

پیش‌یابی کمیت‌های دما و بارش در دوره آماری ۲۰۸۰-۲۰۲۱ در استان هرمزگان جهت استخراج خشکسالی و ریزمقیاس‌نمایی آن توسط نرم‌افزار LARS-WG

محمد روح‌الله نژاد^۱، وحید سلامتی هرمزی^۲، راحله رضائی^۳ و سکینه خان‌سالاری^{۴*}

۱. کارشناس، اداره هواشناسی استان هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲. رئیس اداره شبکه دیدبانی و هشدار جوی، اداره هواشناسی استان هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳. رئیس گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی اداره هواشناسی استان هرمزگان، بندرعباس، ایران

۴. استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۹/۳، پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۷/۱۲)

چکیده

در این پژوهش از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری به‌منظور پیش‌یابی و شبیه‌سازی کمیت‌های اقلیمی برای تعیین شاخص‌های خشکسالی اقلیم آینده استان هرمزگان با استفاده از پنج مدل گردش عمومی جو شامل مدل‌های HadGEM2-ES، CanESM2، MPI-ESM-MR و GFDL-CM3 با سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 قابل‌دسترس در نرم‌افزار LARS-WG6 در سه دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ استفاده شد. قابلیت ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از شاخص‌های ضریب تعیین، میانگین مربعات خطا (MSE) و مجذور مربعات خطا (RMSE) ارزیابی شد. ارزیابی شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه توسط مدل‌های LARS-WG6، در کلاس ارزیابی بسیار مناسب تا مناسب و شبیه‌سازی بارش در کلاس ارزیابی مناسب تا متوسط طبقه‌بندی شدند. نتایج بررسی‌های تغییرات کمیت‌های اقلیمی با مدل‌های گزارش پنجم در تمام دوره‌ها حاکی از افزایش دماهای کمینه و بیشینه در تمام این مدل‌ها در سناریوهای مختلف اقلیمی در دوره‌های آینده است، و هرچه از دوره پایه فاصله بگیریم، میزان تغییرات دما افزایش می‌یابد. میزان افزایش در دمای کمینه در اکثر مدل‌ها نسبت به دمای بیشینه در طی ۲۰ تا ۸۰ سال آینده بیشتر بوده و بیانگر آن است که افزایش در دمای استان هرمزگان بیشتر متأثر از افزایش در دمای کمینه می‌باشد. اغلب مدل‌ها افزایش میزان بارندگی در هر سه دوره را نشان می‌دهند به گونه‌ای که میانگین تمام مدل‌ها در هر یک از سه سناریو افزایش بارندگی به‌ویژه در شرق و شمال استان هرمزگان (مناطق مرتفع) را پیش‌بینی می‌کنند. در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی استان هرمزگان بیشترین افزایش بارندگی در مدل CanESM2 با سناریو RCP8.5 و در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ پیش‌بینی شده است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، سناریوهای اقلیمی، نرم‌افزار LARS-WG6، استان هرمزگان، مدل گردش عمومی جو.

۱. مقدمه

به‌کارگیری یک سری نرم‌افزارهای آماری از جمله LARS-WG و یا مدل‌های دینامیکی برای ابعاد کوچک‌تر ریزمقیاس‌نمایی کرد. این پیش‌یابی‌های اقلیمی بر مبنای تغییرات انتشار و غلظت گازهای گلخانه‌ای و دیگر آلاینده‌های جوی (دی‌اکسید سولفور و...) با توجه به فرضیات اجتماعی و اقتصادی و گسترش و توسعه فناوری آینده می‌باشند. در پژوهش‌های اقلیمی، خشکسالی یکی از موضوعاتی است که به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است؛ زیرا خشکسالی به‌طور مستقیم جوامع را از طریق تغییرات در فراوانی یا قابلیت دسترسی به مواد غذایی، منابع آب و ذخایر انرژی تحت تأثیر قرار می‌دهد

علت اصلی تغییرات اقلیمی، انتشار بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای در جو است که خود باعث به‌وجود آمدن بسیاری از مشکلات کنونی مانند گرم‌شدن هوا، بالا آمدن سطح آب دریاها و رخداد رگبارهای سیل‌آسا در بعضی از مناطق زمین است. هر مدل اقلیمی تلاش می‌کند تا با استفاده از یکسری از سناریوهای تعریف‌شده، فرایندهایی که روی اقلیم تأثیر می‌گذارند را شبیه‌سازی کرده و بر اساس آن برای سال‌های آینده پیش‌بینی دهد. یک نقص موجود در مدل‌های مذکور آن است که این مدل‌ها برای مقیاس‌های خیلی بزرگ خروجی ایجاد می‌کنند. برای رفع این اشکال می‌توان خروجی این مدل‌ها را با

(کریمی و همکاران، ۱۳۹۰). در حال حاضر شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) به طور گسترده‌ای در امور تحقیقاتی و اجرایی در سراسر جهان، به منظور پایش خشکسالی استفاده می‌شود. مسئله خشکسالی به عنوان مهم‌ترین پدیده اقلیمی، از معضلات محیطی در اغلب کشورهای جهان و همچنین کشور ایران است. بخش‌های وسیعی از ایران از جمله بخش جنوبی به علت واقع شدن در قلمرو اقلیمی خشک و نیمه خشک، همواره با کمبود بارش و منابع آبی مواجه هستند. از مهم‌ترین ویژگی‌های این نواحی تغییرات شدید در میزان بارش و وقوع خشکسالی و ترسالی آن است. با توجه به این که پژوهش جامعی در این ناحیه از کشور انجام نگرفته است، هدف از این پژوهش مطالعه اثرات تغییر اقلیم دوره‌های آینده با استفاده از مدل LARS-WG در پیش‌یابی تغییرات روند دما و بارش و تعیین شاخص‌های خشکسالی اقلیم آینده در استان هرمزگان است.

در طی سال‌های گذشته پژوهش‌های زیادی برای پیش‌یابی و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی صورت گرفته است. این پژوهشگران از مدل‌های ریزمقیاس نمایی دینامیکی و یا آماری مختلف برای رسیدن به این هدف استفاده کرده‌اند. صبحی و همکاران (۱۳۹۸) جهت تحلیل روند متغیرهای اقلیمی گذشته و پیش‌بینی متغیرهای بارش، میانگین دمای کمینه و بیشینه، به ترتیب از آزمون نا پارامتریک من کندال و مدل گردش عمومی جو (HadCM3) استفاده کردند. به این منظور، داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 را با سه سناریو تغییر اقلیم و با استفاده از مدل LARS-WG در منطقه سمیرم ریزمقیاس کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که متغیرهای مورد بررسی در طول قرن ۲۱ عموماً با هر سه سناریو افزایش می‌یابند. همچنین رضانی‌پور (۱۳۹۷) در مطالعه خود به پیش‌بینی اثر تغییر آب‌وهوایی بر شاخص‌های اقلیم-کشاورزی و عملکرد برنج در مناطق شمال ایران پرداخت. در این پژوهش میزان عملکرد محصول برنج در بازه زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با

استفاده از داده‌های روزانه بارندگی، دمای کمینه و بیشینه و ساعات آفتابی مورد بررسی قرار گرفت. ایشان از مدل Lars-WG برای شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی و از معادلات رگرسیون چندمتغیره جهت پیش‌بینی میزان عملکرد برنج استفاده کرد. نتایج پژوهش نشان داد نوسانات هر یک از متغیرهای دمای بیشینه سپتامبر، کمینه ماه مه، ساعات آفتابی اوت و حداکثر دمای سپتامبر موجب نوسان در میزان عملکرد محصول برنج خواهد شد. تابان و همکاران (۱۳۹۷) پس از بررسی وضعیت بارش و رواناب مشاهداتی در حوضه دز علیا محدوده تغییرات بارش منطقه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ تحت عدم قطعیت‌های مختلف را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی بیشتر از عدم قطعیت سناریوهای انتشار و عدم قطعیت سناریوهای انتشار بیشتر از عدم قطعیت روش‌های ریزمقیاس نمایی است. محمدزاده و همکاران (۲۰۱۹) باهدف ارزیابی تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر منابع آب سطحی، از یک مدل رواناب باران مفهومی جفت شده با مدل LARS-WG در حوضه آبریز واقع در جنوب دریای خزر استفاده کردند. نتایج نشان داد که این مدل از قابلیت پیش‌بینی معقول در شبیه‌سازی کمینه و بیشینه دما در سطح ۹۹ درصد، بارندگی در سطح ۹۳ درصد و تابش در سطح ۹۷ درصد در سناریوهای مختلف با توافق با داده‌های مشاهده‌شده برخوردار است. بیات ورکشی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی بررسی تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از HadCM3 و LARS-WG را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر تبخیر و تعرق مرجع، که یکی از مهم‌ترین متغیرها در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی آبیاری است، بررسی شده است. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق مرجع تقریباً در کلیه ایستگاه‌های تحت سه سناریو افزایش می‌یابد. جهانگیر و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه خود به پیش‌بینی وضعیت خشکسالی برای دوره‌های آینده با استفاده از مدل LARS-WG در ایستگاه شیراز پرداختند. در این شبیه‌سازی ایشان از

