

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل LARS-WG6 (مطالعه شهر بندرعباس)

شهربانو منجذب مرودشتی*، کمال امیدوار

گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۵

چکیده

یکی از چالش‌های قرن ۲۱، تغییر اقلیم است. تغییر اقلیم می‌تواند بر متغیرهای اقلیمی تاثیر بگذارد که این بر آب و هوای سیاره تاثیر زیادی خواهد داشت. دما و بارش از عناصر اصلی شکل‌گیری اقلیم می‌باشند، که تغییرات آن، ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون می‌سازد. بنابراین در این تحقیق، تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش بندرعباس با استفاده از مدل‌های گردش عمومی و مدل ریزمقیاس‌نمائی LARS-WG6 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ بررسی شده و متغیرهای اقلیمی عنوان شده مقایسه و همبستگی مقادیر با استفاده از آزمون T استیوننت مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که دمای حداکثر و حداقل ماهانه به‌جز موارد محدود در هر چهار مدل و دوسناریو افزایش خواهند داشت. بالاترین میزان افزایش دمای حداقل و حداکثر به ترتیب در ماه ژوئن، مدل HadGEM2-ES، سناریوی RCP4.5 (درجه سانتی‌گراد) و ژانویه مدل HadGEM2-ES، سناریوی RCP4.5 (درجه سانتی‌گراد) و ژانویه مدل HadGEM2-ES، سناریوی RCP4.5 (درجه سانتی‌گراد) افتاده است. این افزایش در میانگین سالانه و فصلی تکرار شده و به‌طور متوسط دمای حداقل و حداکثر سالانه به‌ترتیب ۱ و ۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهند داشت. همچنین مدل‌ها به‌طور کلی افزایش بارش را در اکثر موارد پیش‌بینی کردند. بیشترین افزایش را مدل GFDL-CM3 سناریوی RCP4.5 (۲۵/۸۲ درصد) در ماه مارس پیش‌بینی کرده است. پیش‌بینی‌ها افزایش بارش سالانه و فصلی را نیز نشان دادند که میزان افزایش بارش در سناریوی RCP4.5 بیشتر از سناریوی RCP8.5 بوده است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از مدل در مواردی وجود دارد. در نتیجه بندرعباس در آینده، افزایش بارش و دما را تجربه خواهد کرد که این می‌تواند خطر وقوع حوادثی طبیعی مانند سیل و تنش‌های گرمایی را در منطقه افزایش دهد. مدیریت این شرایط، ضروری بوده و نتایج مطالعه حاضر می‌تواند جهت اتخاذ راهکارهایی برای مشکلات مفید واقع شود.

کلید واژگان: تغییر اقلیم، بندرعباس، ریزمقیاس‌نمایی، مدل‌های گردش عمومی جو، LARS-WG6

مقدمه

گرمایی و تعامل یخ، اقیانوس و خشکی است. این مدل‌ها بر پایه قوانین فیزیکی بوده که به وسیله روابط ریاضی در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌گردن (IPCC *et al.*, 1988). مدل‌های گزارش پنجم عملکرد خوبی را نسبت به مدل‌های گزارش سوم و چهارم در بیان تغییرات اقلیمی و شدت شرایط آب و هوایی در جهان نشان داده‌اند (Dong *et al.*, 2018).

این مدل‌ها قابل استفاده در مطالعات کاربردی با ابعاد کوچکتر از خود نیستند. مدل‌ها جهانی برای استفاده در مطالعات باید ریزمقیاس شوند. دو روش برای ریزمقیاس نمودن و به دست آوردن اطلاعات در مقیاس محلی یا ناحیه ای از سناریوهای اقلیم جهانی تولید شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد که عبارتند از روش دینامیکی و آماری. در روش دینامیکی نیاز به رایانه‌هایی با سرعت بالا داریم اما روش دوم یعنی آماری را می‌توان روی رایانه‌های خانگی انجام داد و روشی سریع و ارزان است. در ریزمقیاس نمایی آماری بیشترین محدودیت مشاهدات ثبت شده می‌باشند (Benestad *et al.*, 2004). در بیشتر نقاط دنیا تغییر اقلیم تأثیری منفی بر عرصه‌های مختلف (تولیدات کشاورزی، منابع آبی و گردشگری) دارد. شدت این تأثیرات از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت است. برای مدیریت در عرصه‌های مختلف و رویارویی با اثر تغییر اقلیم لازم است که تمامی این اثرها در مقیاس زمانی و مکانی کمی شوند (Abbaspour *et al.*, 2009). بر همین اساس مطالعات گوناگونی در خارج و داخل از کشور در این زمینه انجام شده که به مواردی اشاره می‌شود. Chang و همکاران (۲۰۱۲)، تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آبی در جنوب غربی بلغارستان را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از یک مدل هیدرولوژیکی بر مبنای سنجش از دور و مدل اقلیمی HadCM2 در دو دوره زمانی ۲۰۲۵-۲۰۸۵ استفاده کردند. نتایج در دو دوره زمانی، حساسیت رواناب به تغییر اقلیم را نشان دادند. آن‌ها نشان

تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلند مدت از مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است. به بیان دیگر، تغییر اقلیم، معادل تغییرات معنی‌دار آماری برای متوسط وضع آب و هوا در یک دوره طولانی (چند دهه و بیشتر) است. این تغییرات می‌تواند در متوسط دما، بارندگی، الگوی آب و هوایی، باد، تابش و متغیرهای مشابه آن باشد. اقلیم می‌تواند گرم‌تر یا سردتر شود و مقادیر سالانه بارندگی یا برف می‌تواند افزایش یا کاهش یابد (Modaresi *et al.*, 2010). از با مهمترین متغیرهای اقلیمی در راستای مطالعه تغییر اقلیم، بارش و دما هستند. به طوری که این دو متغیر به صورت گسترده‌ای در سطح جهان مورد مطالعه قرار گرفته اند (Stocker *et al.*, 2013).

اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که عمدتاً به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است. معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جوی 'GCM می‌باشد. زیرا پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده تحت پدیده تغییر اقلیم به طور قطعی ممکن نمی‌باشد، راه جایگزین مشخص کردن امکان‌های رخداد گوناگون برای آن می‌باشد که سناریوی اقلیمی نامیده می‌شود. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های GCM می‌باشد. این مدل‌ها قادرند متغیرهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره بلند مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC^۲ مدل‌سازی نمایند (Ashraf *et al.*, 2011).

