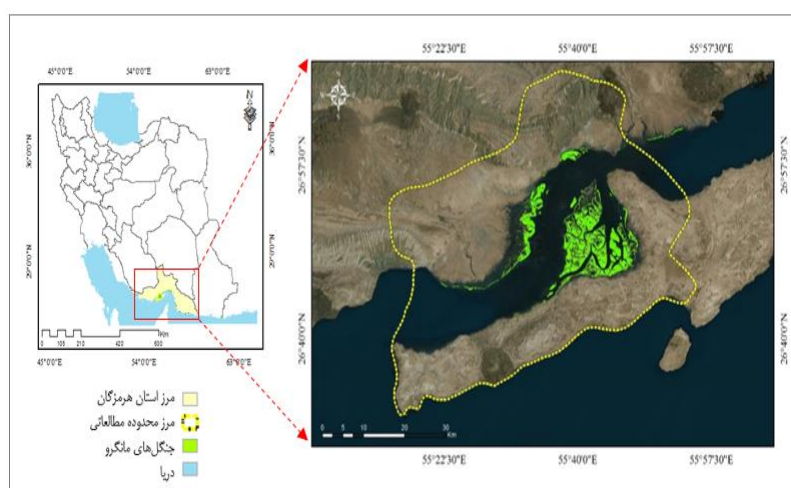
مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

نشان‌دهنده بحران محیط‌زیستی پیش رو خواهد بود. دلفان و قدرتی شجاعی (۲۰۲۱) نیز به مطالعه تأثیرات تغییرات اقلیم بر بوم‌سازگان‌های مانگرو پرداختند. آن‌ها بیان کردند که جنگل‌های مانگرو دارای عملکرد منحصر به فردی هستند که کاهش سطح پوشش و اختلال در سلامت آن‌ها تهدید بزرگی برای بوم‌سازگان‌های ساحلی به شمار می‌رود. همچنین تخریب جنگل‌های مانگرو منجر به آزاد شدن مقادیر بالایی از ذخایر کربن می‌شود که در نتیجه افزایش دی‌اکسید کربن، گرمایش جهانی و سایر روندهای تغییرات اقلیمی را به دنبال خواهد داشت. در مطالعه‌ای دیگر، دسترنج و رستمی خلیج (۲۰۲۰) با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) به پیش‌بینی تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که بارش‌ها در سال‌های آتی کاهش خواهد یافت، درحالی‌که حداکثر، حداقل و میانگین دما روند افزایشی را نشان می‌دهند. ونگ و همکاران (۲۰۲۲) سناریوهای آب‌وهوای آینده را با استفاده از مدل‌سازی آب‌وهوای منطقه‌ای و تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان کردند که تحت تغییرات اقلیمی آینده، توسعه سناریوهای اقلیمی قابل اطمینان و با وضوح بالا برای تسهیل دستیابی به تغییرات احتمالی در اقلیم‌شناسی منطقه‌ای و تعیین میزان پیامدها و مخاطرات بالقوه اقلیمی برای جامعه انسانی بسیار مهم است. منسفیلد و همکاران (۲۰۲۰) به پیش‌بینی و شبیه‌سازی الگوهای جهانی تغییرات بلندمدت آب‌وهوایی با استفاده از ماشین‌های یادگیری پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که شبیه‌سازی مدل‌های آب‌وهوایی برای یادگیری روابط بین پاسخ‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت دما در ارتباط با سناریوهای مختلف اقلیمی استفاده می‌شود که این رویکرد نه تنها از پتانسیل تسریع پیش‌بینی‌های تغییرات اقلیمی و کاهش هزینه‌های محاسبات سناریوها برخوردار است، بلکه به کشف شاخص‌های اولیه پاسخ‌های اقلیمی بلندمدت نیز کمک می‌کند. مطابق مطالعات انجام‌شده، اگرچه مدل‌های آب‌وهوای جهانی به‌طور گسترده برای توسعه سناریوهای اقلیمی آتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، خروجی حاصل از آن‌ها معمولاً

جاذبه‌های گردشگری متعدد و همچنین غنای گونه‌ای بالا به‌عنوان یکی از مکان‌های پرتقاضای طبیعت‌گردی ساحلی شناخته شده است که در فصول اقلیم آسایش گردشگری (ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین) مورد بازدید بسیاری از گردشگران و طبیعت‌گردان قرار می‌گیرد (سبحانی و دانه‌کار، ۲۰۲۳). از نظر ویژگی‌های متغیرهای اقلیمی، میزان متوسط بارندگی سالانه در این منطقه، ۱۳۹/۴ میلی‌متر است و دی‌ماه پرباران‌ترین ماه سال (۵۶/۸ میلی‌متر) و در مقابل اردیبهشت‌ماه فاقد بارش یا کم‌بارش‌ترین ماه سال است. از نظر دمایی نیز، دارای متوسط دمای ۲۶/۸ درجه سانتی‌گراد است که گرم‌ترین ماه سال مردادماه با متوسط دمای ۳۴/۲۱ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال دی‌ماه با متوسط سالانه ۱۸/۴۴ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به بازه‌های دمایی، نوسان دما در این محدوده حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد است و در بازه زمانی ۲۵ سال اخیر، منطقه فاقد روزهای یخبندان و دمای زیر صفر بوده است. همچنین بیشترین متوسط رطوبت نسبی در این منطقه مربوط به ماه‌های اسفند و شهریور (بیشتر از ۷۱ درصد) و کمترین رطوبت نسبی در ماه آذر (حدود ۶۴ درصد) قابل مشاهده است (سازمان هواشناسی کشور، ۲۰۲۲؛ سبحانی و دانه‌کار، ۲۰۲۳). در شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است.

ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا به‌عنوان محدوده مطالعاتی، در امتداد سواحل جنوبی ایران با مساحت ۲۰۶،۲۴۳ هکتار در تنگه خوران و حدفاصل جزیره قشم و خلیج فارس واقع شده است (سبحانی و دانه‌کار، ۲۰۲۳). این منطقه در سال ۱۳۵۵ به برنامه جهانی انسان و زیست‌کره (MaB) به‌عنوان یکی از اندوختگاه‌های زیست‌کره کشور معرفی شد. ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا دربرگیرنده دو منطقه تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط‌زیست شامل «منطقه حفاظت‌شده حرا» با وسعت ۸۶،۲۵۸ هکتار، «منطقه حفاظت‌شده حرای خوران» با وسعت ۲،۵۱۸ هکتار است. این محدوده همچنین با یکی از تالاب‌های بین‌المللی فهرست رامسر در کشور با عنوان «تالاب بین‌المللی حرا» با مساحت ۱۰۰،۰۰۰ هکتار پوشش مشترک دارد (سبحانی و دانه‌کار، ۲۰۲۳). گونه‌های درخت حرا (*Avicennia marina*) در حوزه خلیج فارس است. جنگل‌های مانگرو این ذخیره‌گاه با قرار گرفتن در سه فرم رویشگاهی دلتایی، ساحلی و جزیره‌ای، پناهگاه و محل تخم‌گذاری و زادآوری بسیاری از انواع جانوران اعم از پرندگان آبی و کنارآبی، آبزیان (ماهی، میگو، خرچنگ، نرم‌تنان دوکفه‌ای‌ها) و پستانداران دریایی (به‌ویژه دلفین و پورپویز) است و برخی از انواع لاک‌پشت دریایی (لاک‌پشت دریایی منقار عقابی و سبز) برای تغذیه در خورها و شاخه‌های آن تردد دارند. علاوه بر این، محدوده مورد مطالعه به‌دلیل برخورداری از



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

Figure (1): Geographical location of the studied area

در مطالعه حاضر ابتدا پارامترهای اقلیمی میانگین بارش، دمای

روش بررسی

مطالعه حاضر تولید داده‌های SDMS در شش مرحله تهیه شد که عبارت‌اند از: ۱. کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها؛ ۲. انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده (از بین متغیرهای مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP)؛ ۳. کالیبراسیون مدل؛ ۴. تولید سری زمانی داده‌ها و صحت‌سنجی مدل؛ ۵. آنالیز داده‌ها؛ ۶. پیش‌بینی سری زمانی داده‌ها برای آینده و تولید سناریوهای اقلیمی آتی است. بدین ترتیب داده‌های مشاهداتی (۱۹۹۶-۲۰۲۲) به‌عنوان دوره پایه و ورودی در مدل انتخاب شدند و سپس از طریق معرفی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده به مدل، کالیبراسیون مدل انجام گرفت. در ادامه پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه، با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (HadCM3) و تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 برای دوره‌های آتی (۲۰۲۲-۲۰۵۰) پیش‌بینی و با دوره‌های مشاهداتی (۱۹۹۶-۲۰۲۲) مقایسه گردید. درنهایت با استفاده از روش دومارتن به تعیین نوع اقلیم تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در دوره‌های مشاهداتی و آینده اقدام شد. همچنین شاخص دومارتن از رابطه (۱) محاسبه شد و مقدار این شاخص در اقلیم‌های مختلف به شرح جدول (۱) است.

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (1)$$

در رابطه فوق، I شاخص خشکی دومارتن، P میانگین بارش سالانه (میلی‌متر) و T میانگین دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد) است.

نتایج

مقایسه بین داده‌های مشاهداتی با داده‌های تولید شده در دوره پایه (۱۹۹۶-۲۰۲۲) مطابق جدول (۲)، حاکی از آن است که مقادیر پارامترهای اقلیمی مورد بررسی از دقت مطلوبی برخوردارند و به‌ویژه در مورد پارامترهای اقلیمی دما تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5، این دقت به‌وضوح قابل مشاهده است. همچنین مطابق جدول (۳)، بیشترین میزان صحت‌سنجی مدل در بین پارامترهای اقلیمی مربوط به میانگین دما با ضرایب $R^2=0.94$ و $RMSE=0.78$ است و در مقابل کمترین ضریب $R^2=0.89$ و بیشترین $RMSE=0.93$ مربوط به حداکثر دماست.

حداکثر، حداقل و میانگین دما از ایستگاه سینوپتیک قشم (با موقعیت جغرافیایی ۲۶ درجه و ۴۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۵۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه عرض شرقی و در ارتفاع ۶ متری) به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه منطقه، در طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۲ تهیه شد. در ادامه با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو (HadCM3) تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 و از طریق روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به‌کارگیری مدل SDMS به شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارش و دمای حداقل، حداکثر و میانگین دما در دوره‌های مشاهداتی (۱۹۹۶-۲۰۲۲) و دوره‌های آتی (۲۰۲۲-۲۰۵۰) پرداخته شد. براساس سناریو RCP2.6 واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. در سناریو RCP8.5، غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، ۱۳۷۰ ppm و اثر گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را تا ۸/۵ وات بر مترمربع تخمین زده است (جتز او همکاران، ۲۰۱۶).

مدل HadCM3 یکی از مدل‌های گردش عمومی جفت‌شده جوی-اقیانوسی است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. این مدل دارای شبکه‌ای به ابعاد ۱/۲۵ درجه عرض جغرافیایی در ۱/۸۷۵ درجه طول جغرافیایی است که داده‌های آن‌ها از سال ۱۹۶۱ تا ۲۱۰۰ موجود است (آقاشاهی و همکاران، ۲۰۱۲). مدل SDMS نیز یک روش نمونه‌برداری مجدد شرطی و دومرحله‌ای برای کاهش مقیاس داده‌های مدل‌های GCM است (ویلی او همکاران، ۲۰۰۷؛ هرنانز او همکاران، ۲۰۲۳). در این مدل ابتدا متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (مانند دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی، کوچک‌مقیاس کرده و در مرحله بعد در محل ایستگاه مجدداً داده مورد نظر تولید می‌شود. درواقع مدل SDMS ترکیبی از روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است (تیمبال او همکاران، ۲۰۰۹). به‌طور کلی در

1. Jetz
2. Wilby
3. Hernanz
4. Timbal

جدول (۱): مقادیر شاخص دومارتن در اقلیم های مختلف

Table (1) : De Martonne index values in different climates

نوع اقلیم	خشک	نیمه خشک	مدیترانه ای	نیمه مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
شاخص دومارتن	۰ تا ۱۰	۱۰ تا ۲۰	۲۰ تا ۲۴	۲۴ تا ۲۸	۲۸ تا ۳۵	۳۵ <

جدول (۲): صحت سنجی مدل در پیش بینی پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره های ۱۹۹۶-۲۰۲۲