ارزیابی قابلیت اطمینان و یا عدم قطعیت عملکرد محصول ذرت شبیه‌سازی شده برای آینده نزدیک در دهه ۲۰۵۰ در کوه ماکولو در زامبیا پرداختند. مدل مولد آب‌وهوایی (LARS-WG) برای تولید سناریوهای دوره پایه (۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰) و دوره آینده (۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹) برای دو سناریوی انتشار (RCP 4.5 و RCP 8.5) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین دما نسبت به دوره پایه ۲/۰۹ درجه سلسیوس (RCP 4.5) و ۲/۵۶ درجه سلسیوس (RCP 8.5) افزایش می‌یابد. با این حال، میزان بارندگی ۹/۸۴ درصد (RCP 4.5) و ۱۱/۸۲ درصد (RCP 8.5) کاهش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین پدیده‌های جوی که بر منابع آب هر منطقه تأثیر منفی می‌گذارد و محیط‌های وابسته به این منابع را تحت تأثیر قرار می‌دهد پدیده خشکسالی است. پدیده خشکسالی در استان هرمزگان به دلیل موقعیت خاصی که استان هرمزگان در زمینه‌های مختلف اعم از سرمایه‌گذاری‌های کلان اقتصادی نظیر پالایشگاه‌ها، اسکله‌های مهم تجاری، فعالیت‌های مهم و عظیم نفت و گاز و صنایع انرژی و همچنین ویژگی‌ها و موقعیت ویژه جغرافیایی، نظامی مانند نزدیکی به آبراه بین‌المللی تنگه هرمز، برنامه‌ریزی آمایش استان و حتی کشور را به شدت تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. بنابراین هدف از این پژوهش مطالعه اثرات تغییر اقلیم دوره‌های آتی در پیش‌بینی تغییرات روند دما و بارش و خشکسالی استان هرمزگان با استفاده از مدل LARS-WG می‌باشد.

۲. داده‌ها و روش پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

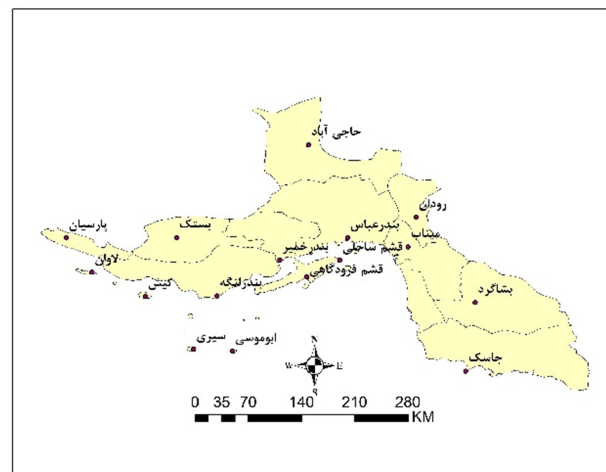
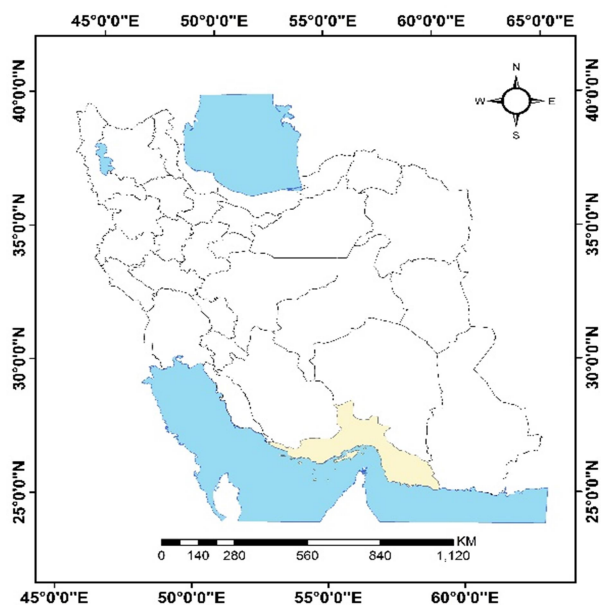
استان هرمزگان با وسعت ۶۸۴۷۵/۸ کیلومتر مربع، در جنوب ایران در محدوده جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی، و ۵۲ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. منطقه مورد بررسی شامل، ۱۶ ایستگاه هواشناسی همدیدی استان هرمزگان است که در

داده‌های مدل HADCM3 تحت دو سناریو استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش بوده، اما در شبیه‌سازی متغیر بارش نسبت به دیگر متغیرها خطای بیشتری را نشان داد.

والام و کیوین (۲۰۱۸) پیش‌بینی بارش و درجه حرارت آینده در مکان‌های دارای آب‌وهوای متنوع از طریق چندین طرح ریزمقیاس‌نمایی آماری بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه نشان داد که مناطقی که بارندگی شدید دارند با احتمال زیاد اختلاف بین پیش‌بینی‌ها در روش‌های مختلف مقیاس‌نمایی آماری را نشان می‌دهند. همچنین، واریانس محاسبه شده در پیش‌یابی کمیت‌های هواشناسی، عدم اطمینان حاصل از انتخاب ابزارهای ریزمقیاس‌نمایی و مدل‌های اقلیمی را نشان داد. این مطالعه می‌تواند به درک بهتر در مورد ویژگی‌های رویکردهای مختلف ریزمقیاس‌نمایی و عدم اطمینان کلی ریزمقیاس‌نمایی کمک کند. همچنین شا و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان برآورد تغییرات آب‌وهوایی آینده در مناطقی با آب‌وهوای سرد با مدل LARS-WG تحت سناریوهای CMIP5، به مطالعه‌ی یک رویکرد جدید برای استفاده از مدل مولد اقلیم (LARS-WG) با استفاده از سناریوهای انتشار پروژه فاز ۵ (CMIP5) پرداختند و هدف آنها از این آزمایش، کاربرد این مدل در مناطق سرد و ارزیابی واکنش دما و میزان بارندگی، با توجه به روند پیش‌بینی‌شده‌ی آب‌وهوای گرم‌تر در آینده بود. نتایج نشان داد که از سناریوهای CMIP5 می‌توان با موفقیت در یک مدل LARS-WG استفاده کرد و این مدل در شرایط آب‌وهوای سرد عملکرد خوبی دارد. شاگگا و همکاران (۲۰۱۹) در حوضه‌ای در تانزانیا با کاربست مدل LARS-WG میزان بارش در آینده را بررسی کردند. بر اساس نتایج این مطالعه پیش‌بینی می‌شود میزان بارندگی‌های آینده ۱۲ تا ۳۷ درصد در ماه آوریل، مه، ژوئن و ژوئیه کاهش و در ماه‌های باقی‌مانده ۵-۵۸ درصد افزایش یابد. چالز چیسانگا و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی

شکل ۱ مشخص شده‌اند. همچنین مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استان هرمزگان شامل میانگین‌های دمای

خشک، بیشینه و کمینه و میانگین بارندگی سالانه در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱. مشخصات کمیت‌های اقلیمی ایستگاه‌های همدیدی استان هرمزگان (از زمان تاسیس ایستگاه تا سال ۲۰۲۰).

ایستگاه	میانگین دمای بیشینه (درجه سلسیوس)	میانگین دمای کمینه (درجه سلسیوس)	میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)
جاسک	۲۹/۹	۲۴/۶	۱۱۷/۰
بشاگرد	۳۳/۳	۱۹/۴	۲۲۶/۷
رودان	۳۴/۹	۲۳/۰	۲۴۵/۷
میناب	۳۴/۰	۲۱/۱	۲۰۵/۴
بندرعباس	۳۲/۳	۲۱/۹	۱۶۶/۴
قشم ساحلی	۳۱/۵	۲۴/۴	۱۳۷/۹
قشم فرودگاهی	۳۲/۰	۲۲/۲	۱۳۰/۹
حاجی‌آباد	۳۱/۶	۱۴/۸	۱۹۸/۵
بندر خمیر	۳۴/۲	۲۳/۹	۱۳۹/۶
ابوموسی	۳۰/۶	۲۴/۷	۱۱۷/۷
بندرلنگه	۳۱/۳	۲۲/۴	۱۳۳/۲
سیری	۳۰/۵	۲۵/۲	۱۰۵/۹
بستک	۳۵/۴	۱۸/۹	۲۶۸/۵
کیش	۳۱/۴	۲۳/۲	۱۶۰/۴
لاوان	۳۱/۴	۲۳/۹	۱۵۶/۵
پارسیان	۳۴/۷	۲۱/۲	۲۰۴/۳

۲-۲. داده‌ها

در این پژوهش ابتدا داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، بارندگی و ساعت آفتابی ایستگاه‌های همدیدی استان هرمزگان برای بررسی تغییر اقلیم طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۱۹۹۲ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. سپس، شرط همگنی داده‌ها با روش کولموگروف-اسمیرنف در این ایستگاه‌ها بررسی شد. برای پیش‌یابی و بررسی بارش و خشکسالی استان هرمزگان طی دوره‌های آینده (دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) ۵ مدل گردش عمومی جو شامل مدل‌های HadGEM2-ES، CanESM2، MPI-ESM-MR، GFDL-CM3 و MIROC5 با سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 قابل‌دسترس در LARS-WG6 به کار گرفته شد که مراحل انجام ریزمقیاس‌نمایی در این پژوهش به شرح زیر است:

۲-۳. روش پژوهش

نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد، تحت عنوان «پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Phase)» شناخته شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (AR5 Assessment Report 5) از سناریوهای جدید RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. سناریوی انتشار RCP2.6 توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از مؤسسه

ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگرفته کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو 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. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجی کاهش یابند. سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند. سناریوی انتشار RCP6.0 توسط گروه مدل‌سازی AIM در مؤسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی شد. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند. همچنین بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این هنگام غلظت دی‌اکسیدکربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و مؤسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در مؤسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است. مطابق جدول ۲، در این تحقیق پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بر اساس ۳ سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 از ۴ سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام گرفته است.