مدل‌های گردش عمومی GCM بهترین اطلاعات، درباره پاسخ جوی به افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای را می‌توانند فراهم کنند. این مدل‌ها وابسته به زمان و دارای شبه‌سازی‌های عددی سه بعدی شامل حرکات جوی تبدلات

² Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

¹ General Circulation Model

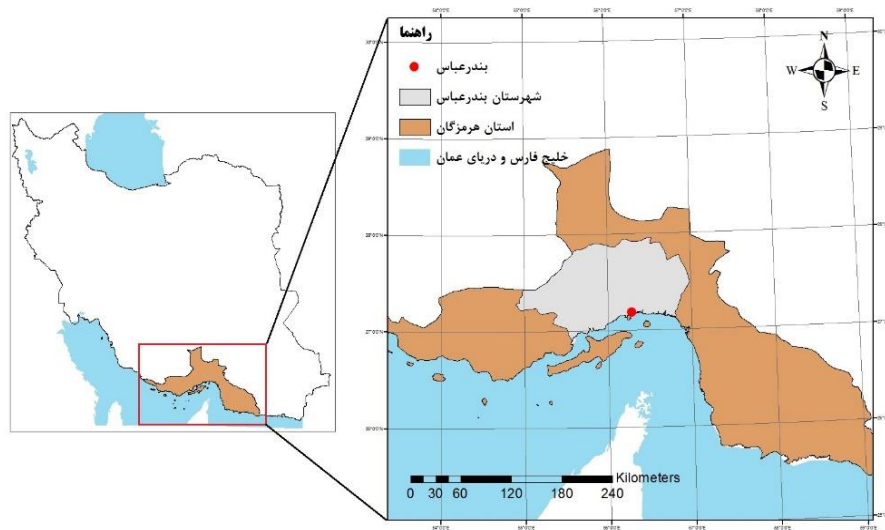
مارس) به چهار ماه (دسامبر تا مارس) در منطقه مورد مطالعه کاهش یابد. Sharma و همکاران (۲۰۲۰)، تغییرات بارندگی و دما در حوضه رودخانه تستا (هیمالیای هند) در شرایط تغییرات اقلیمی را ارزیابی نمودند. نتایج تغییرات قابل توجهی در بارش، دما و الگوهای شدید آب و هوا در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 را نشان داد. به طور کلی، گرم شدن و افزایش بارندگی مشاهده شد.

در ایران طی سال‌های اخیر اثرهای تغییر اقلیم در حوزه‌های متعددی انجام شده است. در این مطالعات داده‌های اقلیمی را با استفاده از مدل‌های مختلف GCM دریافت کرده و سپس اثر تغییر اقلیم را بر حوزه‌های مختلف از قبیل منابع آب، نوسانات دما، تغییرات فصلی متغیرهای اقلیمی، کشاورزی، عملکرد آب گیاه، خشکسالی، هیدروگراف سیلاب مورد بررسی قرار دادند، به طور کلی این مطالعات نشان‌دهنده اثرات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شدید این پدیده بر وضعیت موجود می‌باشد (Babaeian et al., 2012; Hejazizadeh et al., 2012; Akhavan et al., 2016; Mehrazar et al., 2018; Heydaritashkaboud et al., 2019).

با توجه به اهمیت تغییر اقلیم و تأثیرات آن بر متغیرهای اقلیمی چون دما، بارش و جنبه‌های مختلف زندگی بشر و این که تاکنون تحقیقی در منطقه مورد مطالعه با توجه به سناریوهای جدید انجام نشده است. نتایج بررسی تغییرات اقلیمی در این منطقه می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران در اجرای تصمیمات و برنامه‌های کارآمد کمک نماید. بنابراین مطالعه حاضر با هدف پیش‌بینی و مقایسه تغییرات اقلیمی بندرعباس با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG6 انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

دادند که حداکثر رواناب به اوایل بهار منتقل و کاهش زیادتری در رواناب تابستانه (به دلیل کاهش در بارندگی) رخ خواهد داد. در تحقیقی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آب آبیاری در حوضه رودخانه گوآدالکویوبر در اسپانیا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعه به وضوح افزایش در خشکی و نیاز آبیاری را نشان داد (Rodriguez et al., 2007). در مدیریتانه تغییر اقلیم و اثرات آن بر محصولات کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده عملکرد گندم برای قرن آینده در اثر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، افزایش دما کاسته خواهد شد. این اثرات منفی از عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر شروع شده و با افزایش عرض جغرافیایی میزان این اثرات منفی نیز افزوده می‌شود (Ferrise et al., 2009). همچنین تأثیرات تغییر اقلیم و تنش رطوبتی بر محصولات کشاورزی تا سال ۲۰۷۵ در جنوب غربی بنگلادش بررسی شد. بر اساس نتایج، متوسط دما برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ به ترتیب سانتی‌گراد ۲/۴ و ۰/۸۸ افزوده می‌شود. افزایش دما در ماه‌های زمستان بیش از سایر ماه‌های سال خواهد بود، و افزایش در میانگین بارش سالانه برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ به ترتیب برابر ۲ و ۱۰/۱ درصد خواهد بود (Roy et al., 2009). طی پژوهشی بارش، تبخیر و تعرق چند مکان در پورتریکو تحت شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی شدند. داده‌های دما و بارش با استفاده از مدل گردش عمومی و تحت سه سناریوی A1, B1 و A2 ریزمقیاس شدند. نتایج نشان داد که فصل بارش مرطوب‌تر و فصل خشکی، خشک‌تر خواهد شد. همچنین به تبخیر و تعرق نیز در ماه‌های خشک با کاهش بارندگی و افزایش دما افزوده می‌شود (Harmsen et al., 2009). Ouhamdouch و همکاران (۲۰۱۷)، تغییرات اقلیمی آینده در منطقه نیمه‌خشک سواحل اقیانوس اطلس مراکش، را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که روند صعودی میانگین دمای سالانه برای RCP 2.6 و RCP 8.5 (به ترتیب ۱۲/۵ و ۲۱/۳۳ درصد) خواهد بود. علاوه بر این، پیش‌بینی می‌شود که فصل مرطوب از پنج ماه (نوامبر تا



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهر بندرعباس).

مزایایی از جمله قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی، هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی آن و عدم نیاز به تنظیمات شار سطحی (شار مصنوعی اضافی برای سطح اقیانوس) برای بهبود شبیه‌سازی است. داده‌های دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به روش آماری و با استفاده از مدل LARS-WG6 که یکی از معتبرترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است، ریزگردانی شده‌اند. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده بکار می‌رود. تولید داده از طریق مدل LARS-WG6 در سه مرحله واسنجی داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی صورت گرفت. بر این اساس برای اجرای این مدل در پژوهش حاضر، ابتدا با در نظر گرفتن دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۱۵)، داده‌های مورد نیاز مدل، شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعت آفتابی برای ایستگاه سینوپتیک بندرعباس، وارد مدل شد. پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله کالیبره کردن به پایان رسید. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) که

منطقه مورد مطالعه: شهر بندرعباس بین مختصات جغرافیایی ۱۹ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۲۴ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی و ۳۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده و در مرکز استان هرمزگان قرار گرفته است، ارتفاع این منطقه از سطح دریا ۹ متر می‌باشد (شکل ۱). بندرعباس دارای آب و هوای گرم و مرطوب است. میانگین دمای سالانه آن ۲۷ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دمای آن در مرداد ماه ۳۹ درجه و حداقل دما در دی ماه ۱۳ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. متوسط بارندگی سالانه ۱۵۶/۵ میلی‌متر و میانگین رطوبت نسبی سالانه آن ۶۷/۵۷ درصد است (Meteorologica Administration, 2019).