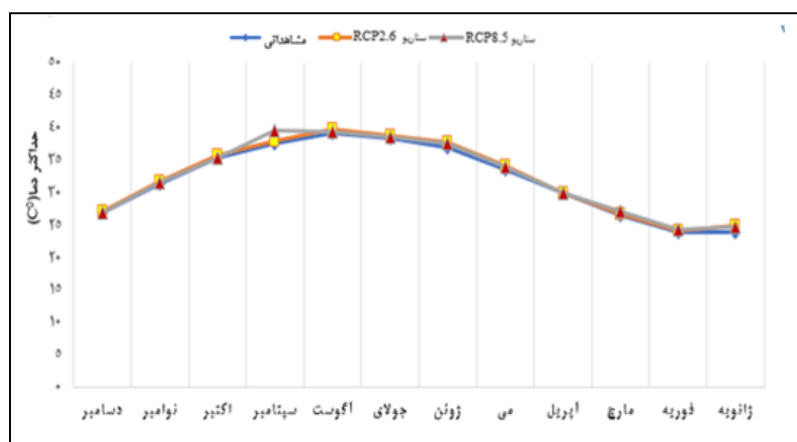
Table (2): Validation of the model in predicting the climatic parameters studied in the periods of 1996-2022

ماه شاخص	سناریوها	ژانویه (دی)	فوریه (بهمن)	مارچ (اسفند)	آوریل (فروردین)	می (اردیبهشت)	ژوئن (خرداد)	جولای (تیر)	اگوست (مرداد)	سپتامبر (شهریور)	اکتبر (مهر)	نوامبر (آبان)	دسامبر (آذر)
دما	مشاهداتی	۲۴	۲۳/۹۶	۲۶/۵	۲۹/۹۵	۳۳/۶۶	۳۶/۹	۳۸/۴۷	۳۹/۱۴	۳۷/۵۷	۳۵/۴	۳۱/۴۱	۲۶/۸۶
	RCP2.6	۲۵	۲۴/۰۲	۲۶/۷	۳۰/۰۴	۳۴/۱۲	۳۷/۸	۳۸/۸۶	۳۹/۷۸	۳۷/۹۴	۳۵/۷۳	۳۱/۷۲	۲۷/۰۶
	RCP8.5	۲۴/۸	۲۴/۲۸	۲۷/۰۵	۲۹/۹۷	۳۴/۰۵	۳۷/۵۶	۳۸/۵۴	۳۹/۴۳	۳۹/۶۷	۳۵/۴۶	۳۱/۵۴	۲۶/۹۴
حد اقل	مشاهداتی	۱۲/۹	۱۴/۵	۱۷/۶	۲۱/۲	۲۵	۲۸	۳۰/۴	۳۰/۴	۲۸	۲۸	۱۸/۷	۱۴/۶
	RCP2.6	۱۳/۲۴	۱۴/۶۳	۱۷/۸۷	۲۱/۳۴	۲۵/۶۳	۲۸/۵۶	۳۰/۸۲	۳۰/۷۵	۲۸/۳۶	۲۸/۹۳	۱۸/۸۷	۱۴/۹۳
	RCP8.5	۱۳/۰۸	۱۴/۵۸	۱۷/۷۳	۲۱/۲۶	۲۵/۴۲	۲۸/۳۷	۳۰/۶۵	۳۰/۵۶	۲۸/۱۷	۲۸/۸۷	۱۸/۷۶	۱۴/۷۵
میانگین دما	مشاهداتی	۱۸/۴۴	۱۸/۷۷	۲۱/۷۴	۲۴/۹۷	۲۸/۶۱	۳۱/۹۵	۳۳/۶۲	۳۴/۲۱	۳۲/۷۱	۳۰/۱۹	۲۵/۶۷	۲۱/۰۵
	RCP2.6	۱۸/۷۶	۱۸/۹۲	۲۲/۳۵	۲۵/۲۸	۲۸/۸۷	۳۲/۲۴	۳۳/۸۰	۳۴/۵۴	۳۲/۹۶	۳۰/۴۷	۲۵/۸۵	۲۱/۳۴
	RCP8.5	۱۸/۵۲	۱۸/۸۶	۲۲/۰۸	۲۵/۱۱	۲۸/۶۳	۳۲/۰۵	۳۳/۶۹	۳۴/۳۶	۳۲/۸۴	۳۰/۲۷	۲۵/۷۲	۲۱/۲۷
بارش	مشاهداتی	۵۶/۸	۱۶/۲	۳۶/۷	۱/۴	۰	۰/۳	۰/۲	۰/۷	۱/۶	۱/۲	۶	۱۸/۳
	RCP2.6	۵۶/۶۳	۱۶/۲۷	۳۶/۵۴	۱/۲۶	۰	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۵۴	۱/۱۱	۰/۹۶	۵/۶۴	۱۸/۱۱
	RCP8.5	۵۶/۷۲	۱۶/۳۴	۳۶/۶۸	۱/۳۴	۰	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۶۳	۱/۲۸	۱/۰۵	۵/۷۳	۱۸/۲۳

جدول (۳): نتایج ضرایب R2 و RMSE در صحت سنجی پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه

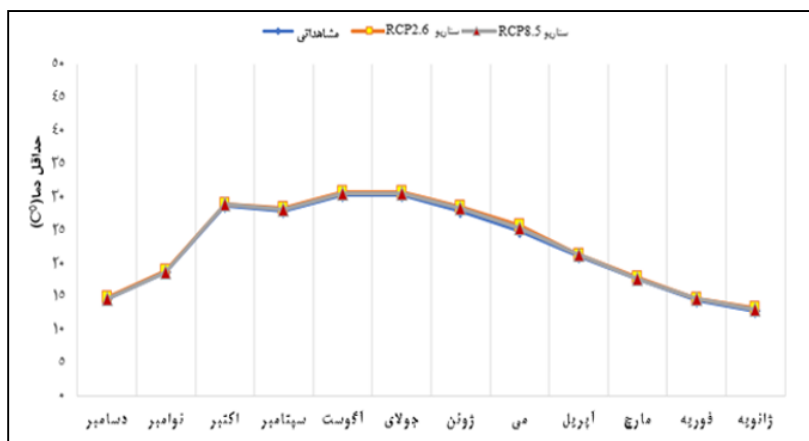
Table (3): The results of R2 and RMSE coefficients in the validation of studied climatic parameters

شاخص	R2	RMSE
حد اکثر دما (°C)	۰/۸۹	۰/۹۳
حد اقل دما (°C)	۰/۹۱	۰/۸۲
میانگین دما (°C)	۰/۹۴	۰/۷۸
بارش (mm)	۰/۹۲	۰/۹