جدول ۲. نمای کلی نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون

سناریو	واداشت تابشی (وات بر متر مکعب)	غلظت دی اکسیدکربن (قسمت در میلیون)	حالت
RCP2.6	حداکثر مقدار آن ۳ وات بر مترمربع و سپس کاهش می‌یابد	۹۰ ppm قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می‌یابد	خوش‌بینانه
RCP4.5	۵/۵ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۶۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	متوسط تا خوشبینانه
RCP6.0	۵/۶ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۸۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	متوسط تا بدبینانه
RCP8.5	بیشتر از ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	۱۳۷۰ ppm سال تا ۲۱۰۰	بدبینانه

میانگین، انحراف معیار آنها را مطابق رابطه ۲ تغییر می‌دهد (کریمی و نبی‌زاده، ۲۰۱۸).

$$F_{fut} = \frac{STD_{obs}}{STD_{base(GCM)}} * STD_{fut(GCM)} \quad (2)$$

همچنین، به منظور ارزیابی قابلیت این مدل از معیارهای آماری ضریب تعیین R^2 ، میانگین مربعات خطا (MSE)، مجذور مربعات خطا (RMSE) و انحراف مطلق متوسط (MAD) استفاده می‌شود (روابط ۳ تا ۶).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{t=1}^T (A_{obs,t} - \bar{A}_{obs}) * (F_{model,t} - \bar{F}_{model})}{[\sum_{t=1}^T (A_{obs,t} - \bar{A}_{obs})^2]^{0.5} * [\sum_{t=1}^T (F_{model,t} - \bar{F}_{model})^2]^{0.5}} \right)^2 \quad (3)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (5)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n (|A_t - F_t|)}{n} \quad (6)$$

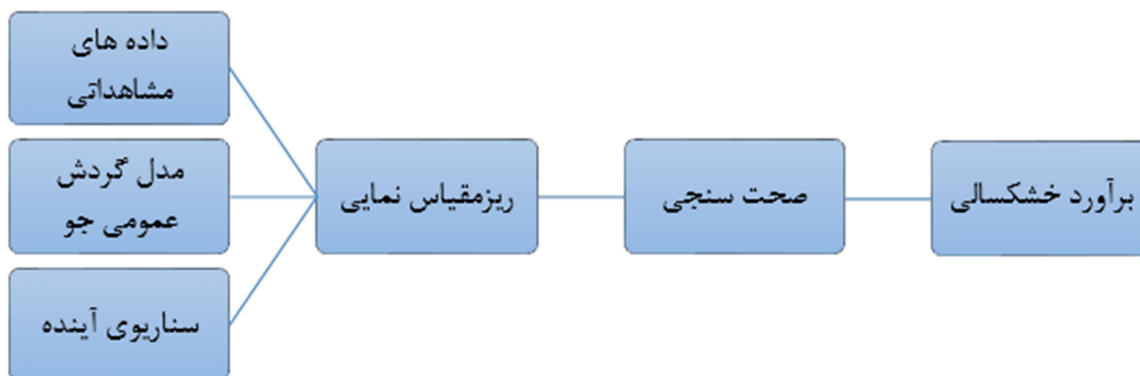
که در آن A_t مقادیر مشاهده شده، F_t مقادیر پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌ها هست. مراحل انجام این پژوهش در شکل ۲ به صورت خلاصه نشان داده شده است.

جدول ۳ مشخصات ۵ مدل گردش کلی جو به کار رفته در این پژوهش را نشان می‌دهد. این مشخصات شامل مؤسسه و کشور مسئول، نوع مدل و قدرت تفکیک افقی و قائم و تعداد ترازهای قائم مدل می‌باشد. اطلاعات کامل‌تر در مورد هر مدل در مرجع ارائه شده در جدول قابل بررسی و مطالعه است.

با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن مدل‌های گردش عمومی جو، یکی از راهکارهای فائق آمدن بر نقیصه فضایی کم این مدل‌ها، استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری است. از جمله این نرم‌افزارها LARS-WG است که برای ریزمقیاس نمایی از روش آماری استفاده می‌کند (بابایی و همکاران، ۲۰۱۴). این نرم‌افزار قادر است داده‌های بارش (میلی‌متر)، دمای کمینه و بیشینه (درجه سلسیوس) و تابش خورشیدی (مگاژول بر مترمربع در روز) را برای شرایط حاضر و آینده پیش‌بینی کند. مبنای آن برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی است. سری‌های فوریه، دما را تخمین می‌زنند. دماهای کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرایندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار دمای فصلی به کار می‌رود. مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیده‌بانی شده به دست می‌آیند، در تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های کمینه و بیشینه استفاده می‌شوند. سازوکار عمل به این صورت است که ابتدا با استفاده از تولید داده ماهانه که دربرگیرنده رفتار اقلیم پایه است، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق رابطه ۱ محاسبه می‌کند:

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{fut(GCM)} + F_{base(GCM)}) \quad (1)$$

که در آن، F_{fut} آینده F_{obs} گذشته است. سپس با حفظ



شکل ۲. مراحل ریزمقیاس‌سازی پارامتر بارش و دما در نرم‌افزار LARS-WG6 در بررسی روند خشکسالی استان هرمزگان در دوره‌های آتی.

جدول ۳. مشخصات ۵ مدل گردش کلی جو.

مدل	موسسه سازنده	نوع	تفکیک افقی (بر حسب درجه) و تعداد ترازها	مرجع
CanESM2	CCCMA, Canada	ESM	۲/۸۱×۲/۸۱ و ۳۵ تراز	آرورا و همکاران (۲۰۱۱)
HadGEM2-ES	MOHC, UK	ChemESM	۱/۸۷۵×۱/۲۵ و ۶۰ تراز	کالینز و همکاران (۲۰۱۱)
MPI-ESM-MR	MPI-M, Germany	ESM	۱/۸۷۵×۱/۸۷۵ و ۹۵ تراز	زانچتین و همکاران (۲۰۱۳)
GFDL-CM3	NOAA GFDL, USA	AOGCM	۲/۵×۲ و ۴۸ تراز	دائر و همکاران (۲۰۱۱)
MIROC5	MIROC, Japan	AOGCM	۱/۴۱×۱/۴۱ و ۴۰ تراز	واتانابه و همکاران (۲۰۱۰)

مقادیر جدول بیشترین ضریب تعیین و کمترین خطا به ترتیب مربوط به کمیت‌های دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش است. این مقادیر نشان می‌دهد که در دوره مذکور مقادیر شبیه‌سازی به داده‌های واقعی نزدیک بوده و کیفیت قابل قبولی دارد. کمیت‌های دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه‌های ابوموسی و بندرعباس با کمترین خطا و بیشترین همبستگی و همچنین کمیت بارش در ایستگاه‌های بندرلنگه و سیری با کمترین خطا ارزیابی شده‌اند.

۳-۲. کمیت‌های اقلیمی ایستگاه‌های استان هرمزگان حاصل از مدل در سناریوهای مختلف اقلیمی و مقایسه آن با دوره پایه (داده‌های مشاهداتی)

در جدول ۴، داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی مورد بررسی استان هرمزگان استخراج شده است. در بخش بعدی نتایج خروجی مدل‌های گزارش پنجم در دوره‌های مختلف ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۱-۲۰۶۱ با استفاده از سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در مقایسه با دوره پایه به تفکیک هر ایستگاه مورد مقایسه قرار گرفته است.

جهت تعیین شاخص خشکسالی از روش شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده می‌شود. شاخص بارش استاندارد شده از تقسیم اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین آن برای هر بازه زمانی بر انحراف معیار بارش به دست می‌آید (جوانمرد و آسیایی، ۱۳۸۲). به منظور تفسیر و بررسی نتایج حاصل از این محاسبه از جدول ۴ استفاده شده است. مقادیر مثبت بارندگی بالاتر از میانه و مقادیر منفی بارندگی پایین تر از میانه را نشان می‌دهد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. ارزیابی مدل‌های گزارش پنجم

در جدول ۵ نتایج ارزیابی خروجی نرم‌افزار LARS-WG در مقایسه با مقادیر دیدبانی شده ارائه شده است. بدین منظور با استفاده از آزمون‌های آماری میانگین مربعات خطا (MSE)، مجذور مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2) مقادیر اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ایستگاه‌های همدیدی استان هرمزگان از زمان تاسیس ایستگاه تا سال ۲۰۲۰ بررسی شد. با توجه به

جدول ۴. توصیف وضعیت خشکسالی و طبقات شاخص SPI (کمالی و همکاران، ۱۳۸۸).

توصیف خشکسالی	طبقات شاخص SPI
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی نرمال	-۰/۹۹ تا ۰/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
ترسالی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی بسیار شدید	۲ و بیشتر

جدول ۵. ارزیابی خروجی مدل LARS-WG در ایستگاه‌های استان هرمزگان در مقایسه با مقادیر دیدبانی.