داده‌ها: در این تحقیق از دو گروه داده‌های اقلیمی (دما، بارندگی، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی) ایستگاه سینوپتیک بندرعباس طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۵ و داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد. داده‌های اقلیمی از اداره هواشناسی استان هرمزگان اخذ شد. **روش تحقیق:** در پژوهش حاضر برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی از مدل‌های گردش عمومی جو (MIP-ESM-MR, MIROC5, HadGEM2-ES) استفاده شده است. این مدل‌ها به علت توانایی بالا در مطالعات بکار گرفته شده است و دارای

جدول ۱- مشخصات سناریوهای مورد استفاده در این پژوهش.

سناریو	واداشت تابشی	غلظت کربن دیاکسید (ppm)	آنومالی دما (°C)	خط سیر
RCP8.5	۸/۵ در سال ۲۱۰۰	≥ ۱۳۷۰	۴.۹	افزایشی
RCP4.5	۴/۵ پس از سال ۲۱۰۰	~ ۶۵۰	۲.۴	ثبیت بدون جهش

جدول ۲- مشخصات مدل‌های گردش عمومی مورد استفاده در این پژوهش.

مدل	مؤسسه	کشور	قدرت تفکیک مکانی (درجه)
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	آمریکا	۱/۱۲۱۵×۱/۱۲۱۵
HadGEM2-ES	MOHC, Met Office Hadley Center	انگلیس	۲×۲/۵
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology	آلمان	۱/۸۶۵×۱/۸۷۵
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute, Japan	ژاپن	۱/۲۵×۱/۷۸۵

رابطه (۴)

$$t = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

در رابطه ۴، n اندازه نمونه، S^2 واریانس نمونه و \bar{X} میانگین نمونه و زیروندهای ۱ و ۲ معرف نمونه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده است. نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG6 برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی بررسی شد. با توجه به مقادیر بالای ضریب تعیین و مقادیر پایین شاخص‌های خط‌سنجی محاسبه شده در جدول ۳، این مدل برای ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های شبیه‌سازی شده مدل‌های گردش عمومی جو (HadGEM2-ES، MIROC5، MPI-ESM-MR، GFDL-CM) اجرا شد و بدین ترتیب مقادیر روزانه متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه تولید شد. در جدول‌های ۱ و ۲ خصوصیات سناریوها و مدل‌های مورد استفاده نشان داده شده است (IPCC, 2014).

نتایج

رابطه‌های آن‌ها در ادامه آمده است (رابطه‌های ۱-۳) اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه شد (Parsafar and Marofi, 2011). پس از ارزیابی دقت مدل جهت بررسی تغییر در میانگین داده‌های بارش و دما در دوره فعلی و مقادیر شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای فوق از آزمون t استیودنت استفاده شد. آنالیزهای آماری در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶،۰ انجام شد (رابطه ۴).

رابطه (۱)

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

رابطه (۲)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n}$$

رابطه (۳)

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}}$$

که X_i و Y_i به ترتیب آمین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی شده مدل؛ X و Y میانگین کل داده‌های در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی هستند.

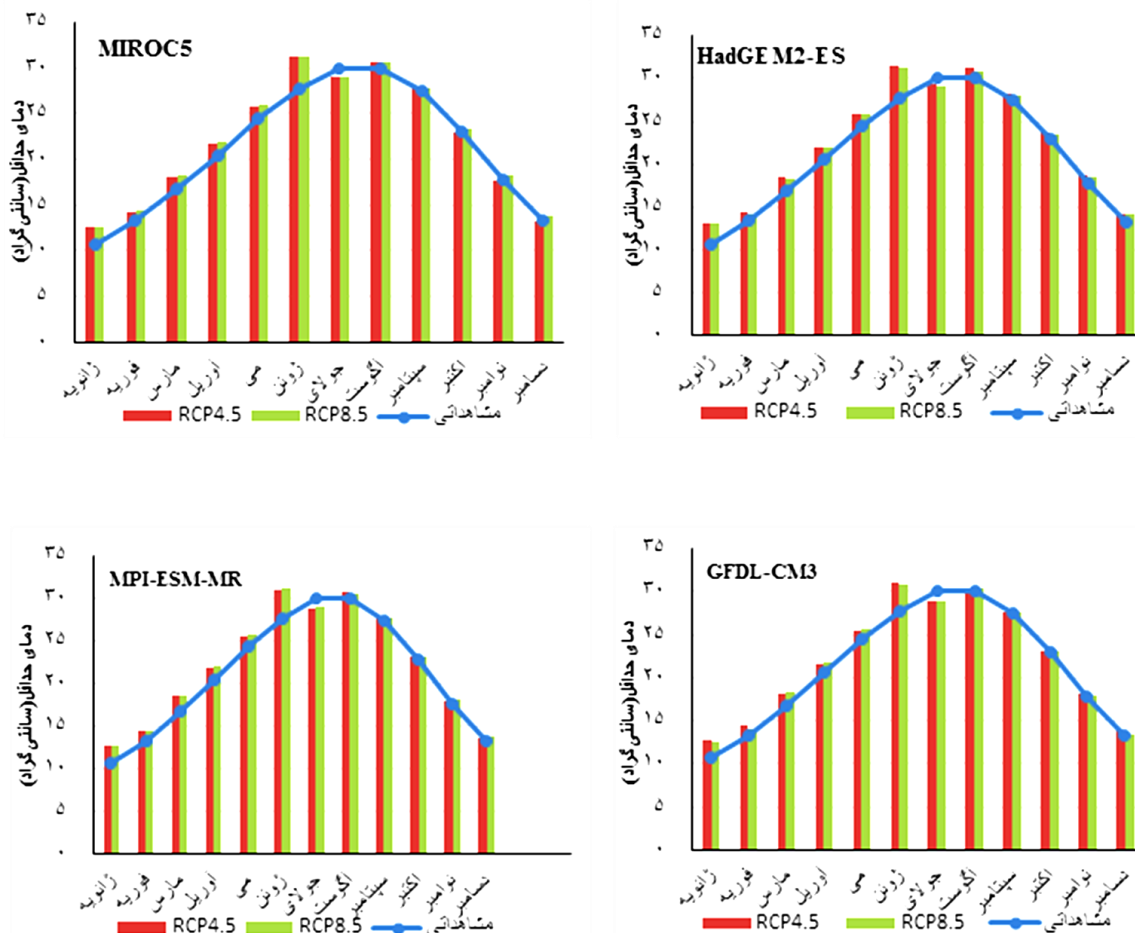
جدول ۳- مقادیر آماره‌های مدل‌سازی شده توسط مدل در سال پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱).