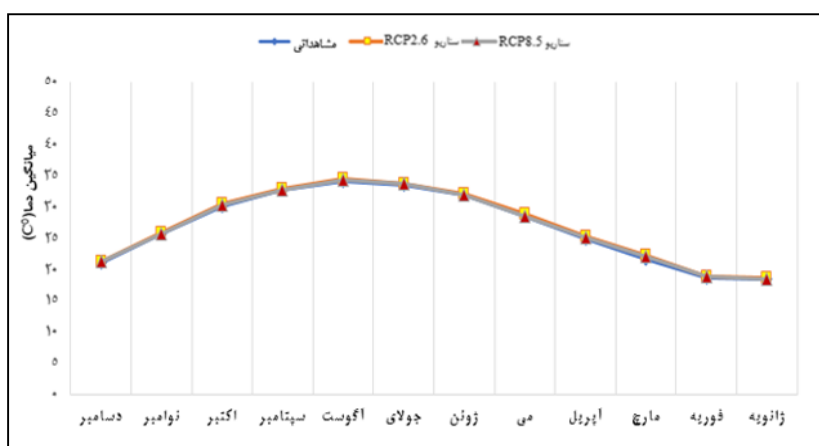
شکل (۲): نمودار صحت سنجی مدل در پیش بینی حداکثر دما در دوره های ۱۹۹۶-۲۰۲۲

Figure (2): Validation chart of the model in predicting the maximum temperature in the periods 1996-2022



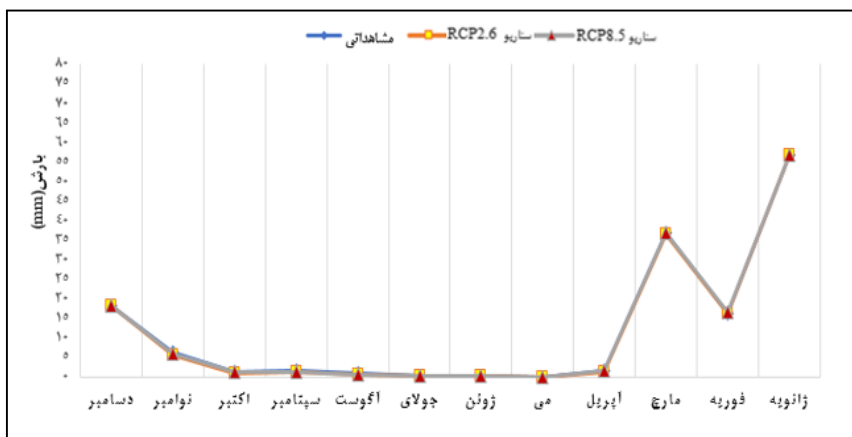
شکل (۳): نمودار صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی حداقل دما در دوره‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۲

Figure (3): Validation chart of the model in predicting the minimum temperature in the periods 1996-2022



شکل (۴): نمودار صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی میانگین دما در دوره‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۲

Figure (4): Validation chart of the model in predicting the moderate temperature in the periods 1996-2022



شکل (۵): نمودار صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی بارش در دوره‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۲

Figure (5): Validation chart of the model in predicting precipitation in the periods 1996-2022

سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت (جدول ۴ و شکل ۶). همچنین مطابق نتایج، پیش‌بینی تغییرات حداکثر و حداقل دما در این منطقه به‌ویژه در مردادماه، بیشترین روند افزایشی را نشان می‌دهند؛ بدین معنا که در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ به‌ترتیب با دمای ۴۱/۲۳ و ۳۲/۲۸ درجه سانتی‌گراد

پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در دوره‌های آتی (۲۰۲۲-۲۰۵۰)

تغییرات دما

نتایج پیش‌بینی شده دما در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ نسبت به دوره‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۲ حاکی از آن است که میانگین دما تحت

تحت سناریو RCP2.6 و ۴۰/۸۶ و ۳۲/۱۱ درجه سانتی گراد تحت سناریو RCP8.5 افزایش خواهند یافت (جدول ۴ و شکل های ۷ و ۸).

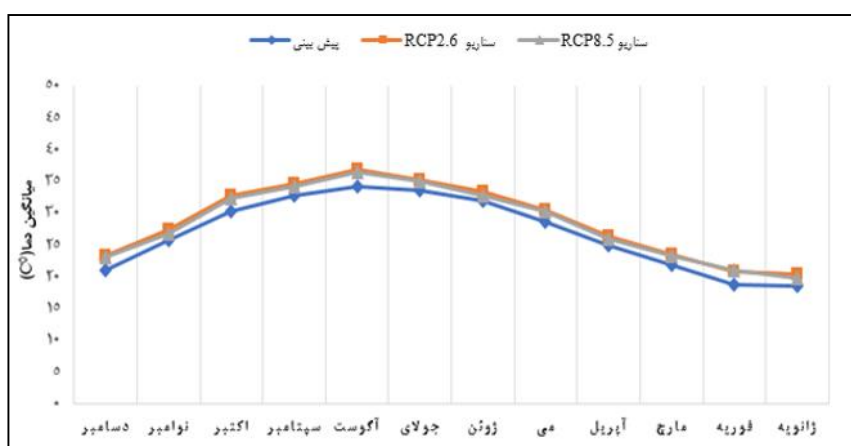
میانگین بارش ها

همان طور که در جدول (۵) و شکل (۹) قابل مشاهده است، میزان بارش در دوره های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 کاهش خواهد یافت. نتایج به دست آمده

جدول (۴): پیش بینی تغییرات دما در دوره های ۲۰۲۲-۲۰۵۰

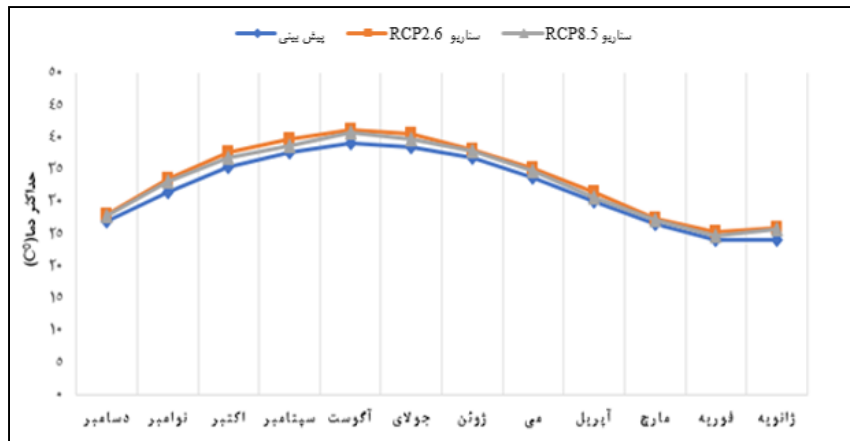
Table (4): Prediction of temperature changes in the periods of 2022-2050