ایستگاه	دمای پیشینه			دمای کمینه			بارش		
	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
جاسک	۰/۲	۰/۱	۰/۹۹۹	۰/۲	۰/۱	۰/۹۹۹	۴	۲/۴	۰/۸۹۳
بشاگرد	۰/۴	۰/۳	۰/۹۹۸	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۵/۵	۳/۴	۰/۸۷۲
رودان	۰/۳	۰/۲	۰/۹۹۹	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۷/۴	۴/۶	۰/۹۹۷
میناب	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۰/۱	۰/۲	۰/۹۹۹	۵/۵	۳/۹	۰/۹۳۳
بندر عباس	۰/۱	۰/۱	۱	۰/۱	۰/۱	۱	۴/۱	۲/۲	۰/۹۴۱
قشم ساحلی	۰/۲	۰/۱	۰/۹۹۹	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۴/۵	۲/۷	۰/۹۲۸
قشم فرودگاهی	۰/۱	۰/۱	۱	۰/۱	۰/۱	۰/۹۹۹	۳/۳	۱/۷	۰/۹۷۸
حاجی‌آباد	۰/۲	۰/۱	۱	۰/۳	۰/۲	۰/۹۹۹	۵/۷	۴/۲	۰/۸۸۵
بندر خمیر	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۶/۷	۴/۹	۰/۷۲۳
ابوموسی	۰/۲	۰/۱	۰/۹۹۹	۰/۱	۰/۱	۱	۴/۳	۳	۰/۸۸
بندر لنگه	۰/۲	۰/۱	۰/۹۹۹	۰/۲	۰/۱	۰/۹۹۹	۲/۴	۱/۶	۰/۹۶۶
سیری	۰/۱	۰/۱	۰/۹۹۹	۰/۱	۰/۱	۰/۹۹۹	۲/۸	۱/۵	۰/۹۵۸
بستک	۰/۴	۰/۳	۰/۹۹۸	۰/۳	۰/۲	۰/۹۹۹	۵/۸	۳/۸	۰/۹۶۲
کیش	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۰/۱	۰/۱	۰/۹۹۹	۳/۴	۲/۸	۰/۹۱۹
لاوان	۰/۲	۰/۱	۰/۹۹۹	۰/۱	۰/۱	۰/۹۹۹	۳/۹	۲/۵	۰/۹۵۴
پارسیان	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۰/۲	۰/۲	۰/۹۹۹	۴/۹	۲/۶	۰/۹۵۴

جدول ۶. داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های همدیدی مورد بررسی استان هرمزگان.

ایستگاه‌ها	میانگین دمای پیشینه مشاهداتی (درجه سلسیوس)	میانگین دمای کمینه مشاهداتی (درجه سلسیوس)	میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)
جاسک	۲۹/۹	۲۴/۶	۱۱۷/۰
بشاگرد	۳۳/۳	۱۹/۴	۲۲۶/۷
رودان	۳۴/۹	۲۳/۰	۲۴۵/۷
میناب	۳۴/۰	۲۱/۱	۲۰۵/۴
بندرعباس	۳۲/۳	۲۱/۹	۱۷۴/۲
قشم ساحلی	۳۱/۵	۲۴/۴	۱۳۷/۹
قشم فرودگاهی	۳۲/۰	۲۲/۲	۱۳۰/۹
حاجی‌آباد	۳۱/۶	۱۴/۸	۱۹۸/۵
بندر خمیر	۳۴/۲	۲۳/۹	۱۳۹/۶
ابوموسی	۳۰/۶	۲۴/۷	۱۱۷/۷
بندرلنگه	۳۱/۳	۲۲/۴	۱۳۳/۲
سیری	۳۰/۵	۲۵/۲	۱۰۵/۹
بستک	۳۵/۴	۱۸/۹	۲۶۸/۵
کیش	۳۱/۴	۲۳/۲	۱۶۰/۴
لاوان	۳۱/۴	۲۳/۹	۱۵۶/۵
پارسیان	۳۴/۷	۲۱/۲	۲۰۴/۳
میانگین استان	۳۲/۴	۲۲/۲	۱۷۰/۱

۸۰ سال آینده بیشتر بوده و بیانگر آن است که افزایش در دمای استان هرمزگان بیشتر متأثر از افزایش در دمای کمینه است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در ایستگاه-های هواشناسی استان هرمزگان به جز ایستگاه حاجی‌آباد و بندر خمیر، بیشترین افزایش بارندگی در مدل CanESM2 با سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ پیش‌بینی شده است. در ایستگاه حاجی‌آباد بیشترین افزایش بارندگی در مدل CanESM2 با سناریو RCP4.5 و سپس با سناریو RCP8.5 به‌دست آمده است. همچنین در ایستگاه بندر خمیر بیشترین افزایش بارندگی در مدل MIROC5 با سناریو RCP8.5 و سپس در مدل CanESM2 پیش‌بینی شده است. همچنین در بعضی از ایستگاه‌ها بعضی از مدل‌ها و سناریوها کاهش جزئی بارندگی را نشان می‌دهد به طوری که میانگین تغییرات بارش (نتایج جدول ۶) مقادیر مثبت را نشان می‌دهد. برای مثال مدل MPI-ESM-MRS با سناریو RCP4.5 در ایستگاه‌های بندرعباس، بندرلنگه، بشاگرد، جاسک، میناب، قشم فرودگاهی و قشم ساحلی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ کاهش بارندگی را نشان می‌دهد.

پس از شبیه‌سازی کمیت‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی استان هرمزگان توسط LARS-WG، به‌دلیل حجم زیاد اطلاعات در جدول ۷، تنها نتایج بررسی‌های میانگین تغییرات میانگین متغیرهای اقلیمی با مدل‌های گزارش پنجم طی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۱-۲۰۶۱ با سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه به تفکیک هر ایستگاه نشان داده شده است. بنابراین جزئیات بیشتر نتایج در ادامه بیان می‌شود.

نتایج بررسی‌های تغییرات کمیت‌های اقلیمی با مدل‌های گزارش پنجم در دوره‌های مورد پژوهش (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) حاکی از افزایش دماهای کمینه و بیشینه در سناریوهای مختلف اقلیمی مدل‌های مذکور در دوره‌های آینده است، لذا دمای از دوره پایه به سمت دوره‌های آتی افزایشی می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای بیشینه در غالب ایستگاه‌های استان هرمزگان، مربوط به مدل HadGEM2-ES با سناریو RCP8.5 و دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ می‌باشد. میزان افزایش در دمای کمینه در غالب مدل‌ها نسبت به دمای بیشینه سالانه در طی ۲۰ تا

جدول ۷. تغییرات کمیت‌های اقلیمی میانگین مدل‌های گزارش پنجم با سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه.

نام ایستگاه	دوره	میانگین اختلاف میانگین دمای بیشینه با دوره پایه	میانگین اختلاف میانگین دمای کمینه با دوره پایه	میانگین اختلاف میانگین بارش سالانه با دوره پایه
بندر جاسک	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۱/۱	۱/۱	۱۸/۹
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۱/۹	۲	۱۶/۸
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۲/۶	۲/۷	۱۲/۵
سردشت بشاگرد	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۰/۵	۰/۵	۴۱/۴
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۱/۴	۱/۴	۳۸/۷
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۲/۲	۲/۳	۳۸/۴
رودان	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۰/۸	۰/۹	۷۶/۵
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۱/۷	۱/۹	۷۳/۵
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۲/۷	۲/۸	۶۹/۵
میناب	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۱/۲	۱/۴	۵۵
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲/۱	۲/۳	۴۶/۴
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۳	۳/۲	۴۲/۹
بندرعباس	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۱/۶	۱/۸	۴۱/۳
	۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲/۵	۲/۷	۳۲/۵
	۲۰۸۰-۲۰۶۱	۳/۴	۳/۶	۳۰/۲

ادامه جدول ۷.