متغیر	آزمون	GFDL-CM3	MPI-ESM-MR	HadGEM2-ES	MIROC5
بارش	R^2	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۵۹	۰/۶۲
	RMSE	۱/۶۹	۱/۱	۲/۳	۲/۱
	MAE	۲/۶	۲/۱۲	۵/۸۶	۴/۹۶
دمای کمینه	R^2	۰/۹۲	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۹۸
	RMSE	۰/۲۵	۱/۲	۰/۸۳	۰/۱۵
	MAE	۰/۲۸	۱/۱	۲/۸۲	۰/۰۱۷
دمای بیشینه	R^2	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۸۸
	RMSE	۰/۵	۱/۲	۰/۹	۱/۳
	MAE	۰/۰۲۱	۲/۲۸	۲/۳۱	۱/۱۸

MIROC5 و سناریوی RCP4.5 (درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. بیشترین میزان کاهش دمای حداقل در مدل GFDL-CM3 و تحت سناریوی RCP8.5 (۱/۲۲- درجه سانتی‌گراد) رخ داده و کمترین کاهش دمای حداقل در مدل MIROC5 و سناریوی RCP4.5 (۰/۰۵- درجه سانتی‌گراد) دیده شد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که دمای حداقل ماهانه در همه موارد به‌جز موارد محدود افزایش خواهد داشت. همچنین دمای حداقل سالانه برای تمام مدل‌ها و سناریوها روند افزایشی متوسط (۱ درجه سانتی‌گراد) را نشان می‌دهد. تغییرات فصلی دمای حداقل نیز نشان دهنده روند افزایشی در دو فصل بهار و زمستان در مدل‌ها و سناریوها مورد مطالعه می‌باشد و شدت افزایشی دما برای هر دو سناریو در کل تقریباً مشابه بوده است. بر اساس شکل ۳، که پیش‌بینی دمای حداکثر ماهانه مدل‌های (MIROC5، HadGEM2-ES، MPI-ESM-MR و GFDL-CM3) تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 را در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نشان می‌دهد، مدل‌ها پیش‌بینی سیر افزایشی و کاهش برای دمای حداکثر ماهانه را نشان دادند. در اکثر ماه‌ها افزایش دما پیش‌بینی شد به‌جز موارد محدودی همچون ماه اکتبر و سپتامبر در مدل GFDL-CM3 برای هر دو سناریو و مدل MPI-ESM-MR سناریو RCP8.5 در ماه اکتبر و همچنین مدل MIROC5 سناریو RCP4.5 در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر که کاهش دمای حداکثر را پیش‌بینی کردند. بالاترین میزان افزایش دمای

ارزیابی مدل‌ها: جدول ۳، نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده مدل و داده‌های واقعی دوره پایه را نشان می‌دهد. براساس نتایج اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی آن‌ها وجود ندارد. نتایج ارزیابی نشان داد بیشترین ضریب همبستگی مربوط به دمای کمینه مدل‌های GFDL-CM3 (۰/۹۲)، MIROC5 (۰/۹۸) و دمای بیشینه مدل GFDL-CM3 (۰/۹۵) است. بیشترین همبستگی در دمای کمینه و کمترین در بارش دیده شد. به‌طور کلی نتایج آزمون‌های آماری نشان دادند که مدل LARS-WG6 قابلیت خوبی در شبیه‌سازی داده‌های واقعی ایستگاه تحت مطالعه را دارد.

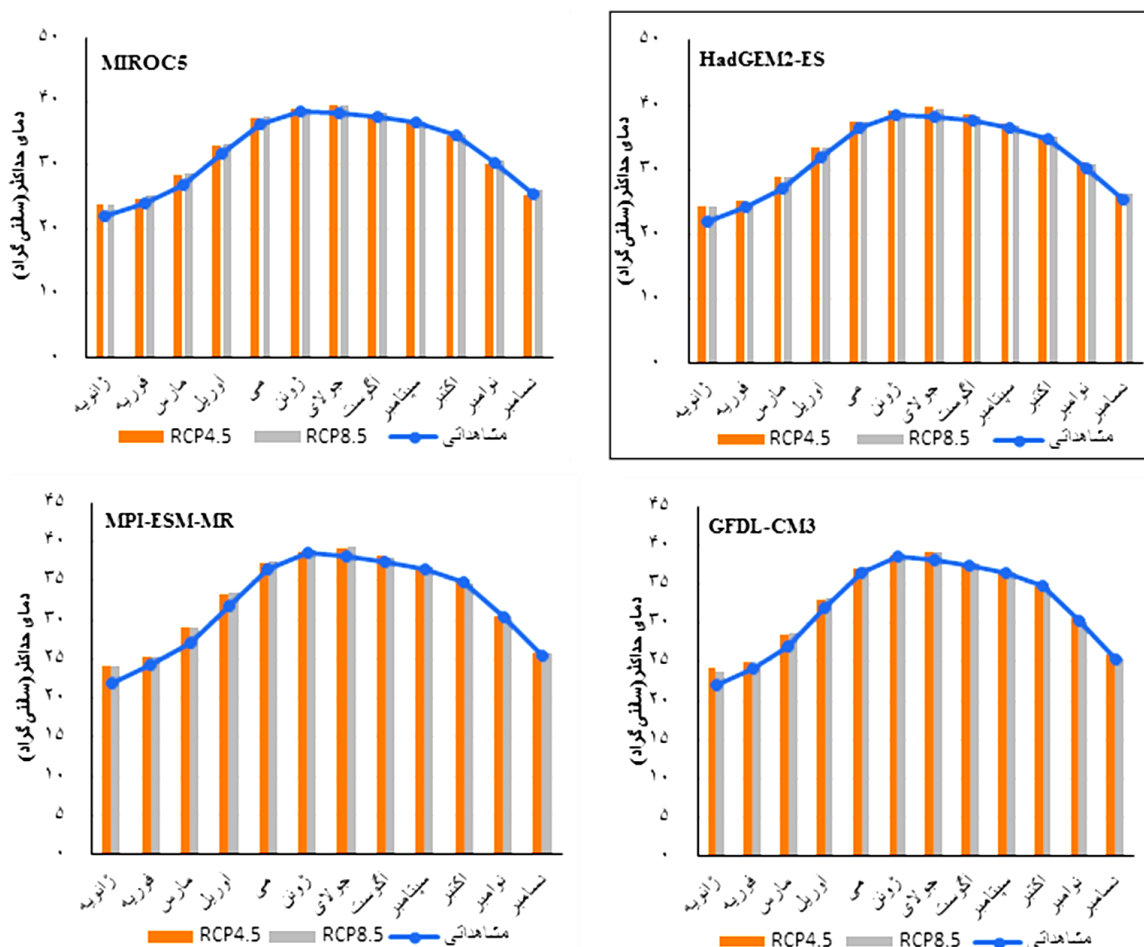
نتایج پیش‌بینی دما و بارش: دمای حداقل پیش‌بینی شده مدل‌های (MIROC5، HadGEM2-ES، MPI-ESM-MR و GFDL-CM3) برای دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۰ تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در شکل ۲ ارائه شده است. پیش‌بینی ماهانه دمای حداقل برای سال‌های مورد مطالعه سیر افزایشی و کاهش را در مدل‌های مختلف نشان می‌دهد. در چهار مدل و دو سناریو مورد مطالعه در تمام ماه‌های سال افزایش دمای حداقل مشاهده شد به‌جز ماه نوامبر در مدل MIROC5 تحت سناریوی RCP4.5 و ماه جولای که در همه مدل‌ها و سناریوها کاهش را نشان می‌دهند. بالاترین میزان افزایش دمای حداقل در ماه ژوئن، مدل HadGEM2-ES و تحت سناریوی RCP4.5 (۳/۶۵ درجه سانتی‌گراد) و پایین‌ترین افزایش در ماه دسامبر، مدل