ماه شاخص	سناریو ها	ژانویه (دی)	فوریه (بهمن)	مارچ (اسفند)	آوریل (فروردین)	می (اردیبهشت)	ژوئن (خرداد)	ژوئای (تیر)	آگوست (مرداد)	سپتامبر (شهریور)	اکتبر (مهر)	نوامبر (آبان)	دسامبر (آذر)
دما حداکثر	ورودی	۲۴	۲۳/۹۶	۲۶/۵	۲۹/۹۵	۳۳/۶۶	۳۶/۹	۳۸/۴۷	۳۹/۱۴	۳۷/۵۷	۳۵/۴	۳۱/۴۱	۲۶/۸۶
	پیش بینی RCP2.6	۲۶/۱	۲۵/۳۲	۲۷/۴۳	۳۱/۵۴	۳۵/۲۸	۳۸/۱۷	۴۰/۶۳	۴۱/۲۳	۳۹/۷۱	۳۷/۶۹	۳۳/۴۶	۲۸/۰۶
	پیش بینی RCP8.5	۲۵/۶۴	۲۴/۷۲	۲۷/۱۲	۳۰/۶۸	۳۴/۸۷	۳۷/۹۴	۳۹/۷۷	۴۰/۸۶	۳۸/۶۷	۳۶/۸۵	۳۳/۰۹	۲۷/۸۱
دما حداقل	ورودی	۱۲/۹	۱۴/۵	۱۷/۶	۲۱/۲	۲۵	۲۸	۳۰/۴	۳۰/۴	۲۸	۲۸/۸	۱۸/۷	۱۴/۶
	پیش بینی RCP2.6	۱۴/۴۳	۱۶/۲۲	۱۹/۳۸	۲۳/۵۴	۲۷/۴۸	۳۰/۷۴	۳۲/۵۱	۳۲/۲۸	۳۰/۷۰	۳۰/۵۴	۲۰/۷۶	۱۶/۸۲
	پیش بینی RCP8.5	۱۳/۸۷	۱۶/۰۵	۱۸/۸۹	۲۳/۳۲	۲۶/۹۳	۳۰/۴۲	۳۱/۱۸	۳۲/۱۱	۳۰/۲۳	۲۹/۸۵	۲۰/۳۲	۱۶/۲۴
میانگین دما	ورودی	۱۸/۴۴	۱۸/۷۷	۲۱/۷۴	۲۴/۹۷	۲۸/۶۱	۳۱/۹۵	۳۳/۶۲	۳۴/۲۱	۳۲/۷۱	۳۰/۱۹	۲۵/۶۷	۲۱/۰۵
	پیش بینی RCP2.6	۲۰/۳۲	۲۰/۸۴	۲۳/۵۴	۲۶/۴۱	۳۰/۵۲	۳۳/۲۸	۳۵/۲۳	۳۶/۸۷	۳۴/۵۷	۳۲/۶۸	۲۷/۴۳	۲۳/۱۸
	پیش بینی RCP8.5	۱۹/۷۸	۲۰/۹۳	۲۳/۱۷	۲۵/۸۴	۳۰/۲۱	۳۲/۷۶	۳۴/۹۸	۳۶/۴۳	۳۴/۱۱	۳۲/۲۵	۲۶/۸۴	۲۲/۹۵



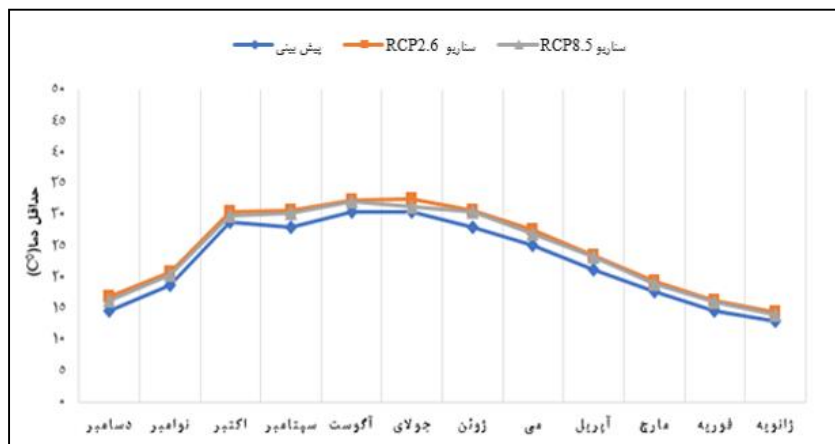
شکل (۶): نمودار پیش بینی تغییرات میانگین دما تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در دوره های ۲۰۲۲-۲۰۵۰

Figure (6): Prediction chart of moderate temperature changes under scenarios RCP2.6 and RCP8.5 in the periods 2022-2050



شکل (۷): نمودار پیش‌بینی تغییرات حداکثر دما تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰

Figure (7): Prediction chart of maximum temperature changes under scenarios RCP2.6 and RCP8.5 in the periods 2022-2050



شکل (۸): نمودار پیش‌بینی تغییرات حداقل دما تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰

Figure (8): Prediction chart of minimum temperature changes under scenarios RCP2.6 and RCP8.5 in the periods 2022-2050

جدول (۵): پیش‌بینی تغییرات بارش در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰

Table (5): Prediction of precipitation changes in the periods of 2050-2022

ماه شاخص	سناریوها	ژانویه (دی)	فوریه (بهمن)	مارچ (اسفند)	آوریل (فروردین)	می (اردیبهشت)	ژوئن (خرداد)	جولای (تیر)	آگوست (مرداد)	سپتامبر (شهریور)	اکتبر (مهر)	نوامبر (آبان)	دسامبر (آذر)
بارش	ورودی	۵۶/۸	۱۶/۲	۳۶/۷	۱/۴	۰	۰/۳	۰/۲	۰/۷	۱/۶	۱/۲	۶	۱۸/۳
	پیش‌بینی RCP2.6	۵۵/۲۳	۱۵/۳۴	۳۵/۶۳	۱/۱۱	۰	۰/۱۴	۰/۱	۰/۴۸	۱/۰۴	۰/۹۲	۵/۲۳	۱۷/۸۶
	پیش‌بینی RCP8.5	۵۶/۱۱	۱۵/۸۷	۳۶/۰۸	۱/۲۵	۰	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۵۲	۱/۳۲	۱/۱	۵/۸۶	۱۸/۰۷