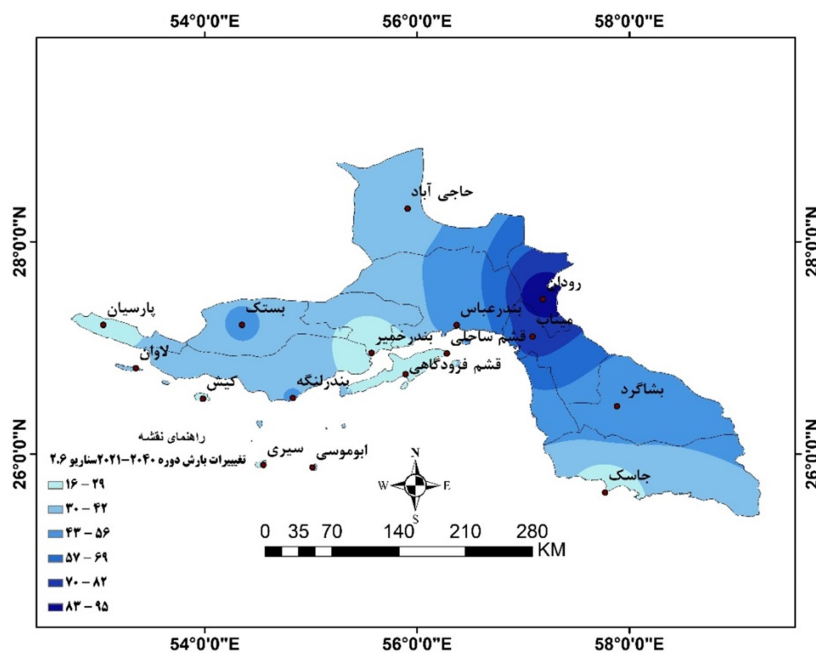
نام ایستگاه	دوره	میانگین اختلاف میانگین دمای پیشینه با دوره پایه	میانگین اختلاف میانگین دمای کمینه با دوره پایه	میانگین اختلاف میانگین بارش سالانه با دوره پایه
قسم ساحلی	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۰/۸	۰/۹	۱۷/۹
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۱/۷	۱/۹	۱۷/۹
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۶	۲/۸	۱۷/۸
قسم فرودگاهی	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۰/۹	۱/۱	۹/۶
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۱/۸	۲	۷/۸
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۷	۲/۹	۶/۵
حاجی آباد	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۰/۹	۱/۱	۲۶
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۱/۹	۲	۲۷/۸
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۹	۳	۲۳
بندر خمیر	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۰/۶	۰/۶	۱۶/۸
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۱/۷	۱/۸	۱۵/۱
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۴	۲/۵	۱۹/۳
ابوموسی	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۱/۲	۱/۳	۳۰/۴
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲	۲/۲	۲۷/۳
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۸	۳	۲۶
بندر لنگه	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۱/۶	۱/۷	۳۴/۳
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲/۴	۲/۵	۳۳/۱
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۳/۲	۳/۶	۲۸/۹
سیری	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۱/۲	۱/۳	۱۵/۴
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲	۲/۱	۱۴/۳
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۸	۳	۱۳
بستک	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۰/۵	۰/۵	۳۶/۸
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۱/۴	۱/۴	۴۶/۶
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۳	۲/۳	۴۵/۵
کیش	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۱/۳	۱/۴	۲۱/۵
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲/۱	۲/۲	۲۲/۸
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۳	۳	۱۷/۸
لاوان	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۰/۷	۰/۸	۲۸/۹
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۱/۶	۱/۶	۳۴/۵
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۴	۲/۴	۳۱/۴
پارسیان	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۰/۷	۰/۸	۱۸/۶
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۱/۵	۱/۶	۲۷/۲
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۴	۲/۴	۱۹/۳

دوره‌ها و سناریوها به تفکیک آورده شده است. مطابق سناریو اقلیمی خوش‌بینانه 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 (علوی‌نیا و زارعی، ۱۳۹۹). رای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی

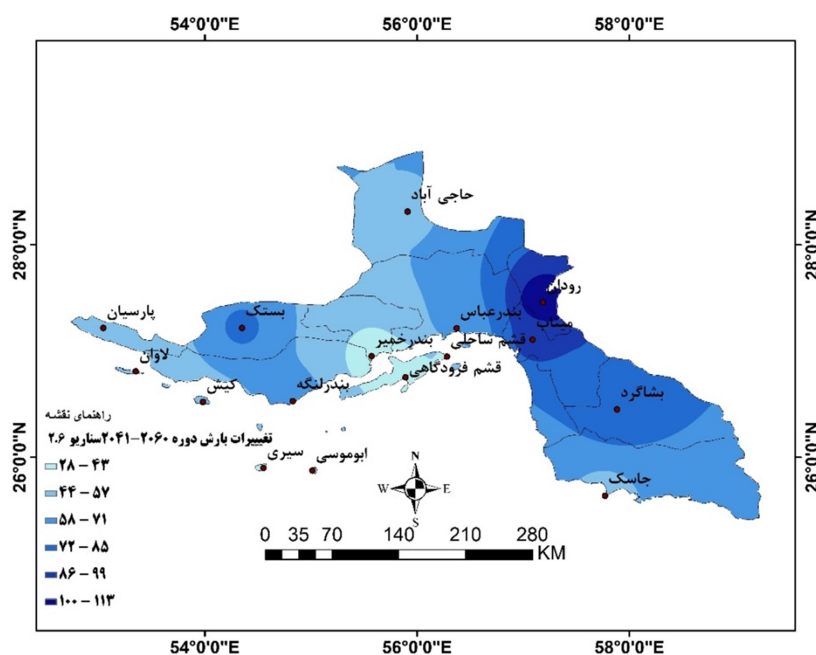
بر اساس نتایج سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 تغییرات بارشی استان هرمزگان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به روش درونیایی وزن‌دهی بر اساس فاصله معکوس IDW (Inverse distance weighting) پهنه‌بندی شد، که نتایج آن برای هر یک از

افزایش در دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ به میزان ۱۱۳-۲۸ میلی‌متر در ایستگاه‌های استان متغیر بوده و این افزایش در شرق و شمال شرق (شهرستان رودان) به میزان بر ۱۱۳ میلی‌متر است. در این سناریو کمترین میزان افزایش باران در نواحی مرکزی و جزایر و قسمتی از غرب استان رخ خواهد داد.

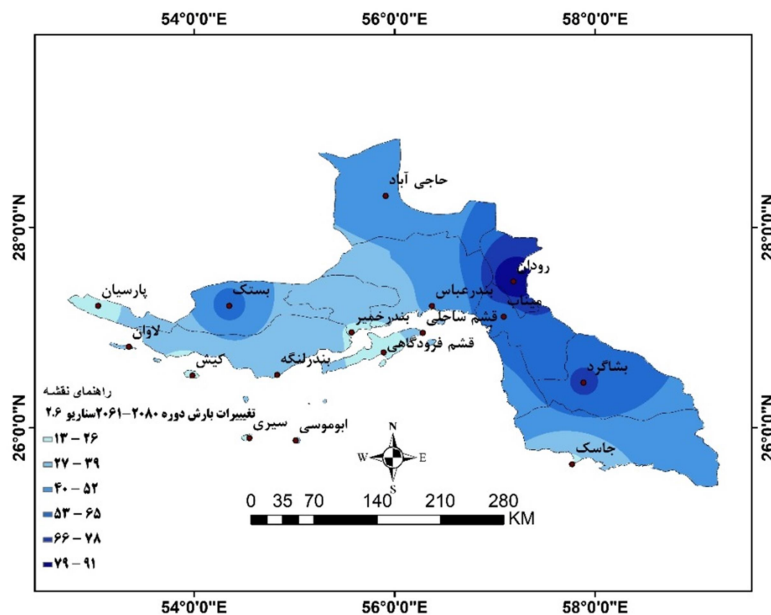
گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل‌توجهی کاهش یابند. بر اساس پهنه‌بندی انجام گرفته بر اساس سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه، تغییرات بارشی استان هرمزگان با توجه به شکل‌های ۳ تا ۵ به‌صورت افزایشی بوده و این افزایش بارش نسبت به دوره پایه، در ناحیه شرق و شمال شرق بیشتر خواهد بود. بر این اساس بیشترین



شکل ۳. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با سناریو خوش‌بینانه.



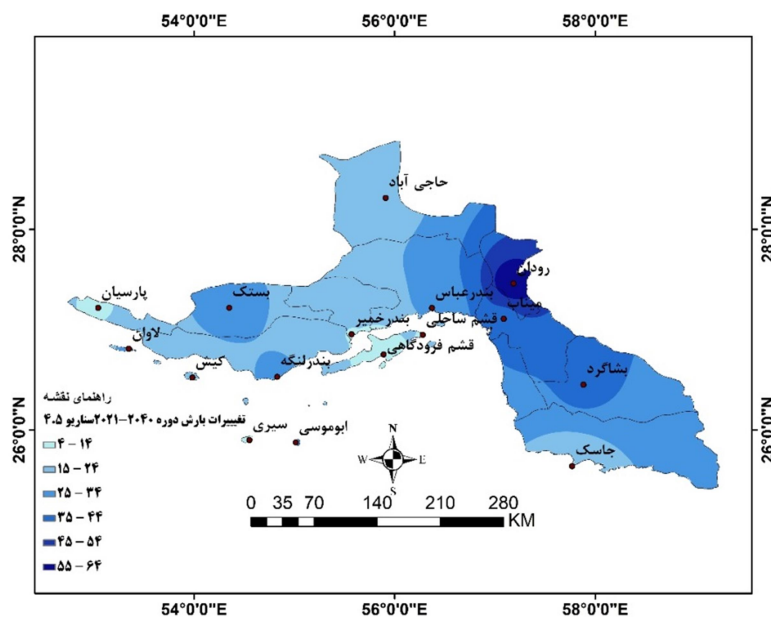
شکل ۴. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ با سناریو خوش‌بینانه.



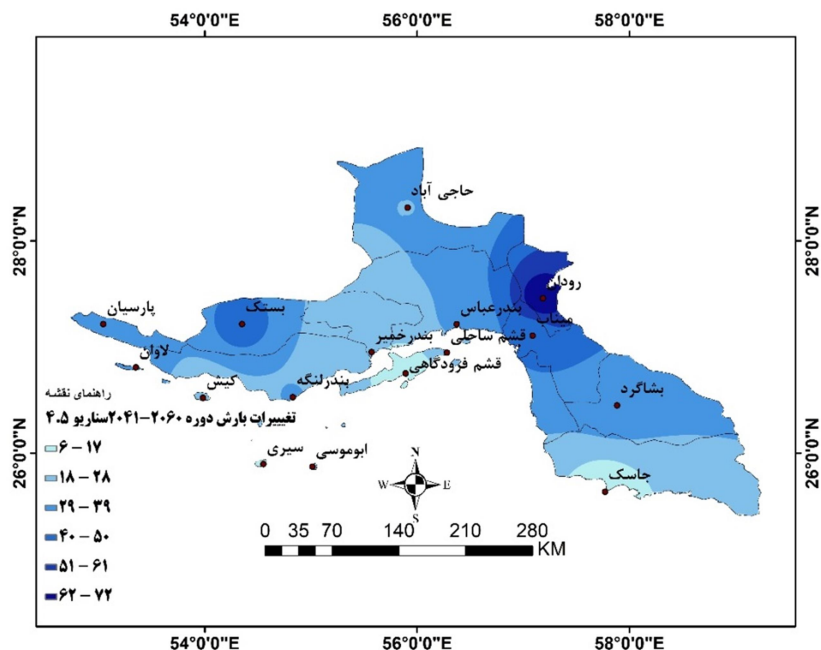
شکل ۵. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ با سناریو خوش‌بینانه.