شکل ۲- دمای حداقل پیش‌بینی شده توسط مدل‌های (MIROC5، HadGEM2-ES، MPI-ESM-MR، GFDL-CM3) تحت دو سناریوی انتشار (RCP4.5 و RCP8.5).

افزایش دما برای هر دو سناریو در کل مشابه است. پیش‌بینی میانگین بارش سالانه مدل‌های (MIROC5، HadGEM2-ES، MPI-ESM-MR و GFDL-CM3) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۰ روند افزایشی را نشان داد، به جز مدل MPI-ESM-MR در ماه فوریه برای دو سناریو و مدل HadGEM2-ES در فوریه تحت دو سناریو و مارس و دسامبر سناریوی RCP4.5 همچنین مدل MIROC5 سناریوی RCP8.5 و مدل GFDL-CM3 در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر سناریوی RCP8.5 که روند کاهشی را نشان داد. بیشترین افزایش بارش را مدل GFDL-CM3 سناریوی RCP4.5 (۲۵/۸۲ درصد) و کمترین افزایش را در مدل MIROC5 سناریوی RCP8.5 (۰/۵ درصد) در ماه مارس پیش‌بینی کرده است. بیشترین کاهش بارش در مدل

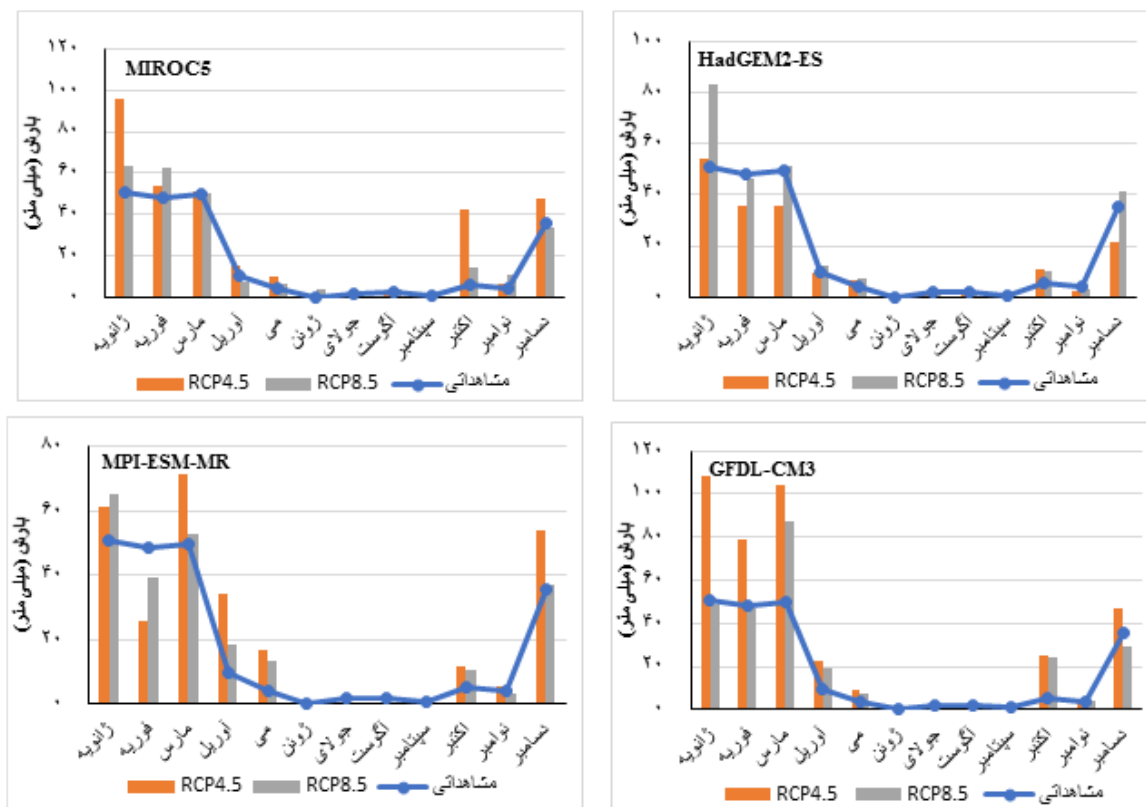
حداکثر در ژانویه مدل HadGEM2-ES و تحت سناریوی RCP4.5 (۲/۴۸ درجه سانتی‌گراد) و پایین‌ترین افزایش در مدل GFDL-CM3 و سناریوی RCP8.5 مشاهده شد. بیشترین میزان کاهش در دمای حداکثر تحت سناریوی RCP8.5 (۰/۲۱- درجه سانتی‌گراد) و مدل GFDL-CM3 در اکتبر پیش‌بینی شد، و حداقل کاهش در دمای حداکثر سناریوی RCP8.5 و مدل GFDL-CM3 در سپتامبر اتفاق افتاده است. در آخر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دمای حداکثر ماهانه در همه موارد به جز موارد محدود افزایش می‌یابد. دمای حداکثر سالانه نیز برای تمام مدل‌ها و سناریوها در دوره زمانی مورد بررسی به‌طور متوسط سیر افزایشی (۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد) را نشان می‌دهند. تغییرات فصلی دمای حداکثر نشان‌دهنده روند افزایشی در فصل‌های بهار، تابستان و زمستان در مدل و سناریو‌ها عنوان شده و شدت



شکل ۳- دمای حداکثر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های (MIROC5، HadGEM2-ES، MPI-ESM-MR، GFDL-CM3) تحت دو سناریوی انتشار (RCP4.5 و RCP8.5).