جدول (۶): نتایج حاصل از تعیین اقلیم با استفاده از روش دومارتن

Table (6): The results of climate determination using the De Martonne method

۲۰۲۲-۱۹۹۶				۲۰۵۰-۲۰۲۲			
سناریو RCP2.6		سناریو RCP8.5		سناریو RCP2.6		سناریو RCP8.5	
ضریب خشکی	اقلیم	ضریب خشکی	اقلیم	ضریب خشکی	اقلیم	ضریب خشکی	اقلیم
۱/۲۶	خشک	۱/۱۹	خشک	۰/۲۸	خشک	۰/۲۹	خشک

مشاهده است. این نتایج با مطالعه یعقوب‌زاده (۲۰۲۲) نیز هماهنگی دارد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین روند تغییرات بارش‌ها در استان هرمزگان با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مربوط به دی‌ماه است. همچنین یافته‌ها حاکی از آن است که کاهش بارش‌ها و افزایش تغییرات اقلیم نسبت به تغییرات کاربری اراضی و سایر فعالیت‌های انسانی بیشترین اثرات نامطلوب را بر رویشگاه‌های مانگرو در این منطقه بر جای گذاشته است. همچنین در راستای این نتایج، مطالعه اعتمادی و همکاران (۲۰۱۵) نیز تأیید کرده است که براساس پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته در جنگل‌های مانگرو منطقه جاسک، کاهش شدید بارش‌ها در طی ماه‌های سرد سال قابل انتظار خواهد بود.

علاوه بر این، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که براساس ضریب خشکی دومارتن، نوع اقلیم منطقه در دوره‌های مشاهداتی و آتی (تحت سناریوهای مورد بررسی) به طبقه خشک اختصاص یافته است و تغییری در دوره‌های آتی مشاهده نمی‌شود. یافته‌های به‌دست‌آمده، هم‌راستا با نتایج مطالعه اعتمادی (۲۰۲۱) است. نتایج حاکی از آن است که عمده‌ترین رویشگاه‌های مانگرو کشور از اقلیمی گرم و خشک برخوردارند و تغییر اقلیم در این رویشگاه‌ها اثرات تهدیدآمیزی به همراه دارد.

بر این اساس، تغییرات اقلیم در جنگل‌های مانگرو ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا یکی از عمده‌ترین تهدیدات شناخته‌شده در این منطقه محسوب می‌شود که با شبیه‌سازی و پیش‌بینی این تغییرات در دوره‌های آتی می‌توان به دانشی از چگونگی روند تغییرات دما و بارش به‌عنوان عمده‌ترین پارامترهای اقلیمی در این رویشگاه‌های طبیعی دست یافت. در این راستا چنین دانشی می‌تواند به فعالیت‌های حفاظت و احیای آینده این ذخایر ارزشمند زیستی کمک کند. همچنین در برنامه‌های مدیریتی این منطقه، می‌توان تغییرات اقلیم را به‌منظور کاهش اثرات تخریبی ناشی از آن مورد بررسی و تصمیم‌گیری قرار داد.

مجموعه داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده مدل SDSM می‌تواند دمای حداقل و حداکثر را دقیق‌تر نشان دهد، درحالی‌که برای شبیه‌سازی بارش از صحت کمتری برخوردار است. با وجود این با توجه به پارامترهای آماری بررسی‌شده، نتایج به‌دست‌آمده قابل قبول و مورد تأیید است.

در این مطالعه، نتایج پیش‌بینی تغییرات دما در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ در مقایسه با دوره‌های ۱۹۹۶-۲۰۲۲ حاکی از آن است که میانگین دما تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت. همچنین مطابق نتایج، پیش‌بینی تغییرات حداکثر و حداقل دما در این منطقه به‌ویژه در مردادماه، بیشترین روند افزایشی را نشان می‌دهند. این نتایج با یافته‌های مطالعه اعتمادی و همکاران (۲۰۱۵) نیز مشابهت دارد و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که میانگین دما در طول دوره‌های آتی به‌ویژه در فصول گرم سال، افزایش خواهد یافت و این تغییرات دمایی می‌تواند بر شرایط بیولوژیک و اکولوژیک جنگل‌های مانگرو منطقه جاسک در جنوب کشور نیز تأثیرگذار باشد. در راستای این نتایج، مافی غلامی و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که همبستگی بالایی میان تغییرات وسعت مانگروها و جوامع گیاهی شوری‌پسند منطقه قشم با تغییرات شدت خشکسالی و افزایش دما وجود دارد؛ به‌طوری‌که با وقوع خشکسالی‌های پیوسته در دهه‌های اخیر، روند کاهشی در وسعت جوامع گیاهی مانگروها در این منطقه قابل مشاهده است. همچنین نتایج مطالعات فریس^۱ و همکاران (۲۰۲۲) و جنرگان^۲ و همکاران (۲۰۱۷) نیز مؤید یافته‌های مطالعه حاضر است. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش دما و وقوع دوره‌های خشکسالی در آینده تأثیرات قابل توجهی بر ساختار رویشگاه‌ها و نحوه توزیع مکانی جنگل‌های مانگرو خواهد داشت.