شرق بیشتر بوده و در مرکز و شمال استان بارش دارای تغییرات کمتری خواهد بود. بیشترین افزایش بارش در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ به میزان ۶-۷۲ میلی‌متر در ایستگاه‌های استان متغیر بوده و این افزایش در شهرستان رودان به میزان ۷۲ میلی‌متر است. در این سناریو کمترین میزان افزایش باران در نواحی مرکزی، جاسک و پارسیان رخ خواهد داد.

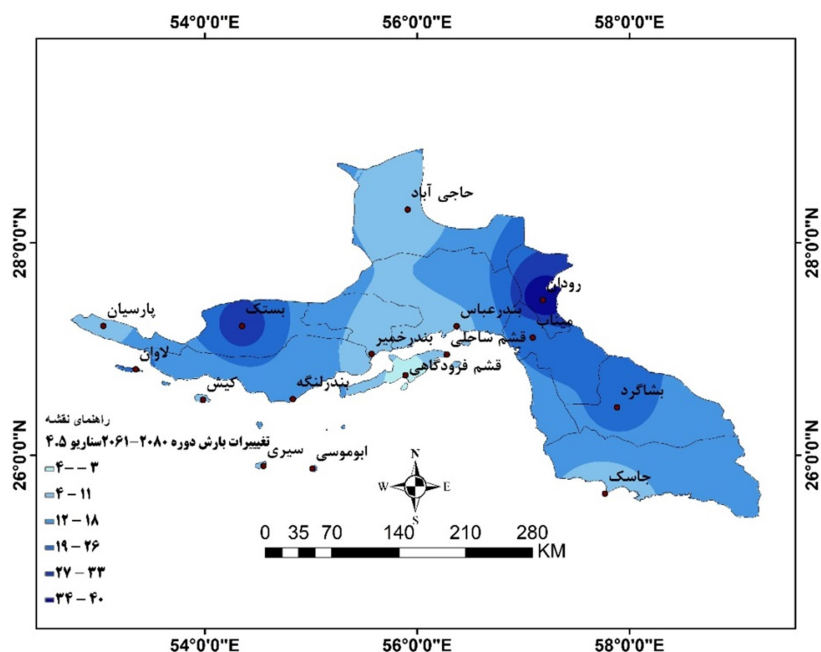
مطابق سناریو واداشت تابشی خوش‌بینانه تا متوسط گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند (سلامتی و همکاران، ۱۴۰۰). بر اساس پهنه‌بندی انجام گرفته بر اساس سناریوهای اقلیمی خوش‌بینانه تا متوسط، تغییرات بارشی استان هرمزگان با توجه به شکل‌های ۶ تا ۸ به صورت افزایشی بوده و این افزایش بارش نسبت به دوره پایه، در ناحیه شرق و شمال



شکل ۶. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با سناریو خوش‌بینانه تا متوسط.



شکل ۷. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ با سناریو خوش‌بینانه تا متوسط.

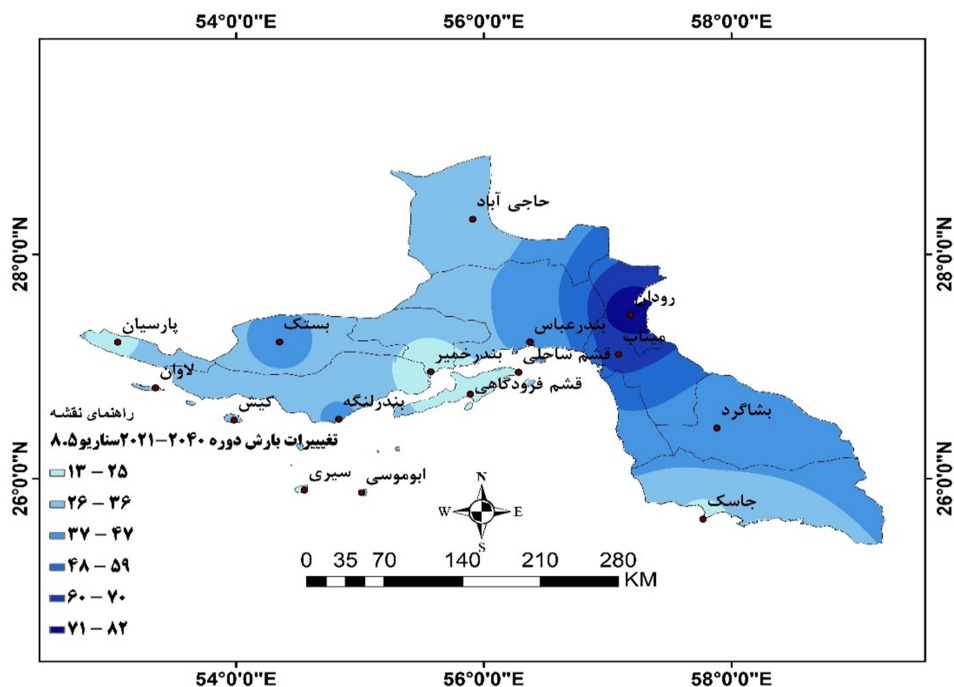


شکل ۸. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ با سناریو خوش‌بینانه تا متوسط

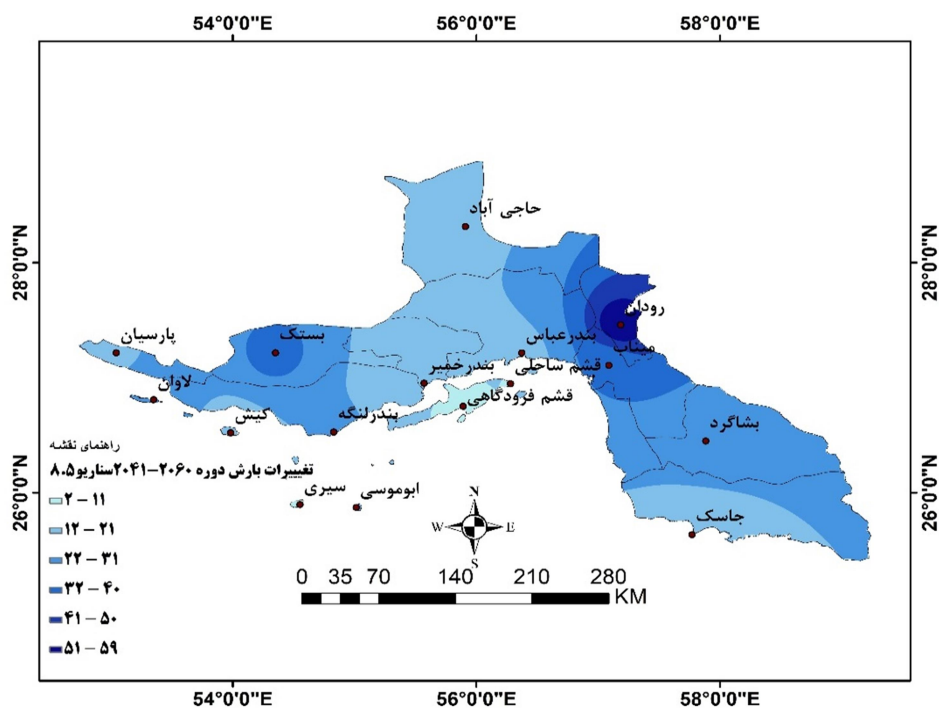
همچنان روند افزایش خواهد داشت (علوی‌نیا و زارعی، ۱۳۹۹). با توجه به پهنه‌بندی انجام گرفته بر اساس سناریوهای اقلیمی بدینانه، تغییرات بارشی استان هرمزگان (شکل‌های ۹ تا ۱۱) به‌صورت افزایشی بوده و این افزایش بارش در ناحیه شرق و شمال شرق نسبت به دوره پایه بیشتر خواهد بود. بر این اساس بیشترین افزایش

مطابق سناریو بدینانه بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP 8.5 پیش خواهد رفت، به‌طوری‌که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و