RCP8.5 و مدل‌های HadGEM2-ES و MPI-ESM-MR در هر دو سناریوی مورد مطالعه و بارش در مدل‌های MIROC5، MPI-ESM-MR و GFDL-CM3 سناریوی RCP4.5 نیز سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵ را داشتند. پس فرض برابری میانگین به احتمال ۹۵ درصد رد می‌شود و تغییر اقلیم بر دما و بارش بندرعباس در مدل‌ها و سناریوی ذکر شده با سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵ در آینده تأثیر دارد. بقیه موارد به دلیل این که سطح معنی‌داری (۹۵ درصد) بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است، فرض صفر تأیید می‌شود و تغییر اقلیم در متغیرهای دما و بارش آینده با توجه به سناریوهای مختلف تغییر نمی‌کند. بیشترین سطح معنی‌داری به ترتیب در پیش‌بینی دمای حداکثر، بارش و سپس دمای حداقل دیده شد. بنابراین با توجه به میانگین درازمدت متغیرهای مورد مطالعه طی دوره مشاهداتی و آینده

MPI-ESM-MR سناریوی RCP4.5 (۱۰/۸۱ درصد) ماه فوریه و کمترین کاهش نیز برای مدل MIROC5 سناریوی RCP8.5 (۰/۷ درصد) در دسامبر پیش‌بینی شده است. پیش‌بینی بارش سالانه نیز نشان داد در سال‌های آتی روند بارش افزایشی بوده و بارش در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان نیز افزایشی است که این نتیجه در تمام مدل و سناریوها دیده شد. به طور کلی، سناریوی RCP4.5 افزایش بارش بیشتری را برای آینده پیش‌بینی می‌کند (شکل ۴). جدول ۴ آزمون t با اطمینان ۹۵ درصد و نیز سطح معنی‌داری تفاوت دمای حداقل، حداکثر و میزان بارش ماهانه دوره مشاهداتی با آینده را نشان می‌دهد. در دمای حداقل سطح معنی‌داری (۹۵ درصد) کوچک‌تر از ۰/۰۵ در مدل HadGEM2-ES هر دو سناریوی (RCP8.5 و RCP4.5) اتفاق افتاده است. دمای حداکثر مدل MIROC5 سناریوی



شکل ۴- بارش پیش‌بینی شده توسط مدل‌های (MIROC5، HadGEM2-ES، MPI-ESM-MR، GFDL-CM3) تحت دو سناریوی انتشار (RCP4.5 و RCP8.5).

تحت شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. دمای حداقل، حداکثر و میزان بارش با استفاده از خروجی چهار مدل گردش عمومی جو (MIROC5، HadGEM2-ES، MPI-ESM-MR، GFDL-CM3) تحت دو سناریوی انتشار (RCP8.5 و RCP4.5) با روش ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG6 در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰ پیش‌بینی شدند. نتایج ارزیابی مدل به وسیله آماره‌های ضریب همبستگی (R^2) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) نشان دادند که نرم‌افزار LARS-WG6 ابزاری مفید جهت تولید مجدد بارش و دما برای آینده می‌باشد.

پیش‌بینی‌ها حداکثر افزایش دمای حداقل و حداکثر را در مدل HadGEM2-ES سناریوی RCP4.5 نشان دادند که به ترتیب در محدوده ۳/۶۵ و ۲/۴۸ درجه سانتی‌گراد قرار داشتند. مدل‌های MIROC5 و MPI-ESM-MR بیشترین شدت را در سناریوی RCP8.5 و مدل‌های HadGEM2-ES و GFDL-CM3 در

که میزان کاهش بارش و افزایش دما را نشان می‌دهد، در مواردی که سطح معنی‌داری کوچک‌تر از ۰/۰۵ باشد تاثیر تغییر اقلیم تأیید و در سایر موارد این فرض رد می‌شود و ارتباط معنی‌داری بین این موارد و متغیرهای مذکور وجود ندارد.

بحث و نتیجه گیری

به‌علت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای انتظار می‌رود پدیده تغییر اقلیم در سال‌های آینده رخ دهد. وقوع پدیده‌هایی از قبیل افزایش یا کاهش ناگهانی دما و بارندگی طی یک یا چند سال این گمان را ایجاد می‌کند که وقوع چنین رفتاری را می‌توان بر اثر تغییر اقلیم در منطقه تفسیر نمود. همچنین بررسی‌های طولانی مدت نشان می‌دهد که تنها بعضی از این موارد بر اثر تغییر اقلیم بوده و بسیاری از رفتارهای طبیعی، ناشی از تأثیر انسان بر آن‌ها می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه برآورد تغییر در میزان بارش و دمای بندرعباس

جدول ۴- محاسبه سطح معنی‌داری تفاوت دمای حداقل، حداکثر و میزان بارش ماهانه حوضه‌های منتخب کارون در دوره مشاهداتی و سناریوهای مورد مطالعه.