مطابق نتایج پیش‌بینی‌شده در ذخیره‌گاه زیست‌کره حرا، میانگین بارش‌ها در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۵۰ تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 کاهش خواهد یافت. همچنین بیشترین روند کاهشی بارش‌ها مربوط به دی‌ماه تحت سناریو RCP2.6 و کمترین روند کاهشی در تیرماه تحت سناریو RCP8.5 قابل

منابع

- Aghashahi, M., Ardestani, M., Nik Sokhan, M. H., & Tahmasebi, B., 2012. Introduction and comparison of LARS-WG and SDSM models for microscaling of environmental parameters in climate change studies, *6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran*.
- Arab Solghar, A. A., Porhemmat, J., & Goodarzi, M., 2022. Prediction of Climate Change using General Circulation Models and SDSM and LARS-WG Downscaling Models under RCP Scenarios in Dez Watershed. *Physical Geography Quarterly*, 15(55), 129-149.
- Dastranj, A., & Rostami, M., 2020. Assessment and prediction of climate change in the next decade, by downscaling General Circulation Models (GCMs). *Geography and Human Relationships*, 3(1), 252-268.
- Davar, L., Griggs, G., Danehkar, A., Salmanmahiny, A., Azarnivand, H., & Naimi, B. 2021. A spatial integrated SLR adaptive management plan framework (SISAMP) toward sustainable coasts. *Water*, 13(16), 2263.
- Delfan, N., & Ghodrati Shojaei, M., 2021. A Review of the Impacts of Climate Change on Mangrove Ecosystems. *Iranian Journal of Biology*, 5(10), 111-116.
- Emadodin, I., Reinsch, T., & Taube, F., 2019. Drought and desertification in Iran. *Hydrology*, 6(3), 66.
- Etemadi, H., & Delshab, H., 2020. Potential expected climate change impact on Persian Gulf Coastal Mangrove Ecosystems based on temperature and precipitation variables. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(2), 1-13.
- Etemadi, H., 2021. Mangroves Responses to Projected Sea-Level Rise Due to Impact of Climate Change. *Human & Environment*, 19(4), 173-187.
- Etemadi, H., Sharifikia, M., Samadi, S. Z., Sari, E., & Danekar, A., 2015. Simulation of the Future Climatic Changes in Jask Area and Its Impact on Hara Forests. *Geography and Development*, 13(41), 87-104.
- Etemadi, H., Smoak, J. M., & Abbasi, E., 2021. Spatiotemporal pattern of degradation in arid mangrove forests of the Northern Persian Gulf. *Oceanologia*, 63(1), 99-114.
- Friess, D. A., Adame, M. F., Adams, J. B., & Lovelock, C. E., 2022. Mangrove forests under climate change in a 2 C world. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 13(4), e792.
- Gillis, L. G., Hortua, D. A., Zimmer, M., Jennerjahn, T. C., & Herbeck, L. S., 2019. Interactive effects of temperature and nutrients on mangrove seedling growth and implications for establishment. *Marine environmental research*, 151, 104750.
- Goodarzi, M., Mahdian, M. H., & Qermezcheshmeh, B., 2021. Assessment of climate change using SDSM downscaling Model (A case study: West of Iran). *Water Harvesting Research*, 4(1), 29-39.
- Hana, Y., Yanga, J., Dasb, L. C. (2023). Evaluation of SDSM Models for Climate Predictions in Bangladesh. *International Journal of Big Data Mining for Global Warming*, 5(01), 2350003.
- Hernanz, A., Correa, C., García-Valero, J. A., Domínguez, M., Rodríguez-Guisado, E., & Rodríguez-Camino, E., 2023. pyClim-SDM: Service for generation of statistically downscaled climate change projections supporting national adaptation strategies. *Climate Services*, 32, 100408.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021. Climate Change 2021 the Physical Science Basis Summary for Policymakers Technical Summary Frequently Asked Questions Glossary. *Part of the Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jennerjahn, T. C., Gilman, E., Krauss, K. W., Lacerda, L. D., Nordhaus, I., & Wolanski, E., 2017. Mangrove ecosystems under climate change. *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services*, 211-244.
- Jetz, W., Tuanmu, M. N., Melton, F. S., Parmentier, B., Amatulli, G., & Guzman, A. (2016). Remote-sensing supported monitoring of global biodiversity change. *In AGU Fall Meeting Abstracts*. pp. GC13I-02.
- Kabir, M., Habiba, U. E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., Farooqi, Z. U. R., & Shafiq, M., 2023. Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; A mini review. *Journal of King Saud University-Science*, 35 (5), 102693.
- Mafi Gholami, D., Baharlouii, M., & Mahmoudi, B., 2018. Investigation of climate change consequences on mangroves and saltmarshes of Hara (Avicennia Marina) biosphere reserve of Gheshm Island. *Environmental Researches*, 9(17), 207-220.
- Mansfield, L. A., Nowack, P. J., Kasoar, M., Everitt, R. G., Collins, W. J., & Voulgarakis, A., 2020. Predicting global patterns of long-term climate change from short-term simulations using machine learning. *npj Climate and Atmospheric Science*, 3 (1), 44.
- Maryanji, Z., Sotoudeh, F., & Toulabi nejad, M., 2022. Modeling and predicting the trend of temperature changes in Hamadan county. *Journal*