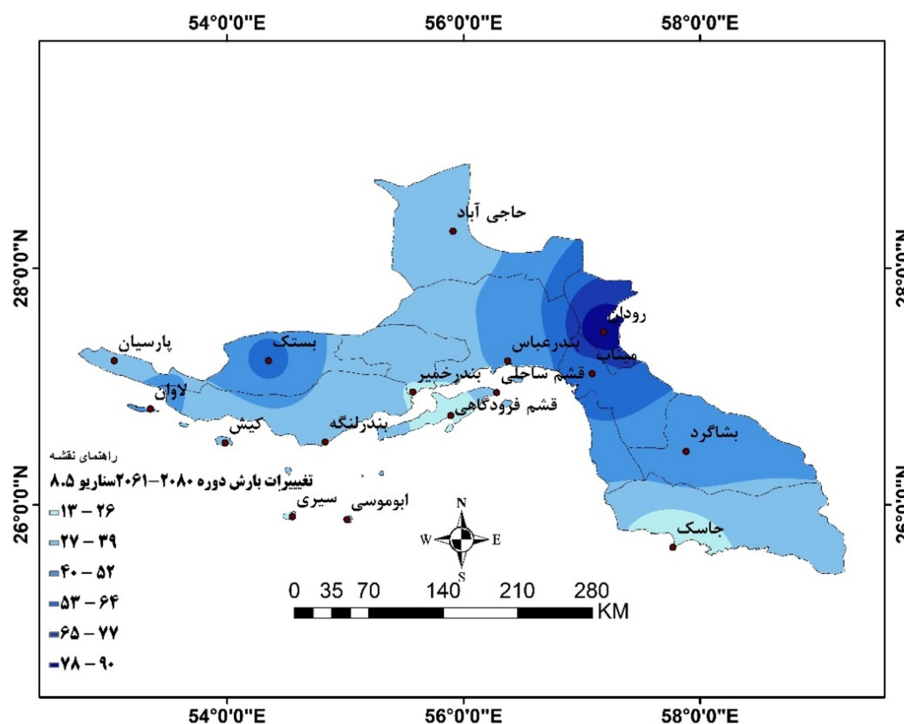
در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ به میزان ۹۰-۱۳ میلی‌متر در ایستگاه‌های استان متغیر بوده و این افزایش بارندگی در شهرستان رودان به میزان ۹۰ میلی‌متر خواهد بود. در این سناریو کمترین میزان افزایش باران در شهرستان بندر خمیر و جزایر و قسمتی از غرب استان رخ خواهد داد.



شکل ۹. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با سناریو بدبینانه.



شکل ۱۰. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ با سناریو بدبینانه.



شکل ۱۱. پهنه‌بندی مقدار بارش استان هرمزگان طی دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ با سناریو بدبینانه.

با استفاده از سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، شاخص خشکسالی استان هرمزگان نیز به تفکیک هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. بدلیل حجم بالای اطلاعات در جدول ۸ علاوه بر وضعیت خشکسالی در ایستگاههای همدیدی استان هرمزگان، تنها بیشترین و کمترین شاخص خشکسالی SPI به همراه مدل گردش کلی، سناریو انتشار و فصل رخداد بیشینه و کمینه شاخص خشکسالی در هر یک از سه دوره آینده بیان شده است.

شاخص خشکسالی SPI در ایستگاههای استان هرمزگان در فصول مختلف نشان داد که بیشترین شاخص SPI در فصل بهار و پاییز مربوط مدل CanESM2، فصل تابستان مدل MIROC5 و فصل زمستان مدل‌های CanESM2 و HadGEM2-ES می‌باشد بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۸، مدل‌های CanESM2 و MPI-ESM-MR به ترتیب بیشینه و کمینه بارش را پیش‌بینی می‌کنند.

با توجه به سناریوهای اقلیمی در دوره‌های مختلف اقلیمی، به نظر می‌رسد شرق و شمال شرق استان هرمزگان (شهرستان‌های رودان، میناب، بشاگرد) و همچنین قسمتی از غرب استان (بستک) افزایش بارش را در دوره‌های آتی تجربه خواهند کرد. با توجه به شرایط توپوگرافی استان هرمزگان بیشترین افزایش بارندگی در مناطق مرتفع استان رخ می‌دهد. از طرفی مناطق مرکزی و ساحلی افزایش کمتری در میزان بارش آنها روی می‌دهد.

۳-۳. پیش‌بینی خشکسالی دوره‌های آتی ایستگاه‌های

هواشناسی همدیدی استان هرمزگان با شاخص SPI پس از شبیه‌سازی بارش ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی استان هرمزگان توسط LARS-WG، طبق نتایج حاصل از بررسی تغییرات این متغیر اقلیمی با مدل‌های گزارش پنجم طی دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۱-۲۰۶۱

جدول ۸. بیشینه و کمینه پیش‌بینی شاخص خشکسالی ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی استان هرمزگان توسط مدل LARS-WG و سایر مشخصات این بیشینه و کمینه رخداد.

ایستگاه	بازه وضعیت خشکسالی در کل مدل‌ها	دوره	مدل گردش کلی		سناریو انتشار		شاخص SPI		فصل رخداد	
			بیشینه SPI	کمینه SPI	بیشینه SPI	کمینه SPI	بیشینه SPI	کمینه SPI	بیشینه SPI	کمینه SPI
جاسک	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۴۰-۲۰۲۱	MIROC5	MPI-ESM-MR	RCP8.5	RCP8.5	۱	-۰/۳۷	تابستان	زمستان
	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP8.5	۱/۴۴	-۰/۶۳	زمستان	زمستان
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP8.5	RCP8.5	۲/۶۴	-۰/۶۸	زمستان	پاییز
بشاگرد	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP4.5	۱/۱۰	-۰/۳۰	پاییز	بهار
	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP8.5	۱/۵۵	-۰/۸۰	زمستان	تابستان
	خشکسالی متوسط تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP8.5	RCP8.5	۲/۰۸	-۱/۰۲	زمستان	تابستان
	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۴۰-۲۰۲۱	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP8.5	۱/۸۳	-۰/۳۴	زمستان	تابستان
رودان	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP8.5	۲/۳۷	-۰/۴۴	زمستان	تابستان
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP8.5	RCP8.5	۲/۸۵	-۰/۵۳	زمستان	تابستان
	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۴۰-۲۰۲۱	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP8.5	۱/۸۰	-۰/۳۷	زمستان	بهار
میناب	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	RCP8.5	RCP8.5	۲/۰۱	-۰/۴۹	زمستان	بهار
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP8.5	RCP4.5	۲/۵۴	-۰/۴۵	زمستان	بهار
	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP4.5	۱/۸۵	-۰/۴۸	پاییز	زمستان
بندرعباس	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	HadGEM2-ES	GFDL-CM3	RCP4.5	RCP8.5	۱/۵۱	-۰/۵۲	زمستان	زمستان
	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	GFDL-CM3	RCP8.5	RCP8.5	۱/۸۶	-۰/۳۳	زمستان	زمستان
قشم فرودگاهی	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP4.5	۱/۲۲	-۰/۴۹	پاییز	زمستان
	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP4.5	۱/۱۰	-۰/۵۲	پاییز	زمستان
	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	MIROC5	RCP8.5	RCP8.5	۱/۲۳	-۰/۴۷	زمستان	زمستان
حاجی‌آباد	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP8.5	۱/۴۸	-۰/۴۲	بهار	تابستان
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP8.5	۲	-۰/۴۰	بهار	تابستان
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP8.5	۲/۱۹	-۰/۷۶	بهار	تابستان
بندر خمیر	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۴۰-۲۰۲۱	MIROC5	MPI-ESM-MR	RCP8.5	RCP4.5	۲/۱۷	-۰/۳۳	تابستان	زمستان
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	MIROC5	MPI-ESM-MR	RCP8.5	RCP8.5	۲/۴۲	-۰/۴۱	تابستان	بهار
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	MIROC5	MPI-ESM-MR	RCP8.5	RCP8.5	۲/۷۵	-۰/۵۳	تابستان	بهار
ابوموسی	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP4.5	۲/۲۰	-۰/۴۲	بهار	زمستان
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP4.5	۲/۸۸	-۰/۴۵	بهار	زمستان
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP8.5	RCP4.5	۲/۹۴	-۰/۴۴	بهار	پاییز

ادامه جدول ۸.

ایستگاه	بازه وضعیت خشکسالی در کل مدل‌ها	دوره	مدل گردش کلی		سناریو انتشار		شاخص SPI		فصل رخداد	
			پیشینه SPI	کمینه SPI	پیشینه SPI	کمینه SPI	پیشینه SPI	کمینه SPI	پیشینه SPI	کمینه SPI
بندر لنگه	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۴۰-۲۰۲۱	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP4.5	۱/۵۸	-۰/۴۶	زمستان	بهار
	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP2.6	RCP8.5	۱/۸۹	-۰/۶۸	زمستان	پاییز
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP8.5	RCP2.6	۲/۳۵	-۰/۵۷	زمستان	پاییز
سیری	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP4.5	۱/۴۵	-۰/۵۵	بهار	بهار
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP2.6	RCP8.5	۲/۰۳	-۰/۶۶	بهار	پاییز
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP8.5	RCP4.5	۲/۰۳	-۰/۶۷	بهار	پاییز
بستک	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP4.5	RCP4.5	۱/۳۱	-۰/۱۱	بهار	بهار و تابستان
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP8.5	۲/۳۱	-۰/۴۴	بهار	بهار
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP8.5	RCP8.5	۲/۶۲	-۰/۴۰	بهار	تابستان
کیش	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP4.5	RCP8.5	۱/۶۰	-۰/۴۴	بهار	پاییز
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP2.6	RCP8.5	۲/۰۲	-۰/۷۵	بهار	پاییز
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP8.5	RCP4.5	۲/۰۷	-۰/۸۱	زمستان	پاییز
لاوان	نرمال	۲۰۴۰-۲۰۲۱	HadGEM2-ES	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP4.5	۰/۹۰	-۰/۷۰	زمستان	بهار
	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	MPI-ESM-MR	RCP2.6	RCP8.5	۱/۷۱	-۰/۸۳	زمستان	بهار
	نرمال تا ترسالی بسیار شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	GFDL-CM3	RCP8.5	RCP8.5	۲/۱۹	-۰/۷۴	زمستان	بهار
پارسیان	نرمال تا ترسالی متوسط	۲۰۴۰-۲۰۲۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP4.5	RCP4.5	۱/۱۸	-۰/۳۳	بهار	بهار
	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۶۰-۲۰۴۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP2.6	RCP8.5	۱/۸۲	-۰/۴۹	بهار	پاییز
	نرمال تا ترسالی شدید	۲۰۸۰-۲۰۶۱	CanESM2	HadGEM2-ES	RCP8.5	RCP4.5	۱/۹۱	-۰/۴۷	بهار	پاییز