Sig (2- tailed)	df	t	فاصله اطمینان ۹۵ درصد		مقدار خطا	انحراف معیار	میانگین	سناریو	مدل تغییر اقلیم	متغیر
			بالا	پایین						
۰/۰۶۹	۲۲	-۱/۹۱	-۰/۴۱	-۱۰/۱۹	۲/۵۵	۶/۸۹	۲۲/۱۱	RCP4.5	MIROC5	دما حداقل
۰/۰۵۶	۲۲	-۲/۰۲	-۰/۱۵	-۱۰/۱۵	۲/۵۱	۶/۷۳	۲۲/۲۹	RCP8.5		
۰/۰۴۵	۲۱/۲۲	-۲/۰۱	-۰/۱۲	-۱۰/۵۹	۲/۵۲	۶/۷۴	۲۲/۵۸	RCP4.5	HadGEM 2-ES	
۰/۰۵۰	۲۱/۲۶	-۲/۰۸	-۰/۰۱	-۱۰/۴۴	۲/۵۱	۶/۶۹	۲۲/۴۵	RCP8.5		
۰/۰۵۵	۲۲	-۲/۰۳	-۰/۱۲	-۱۰/۲۸	۲/۵۰	۶/۶۸	۲۲/۳۰	RCP4.5	MPI- ESM-MR	
۰/۰۵۴	۲۲	-۲/۰۳	-۰/۰۹	-۱۰/۳۰	۲/۵۰	۶/۶۷	۲۲/۳۲	RCP8.5		
۰/۰۶۲	۲۲	-۱/۹۶	-۰/۲۶	-۱۰/۰۶	۲/۴۸	۶/۵۹	۲۲/۱۲	RCP4.5	GFDL- CM3	
۰/۰۷۰	۲۲	-۱/۹۰	-۰/۴۲	-۱۰/۰۲	۲/۵۱	۶/۷۲	۲۲/۰۲	RCP8.5		
۰/۰۵۹	۲۲	-۱/۹۸	-۰/۱۹	-۹/۲۳	۲/۲۷	۵/۸۴	۳۲/۵۸	RCP4.5	MIROC5	
۰/۰۴۳	۲۱/۸۶	-۱/۱۴	-۰/۱۶	-۹/۴۲	۲/۲۳	۵/۶۷	۳۲/۸۶	RCP8.5		
۰/۰۳۷	۲۱/۸۴	-۲/۲۲	-۰/۳۴	-۹/۶۲	۲/۲۳	۵/۷۰	۳۳/۰۵	RCP4.5	HadGEM 2-ES	
۰/۰۴۱	۲۱/۸۶	-۲/۱۷	-۰/۲۱	-۹/۴۸	۲/۲۳	۵/۶۷	۳۲/۹۲	RCP8.5		
۰/۰۴۶	۲۱/۸۹	-۲/۱۱	-۰/۰۹	-۹/۳۱	۲/۲۲	۵/۶۳	۳۲/۷۷	RCP4.5	MPI- ESM-MR	
۰/۰۴۵	۲۱/۸۹	-۲/۱۲	-۰/۱۱	-۹/۳۳	۲/۲۳	۵/۶۳	۳۲/۷۹	RCP8.5		
۰/۰۵۳	۲۱/۹۲	-۲/۰۴	-۰/۰۶	-۹/۱۰	۲/۲۰	۵/۵۶	۳۲/۵۹	RCP4.5	GFDL- CM3	
۰/۰۶۱	۲۲	-۱/۹۷	-۰/۲۱	-۹/۰۷	۲/۲۳	۵/۷۰	۳۲/۴۹	RCP8.5		
۰/۰۳۸	۱۹/۶۴	-۲/۲۲	-۱/۴۹	-۴۶/۷۰	۱۰/۸۲	۳۰/۷۶	۲۶/۷۴	RCP4.5	MIROC5	
۰/۰۵۶	۲۲	-۲/۱۷	-۰/۵۳	-۳۸/۳۰	۹/۳۶	۲۴/۳۴	۲۱/۵۳	RCP8.5		
۰/۱۵۲	۲۲	-۱/۴۸	۴/۷۵	-۲۸/۷۵	۸/۰۷	۱۷/۹۹	۱۴/۶۴	RCP4.5	HadGEM 2-ES	
۰/۰۷۷	۲۲	-۱/۸۵	۲/۲۲	-۳۹/۴۳	۱۰	۲۷/۴۱	۲۱/۲۴	RCP8.5		
۰/۰۴۴	۲۱/۲۶	-۲/۱۴	-۰/۶۳	-۴۰/۸۷	۹/۷۰	۲۵/۸۸	۲۳/۴۰	RCP4.5	MPI- ESM-MR	
۰/۰۶۶	۲۲	-۱/۹۳	۱/۲۵	-۳۶/۲۱	۹	۲۲/۷۹	۲۰/۲۱	RCP8.5		
۰/۰۳۶	۲۲	-۲/۲۷	-۲/۷۴	-۵۸/۵۸	۱۳/۴۶	۴۱/۴۲	۳۱/۳۳	RCP4.5	GFDL- CM3	
۰/۰۶۰	۱۶/۴۹	-۱/۹۶	۱/۰۵	-۴۰/۲۱	۹/۹۴	۲۶/۹۹	۲۲/۲۲	RCP8.5		

سناریوی RCP4.5 نشان می‌دهد. بنابراین بندرعباس در سال‌های آتی با افزایش دما روبرو خواهد بود که این موضوع با مطالعه‌های قبلی که افزایش دما را پیش بینی کردند مطابقت دارد (Babaeian et al., 2012; Hejazizadeh et al., 2012; Akhavan et al., 2016; and Kouhi, 2012; Mehrazar et al., 2018).

نتایج پیش‌بینی بارش در چهار مدل گردش عمومی دارای نتایج متفاوتی بودند. بارش ماهانه برای برخی از مدل‌ها افزایشی و برخی کاهش‌ی بود. به‌طور کلی در بیشتر موارد مدل‌ها افزایش بارش را پیش‌بینی کردند. بیشترین افزایش بارش را مدل GFDL-CM3 سناریوی RCP4.5 (۲۵/۸۲ درصد) در ماه مارس و کمترین افزایش را در مدل

سناریوی RCP4.5 برای پیش‌بینی دمای حداقل و حداکثر داشتند. با اینکه به‌طور کلی دمای حداکثر و حداقل سالانه در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه افزایش داشته ولی تفاوت بین مدل‌ها و سناریوها کم بود. به‌طور متوسط دمای حداقل و حداکثر سالانه پیش‌بینی شده به‌ترتیب با افزایش ۱ و ۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد روبرو خواهد بود. همچنین تغییرات فصلی دما نشان دهنده روند افزایشی دمای حداقل برای فصل‌های بهار و زمستان و دمای حداکثر در فصول بهار، تابستان و زمستان می‌باشد. مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده دمای حداقل و حداکثر نشان داد سناریوی RCP8.5 گرمایش نسبتاً یکسانی را نسبت به

مدل‌های MIROC5، MPI-ESM-MR و GFDL-CM3 سناریوی RCP4.5 محاسبه شد. در نتیجه تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش بندرعباس در مدل‌ها و سناریوی عنوان شده با سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید می‌شود.

نتایج حاصل از پیش‌بینی دما و بارش بندرعباس نشان‌دهنده افزایش این دو متغیر طی سال‌های آتی می‌باشد که این امر تأثیر گرمایش جهانی بر این منطقه در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۴۰ را نشان می‌دهد. افزایش دما و بارش می‌تواند پیامدهای مخربی را در بخش‌های مختلف منطقه همچون کشاورزی، گردشگری، آب، محیط‌زیست و بهداشت در پی داشته باشد. وقوع رویدادهایی مانند تنش‌های گرمایی و سیل‌های مخرب، آسیب به گیاهان و جانوران، شیوع بیماری‌های جدید، کاهش بازدید گردشگران و همچنین آسیب به جاذبه‌های گردشگری (جنگل‌های حرا، گاوهای دریایی و صخره‌های مرجانی) منطقه از پیامدهایی است که در ۲۰ سال آینده بندرعباس با آن روبرو خواهد بود. که در نتیجه آن تخریب محیط‌زیست، مرگ انسان‌ها، جانوران و ضررهای اقتصادی و به‌دنبال آن آسیب‌های اجتماعی و روانی را در پی خواهد داشت. مدیران و مسئولان جهت حل مشکلات و کاهش تأثیرات منفی باید اقدامات لازم را به‌عمل آورند. بنابراین، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در حل مشکلات مرتبط با تغییر اقلیم مفید باشد. با توجه به نتایج این پژوهش، برنامه‌ریزان در بخش‌های مختلف می‌توانند راهکارهای لازم را برای سازگاری و کاهش پیامدهای تغییر اقلیم وضع نمایند.