- of Applied researches in Geographical Sciences, Online.
23. Mirshekaran, Y., Kakapour, V., & Zarey, A., 2021. Assess the effect of climate change on precipitation and temperature using AR4 models (Case Study: Gharasoo Basin of Kermanshah province). *Climate Change Research*, 2(8), 23-34.
 24. National Meteorological Organization., 2022. Annual meteorological reports.
 25. Pouralkhas Nokandeie, M., Esmali-Ouri, A., Mostafazadeh, R., Hazbavi, Z., & Sharari, M., 2022. Indicators and components of assessing variations and changes in climate change. *Disaster Prevention and Management Knowledge* (quarterly), 12(1), 85-98.
 26. Rostami, F., Attarod, P., Keshtkar, H., & Nazeri Tahroudi, M., 2022. Impact of climatic parameters on the extent of mangrove forests of southern Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 20(4), 671-682.
 27. Segaran, T. C., Azra, M. N., Lananan, F., Burlakovs, J., Vincevica-Gaile, Z., Rudovica, V., & Satyanarayana, B., 2023. Mapping the Link between Climate Change and Mangrove Forest: A Global Overview of the Literature. *Forests*, 14 (2), 421.
 28. Sillmann, J., Thorarinsdottir, T., Keenlyside, N., Schaller, N., Alexander, L. V., Hegerl, G., & Zwiers, F. W. 2017. Understanding, modeling and predicting weather and climate extremes: Challenges and opportunities. *Weather and climate extremes*, 18, 65-74.
 - Emadodin, I., Reinsch, T., & Taube, F., 2019. Drought and desertification in Iran. *Hydrology*, 6 (3), 66.
 29. Singh, M., Schwendenmann, L., Wang, G., Adame, M. F., & Mandlate, L. J. C., 2022. Changes in mangrove carbon stocks and exposure to sea level rise (SLR) under future climate scenarios. *Sustainability*, 14(7), 3873.
 30. Sobhani, P., & Esmaeilzadeh, H., 2020. The Impact of Climate Changes on Tourism in Protected Areas (Case Study: Alvand No-Hunting Area). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 10(37), 65-90.
 31. Sobhani, P., & Danehkar, A., 2023c. Investigating tourism climate conditions in Iran's mangrove forests using Tourism Comfort Climate Index (TCCI) and Holiday Climate Index (HCI). *Journal of Natural Environment*, 75(Special Issue Coastal and Marine Environment), 29-45.
 32. Sobhani, P., & Danehkar, A., 2023a. Natural features and management areas of Khamir and Qeshm mangrove forests. *Iran Nature*, 8(4), 97-112.
 33. Sobhani, P., & Danehkar, A., 2023b. Spatial-temporal changes in mangrove Forests for Analyzing habitat Integrity: A case of hara biosphere Reserve, Iran. *Environmental and Sustainability Indicators*, 100293.
 34. Steward, P. R., Dougill, A. J., Thierfelder, C., Pittelkow, C. M., Stringer, L. C., Kudzala, M., & Shackelford, G. E., 2018. The adaptive capacity of maize-based conservation agriculture systems to climate stress in tropical and subtropical environments: A meta-regression of yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 251, 194-202.
 35. Timbal, B., Fernandez, E., & Li, Z., 2009. Generalization of a statistical downscaling model to provide local climate change projections for Australia. *Environmental Modelling & Software*, 24(3), 341-358.
 36. Wang, X., Fan, Y., Zhao, S., Xie, Y., & Von Storch, H., 2022. Future climate scenarios: Regional climate modelling and data analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 858153, 1-4.
 37. Ward, R. D., Friess, D. A., Day, R. H., & Mackenzie, R. A., 2016. Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and sustainability*, 2(4), e01211.
 38. Wilby, R. L., Tomlinson, O. J., & Dawson, C. W., 2007. Multi-site simulation of precipitation by condition resampling. *Journal of Climate Research*, 23, 183-194.
 39. Xiukang, W., Zhanbin, L., & Yingying, X., 2015. Effects of mulching and nitrogen on soil temperature, water content, nitrate-N content and maize yield in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 161, 53-64.
 40. Yaghoubzadeh, M., Salmanmahiny, A., Mikaeili Tabrizi, A. R., & Danehkar, A., 2023. Forecasting inundation zone caused by climate change in mangrove forests. *Journal of Marine Science and Technology*, 22(2), 68-72.
 41. Yaqubzadeh, M., 2022. Management-based prediction of the effects of land use change and climate change on mangrove forests in Hormozgan province. PhD dissertation in the field of environment and land management, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
 42. Vicente-Serrano, S. M., Quiring, S. M., Peña-Gallardo, M., Yuan, S., & Domínguez-Castro, F., 2020. A review of environmental droughts: Increased risk under global warming?. *Earth-Science Reviews*, 201, 102953.

Simulating and Predicting Climate Change in Mangrove Forests of Hara Biosphere Reserve

Parvaneh Sobhani,¹Afshin Danehkar*

Received: 14/12/2023

Accepted: 01/04/2024

Extended Abstract

Introduction: Global warming has disrupted the climate balance in recent decades, causing extensive changes in different regions worldwide. In other words, climate change has influenced all biological processes by changing the temperature, precipitation, and other climatic variables' patterns, leading to alterations in the ecosystem's function and biodiversity loss, especially in dry and semi-arid regions. On the other hand, climate change is regarded as a main threat to mangrove forests, bringing about consequences such as increased sea levels, the occurrence of sea storms, alterations in precipitation patterns, increased temperature, and decreased coverage area of mangrove habitats. Therefore, simulating and predicting the prospective changes in the climate of mangrove forests can offer valuable suggestions for controlling the adverse effects of climate change and reducing the vulnerability of such natural ecosystems.

Materials and methods: This study sought to simulate precipitation, and minimum, maximum, and average temperature rates in the mangrove forests' biosphere reserve throughout the observation period (1996-2022) and the future period (2022-2050) using the data collected from the HadCM3 General Circulation Model (GCM) and the SDSM under RCP2.6 and RCP8.5 scenarios. In addition, the De Martonne method was used to identify the climate of the study area during the observation and future periods.

Results: A comparison of the results obtained for the observation and the baseline periods (1996-2022) indicated that the obtained values of the investigated climatic parameters enjoyed great accuracy, with the highest and lowest levels of model validation belonging to the average and maximum temperature rates, respectively. Furthermore, the predictions made for temperature changes for the 2022-2050 period, as compared to the 1996-2022 period, suggested that the average temperature would rise under both the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios. Additionally, the results indicated that the area's maximum and minimum temperature rates would experience the highest increase, particularly in July. On the other hand, the results showed that the average precipitation would decrease throughout the 2022-2050 period in the Hara biosphere reserve under RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, with the highest and lowest decreasing trends of precipitation belonging to January and July under the RCP2.6 scenario and the RCP8.5 scenarios, respectively. Furthermore, according to the results obtained from the De Martonne aridity index, the climate type of the region for observation and future periods (under the investigated scenarios studied) was classified under the dry category, with no changes being observed for the future period.

Discussion and conclusion: Considering the growth conditions dominating the Iranian mangroves' habitats in hot and dry regions, the results of the study indicated that compared to other human-induced phenomena, climate change had turned into a serious degradation threat to such habitats. In this regard, the study found that the average temperature would increase in the future, especially during the warm seasons of the year, which in turn may affect the biological and ecological conditions of the mangrove forests of the region. Therefore, a high correlation was found between the changes in mangroves and plant communities of the Khamir and Qeshm region and the changes in drought intensity and temperature increase, indicating that the area of the region's mangrove plant communities has decreased in recent decades due to continued drought. Accordingly, it could be argued that the prospective drought periods would exert considerable influence on the structure of the habitats and the spatial distribution of the mangrove forests. The results of the study also suggested that climate change was considered one of the major known threats to the mangrove forests' Hara biosphere reserve. Therefore, simulating and predicting such changes can provide useful knowledge concerning the trend of temperature and precipitation changes (as the main climatic parameters) in these natural stands, helping to set appropriate measures for preserving and restoring such invaluable biological reserves. Furthermore, in the management plans of this region, climate change can be considered in the region's management plans to reduce the destructive effects of those changes.

Keywords: Climate Prediction, SDSM, Mangrove Forests, Hara Protected Area, Qeshm Island, Khamir Port.

1. Postdoctoral student, Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Professor, Department of Environmental Science, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran; danehkar@ut.ac.ir