MIROC5 سناریوی RCP8.5 (۰/۵ درصد) در ماه مارس پیش‌بینی کردند. بیشترین کاهش بارش در مدل MPI-ESM-MR سناریوی RCP4.5 (۱۰/۸۱ درصد) ماه فوریه و کمترین کاهش نیز برای مدل MIROC5 سناریوی RCP8.5 (۰/۷ درصد) در ماه دسامبر پیش‌بینی شده است. اگر به‌صورت سالانه میزان بارش را بررسی کنیم به‌جز مدل HadGEM2-ES سناریوی RCP4.5 در همه مدل‌ها و سناریوها افزایش بارش وجود دارد. حداکثر افزایش بارش سالانه در مدل GFDL-CM3 سناریوی RCP4.5 و حداقل افزایش در مدل MPI-ESM-MR سناریوی RCP8.5 به‌ترتیب ۸۸/۷۹ و ۱۴/۰۳ درصد می‌باشد. پیش‌بینی بارش فصلی نیز روند افزایشی را نشان می‌دهد که این افزایش بارش در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی، سناریوی RCP4.5 نسبت به سناریوی RCP8.5 افزایش بارش بیشتری را برای آینده پیش‌بینی می‌کند. بنا به پیش‌بینی مدل‌ها در سال‌های پیش‌رو بندرعباس با افزایش بارش روبرو است. این افزایش بارش با پژوهش‌های قبلی همخوانی دارد.

با توجه به نتایج مقایسه همبستگی متغیرها با استفاده از آزمون T استیودنت طی دوره مورد مطالعه سطح معنی‌داری (۹۵ درصد) کوچک‌تر از ۰/۰۵ در دمای حداقل مدل HadGEM2-ES هر دو سناریوی RCP4.5، RCP8.5 و دمای حداکثر مدل MIROC5 سناریوی RCP8.5 و مدل‌های HadGEM2-ES و MPI-ESM-MR سناریوی RCP4.5، RCP8.5 و در بارش

References

Abbaspour, C.K., Faramarzi, M., Seyed Ghasemi, S., Yong, H., 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Research* 45, 1-16.

Akhavan, S.M., Ghabaei, S., Mosaedi, A., 2016. Investigation of the effect of climate change on net irrigation requirement of main crops of Hamadan-Bahar Plain using LARS-WG downscaling model. *Water and Soil Conservation* 22(4), 25-46. (In Persian).

Anonymous. 1988. IPCC-DDC. <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>.

Anonymous. 2021. Hormozgan Meteorologica Administration. <http://www.hormozganmet.ir/fa.html?id=183>.

Ashraf, B., Mousavi Baygi, M., Kamali, G.A., Davari, K., 2011. Prediction of Seasonal Variations of Climatological Parameters over Next 20 Years by Using Statistical Downscaling Method of HADCM3 Data (Case Study: Khorasan Razavi Province).

- Water and Soil 25(4), 940-952. (In Persian).
- Babaeian, I., Kouhi, M., 2012. Agroclimatic Indices Assessment over Some Selected Weather Stations of Khorasan Razavi Province under Climate Change Scenarios. Water and Soil 26(4), 953-967. (In Persian).
- Benestad, RE., 2004. Empirical-Statistical downscaling in climate modeling EOS. Transactions American Geophysical Union 85(42), 417.
- Chang, H., Knight, C.G., Staneva, M.P., Kostov, D., 2002. Water resource impacts of climate change in southwestern Bulgaria. GeoJournal 57, 159-168.
- Dong, TY., Dong, WJ., Guo, Y., Chou, JM., Yang, SL., Tian, D., 2018. Future temperature changes over the critical Belt and Road region based on CMIP5 models. Advances in Climate Change Research 9(1), 57-65.
- Ferrise, R., Moriondo, M., Bindi, M., 2009. Climate change and projected impacts in agriculture: an example on Mediterranean Crops. Geophysical Research Abstracts 11, 2009-7229.
- Harmsen, E., Miller, N.L., Schlegel, N.J., Gonzalez, J.E., 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico. Agricultural Water Management 96, 1085-1095.
- Heydaritashkaboud, S., Mofidi, A., Heydaritashkaboud, A., 2019. Perspective of Rainfall Variations in Northwestern Iran using Climate Change Circulation Models under Climate Scenarios. Geography and Environmental Hazards Spring 8(29), 133-151. (In Persian).
- Hejazizadeh, Z., Fatahi, E., Massahbavani, AR., Nasserzadeh, MH., 2012. Consider impact of climate changes on floods by using the atmospheric circulation model (AOGCM). Geography 10(34), 5-24 (In Persian).
- IPCC. 2014. Climate change: impacts, adaptation, and vulnerability. Summaries, frequently asked questions, and cross-chapter boxes. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Mehrazar, A., Massah Bavani, A., Mashal, M., Rahimikhoob, H., 2018. Assessment of climate change impacts on agriculture of the Hashtgerd Plain with emphasis of AR5 models uncertainty. Irrigation Sciences and Engineering 41(3), 45-59. (In Persian).
- Modaresi, F., Araghinejad, Sh., Ebrahimi, K., Kholghi, M., 2010. Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin. Water and Soil 24(3), 476-48. (In Persian).
- Ouhamdouch, S., Bahir, M., 2017. Climate Change Impact on Future Rainfall and Temperature in Semi-arid Areas (Essaouira Basin, Morocco). Environ Process 4, 975-990.
- Parsafar, N., Marofi, S., 2011. Estimation of Soil Temperature from Air Temperature Using Regression Models Artificial Neural Network and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Case Study: Kermanshah Region). Water and Soil 21(3), 139 -152. (In Persian).
- Rodriguez Diaz, J.A., Weatherhead, J.W., Knox, E., Camacho., 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. Reg Environ Change 7, 149-159.
- Roy, K., Rahman, M., Kuman, U., 2009. Future climate change and moisture stress: Impact on crop agriculture in south-western Bangladesh. Climate Change and Development Perspective 1(1), 1-8.
- Sharma, A., Goyal, M.K., 2020. Assessment of the changes in precipitation and temperature in Teesta River basin in Indian Himalayan Region under climate change. Atmospheric Research 231, 104-670.
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., 2013. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Climate Change 1535.