۴. نتیجه گیری

مدل گردش عمومی جو شامل مدل‌های HadGEM2-ES،

CanESM2، MPI-ESM-MR، GFDL-CM3 و MIROC5 با سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 قابل‌دسترس در نرم‌افزار LARS-WG6 استفاده شد و سپس با استفاده از شاخص‌های ضریب تعیین R^2 ، میانگین مربعات خطا (MSE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی LARS-WG6 در دوره مشابه اقلیمی نشان داد، به دلیل این‌که کمیت‌های دمای کمینه و بیشینه توزیع یکسانی در طی روزهای سال دارند در کلاس ارزیابی بسیار مناسب تا مناسب و کمیت بارش به دلیل عدم توزیع یکنواخت در

پیامدهای گوناگون تغییرات آب‌وهوا به سرعت در حال افزایش است به گونه ای که می‌تواند باعث ایجاد مشکلات اجتماعی و اقتصادی فراوانی شود. در این پژوهش با توجه به اهمیت موضوع کم آبی و خشکسالی و اثرات جبران‌ناپذیر تغییر اقلیم بر منابع اقتصادی، از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری به منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارش جهت محاسبه شاخص‌های خشکسالی در استان هرمزگان استفاده شده است. برای پیش‌یابی و بررسی بارش و خشکسالی استان هرمزگان طی دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱، از ۵

طول سال در کلاس ارزیابی مناسب تا متوسط قرار دارند که نتایج حاصل از پژوهش سلامتی و همکاران (۱۴۰۰) با عنوان بررسی اثرات سناریوهای تغییرات اقلیمی در پیش‌بینی دما و بارش با استفاده از LARS-WG (مطالعه موردی: بندرعباس) این مطالب را تأیید می‌کند. نتایج بررسی تغییرات کمیت‌های اقلیمی با مدل‌های گزارش پنجم نشان داد بیشترین تغییرات دمای بیشینه در غالب ایستگاه‌های استان هرمزگان، مربوط به مدل HadGEM2-ES با سناریو RCP8.5 و دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ می‌باشد. همچنین میزان افزایش دمای کمینه در غالب مدل‌ها نسبت به دمای بیشینه سالانه در طی ۲۰ تا ۸۰ سال آینده بیشتر بوده و بیانگر آن است که افزایش در دمای میانگین استان هرمزگان بیشتر متأثر از افزایش در دمای کمینه آن خواهد بود. این مطلب با نتایج عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دمای ایران در دهه‌های آینده و نتایج پژوهش جعفری‌گنده و همکاران (۱۳۹۹) در مورد پیش‌بینی مقایسه‌ای بارش و دمای شهرستان کرمان و همچنین نتایج پژوهش سلامتی و همکاران (۱۴۰۰) در مورد پیش‌بینی دما و بارش بندرعباس مطابقت دارد. در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی استان هرمزگان بیشترین افزایش بارندگی در مدل CanESM2 با سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ پیش‌بینی شده است. مطابق هر سه سناریو میانگین تغییرات بارشی استان هرمزگان به‌صورت افزایشی بوده و این افزایش بارش نسبت به دوره پایه، در ناحیه شرق و شمال شرق بیشتر خواهد بود. شاخص خشکسالی SPI در ایستگاه‌های استان هرمزگان در فصول مختلف نشان داد که بیشترین مقدار شاخص SPI در فصل بهار مربوط به مدل CanESM2، در فصل تابستان مربوط به مدل MIROC5، در فصل پاییز مربوط به مدل CanESM2 و در فصل زمستان مربوط به مدل‌های CanESM2 و HadGEM2-ES می‌باشد. برآوردهای شاخص SPI در دوره‌های آینده نشان می‌دهد که تمام ایستگاه‌های هواشناسی استان هرمزگان به‌غیر از ایستگاه بشاگرد در مدل‌های مختلف اقلیمی در حد نرمال تا

ترسالی بسیار شدید قرار دارند.

مراجع

- تابان، ح.، ظهراپی، ن. و نیکبخت شهبازی، ع. ر.، ۱۳۹۷، ارزیابی عدم قطعیت‌های مدل‌های گردش کلی در تخمین بارش و رواناب حوضه دز علیا تحت تأثیر تغییر اقلیم، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۴(۱)، ۱۰۲-۸۹
- جعفری‌گنده، م.، سلاجقه، ع. و حقیقی، پ.، ۱۳۹۹، پیش‌بینی مقایسه‌ای بارش و دمای شهرستان کرمان با استفاده از مدل‌های LARS-WG6، مجله هیدرو اکولوژی، ۷(۲)، ۵۲۹-۵۳۸.
- جوانمرد، س. و آسیایی، م.، ۱۳۸۳، فرهنگ اصطلاحات هواشناسی و اقلیم‌شناسی، انتشارات سخن گستر.
- جهانگیر، م. ح.، جهان‌پناه، م. و ابوالقاسمی، م.، ۱۳۹۹، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی برای دوره‌های آتی با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز)، محیط زیست و مهندسی آب، ۶(۱)، ۶۹-۸۲.
- رمضانی‌پور، م.، ۱۳۹۷، پیش‌بینی اثر تغییر آب‌وهوایی بر شاخص‌های اقلیم-کشاورزی و عملکرد برنج مطالعه موردی: مناطق شمال ایران، برنامه ریزی منطقه‌ای، ۸(۳۲)، ۶۹-۸۰.
- سلامتی هرمزی، و.، مزیدی، ا. و بلالی کمیزی، ع. ا.، ۱۴۰۰، بررسی اثرات سناریوهای تغییرات اقلیمی در پیش‌بینی دما و بارش با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: بندرعباس)، فصلنامه علمی علوم و فنون آب‌خاکی، ۲(۲)، ۱-۱۶.
- صبحی، ر.، بارانی، ح.، خداقلی، م.، عابدی سروسستانی، ا. و طهماسبی، ا.، ۱۳۹۸، بررسی روند گذشته و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در منطقه سمیرم، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲۸-۱۱۲.
- عباسی، ف.، بابائیان، ا.، گلی مختاری، ل. و ملیوسی، ش.، ۱۳۸۹، ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده، با کمک مدل SCENGEN-

کریمی، و.، حبیب‌نژاد روشن، م. و آبه‌کار، ع.ج.، ۱۳۹۰، بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲(۵)، ۱۵-۲۵.

کمالی، غ.ع.، نوحی، ک. و عسگری، ا.، ۱۳۸۸، هواشناسی کاربردی، انتشارات پژوهشکده هواشناسی و رجا تهران.

- Arora, V. K., Scinocca, J. F., Boer, G. J., Christian, J. R., Denman, K. L., Flato, G. M., Kharin, V. V., Lee, W. G. and Merryfield, W. J., 2011, Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases, *Geophys. Res. Lett.*, 38: L05805. <https://doi.org/10.1029/2010GL046270>.
- Babaei Fini, A., Qasemi, A. and Fatahi, A., 2014, Investigating the Impact of Climate Change on the Trend of Iran Earth's Limit Rainfall Profiles, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 1(3), 103-85, [Persian].
- Bayatvarkeshi, M., Zhang, B., Fasihi, R., Adnan, R. M., Kisi, O. and Yuan, X., 2020, Investigation into the Effects of Climate Change on Reference Evapotranspiration Using the HadCM3 and LARS-WG, *Water*, 12(3), 666.
- Chisanga, C. B., Phiri, E. and Chinene, V., 2020, Reliability of Rain-Fed Maize Yield Simulation Using LARS-WG Derived CMIP5 Climate Data at Mount Makulu, Zambia, *journal of Agricultural Science*, 12(11), 275-289.
- Collins, W. J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C. D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A. and Woodward, S., 2011, Development and evaluation of an earth-system model – HadGEM2, *Geosci. Model Dev.*, 4: 1051, 2011-1075, <https://doi.org/10.5194/gmd-4-1051-2011>.
- Donner, L., Wyman, B., Hemler, R., Horowitz, L., Ming, Y., Zhao, M., Golaz, J., Ginoux, P., Lin, S., Schwarzkopf, M., Austin, J., Alaka, G., Cooke, W., Delworth, T., Freidenreich, S., Gordon, C., Griffies, S., Held, I., Hurlin, W., Klein, S., Knutson, T., Langenhorst, A., Lee, H., Lin, Y., Magi, B., Malyshev, S., Milly, P., Naik, V., Nath, M., Pincus, R., Ploshay, J., Ramaswamy, V., Seman, C., Shevliakova, E., Sirutis, J., Stern, W., Stouffer, R., Wilson, R.,

MAGICC, مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۲، (۷۲)، ۱۰۹-۹۱.

علوی نیا، ح. و زارعی، م.، ۱۳۹۹، واکاوی روند تغییرات فرین‌های دما تحت تأثیر سناریوهای آینده به‌منظور ارزیابی نوسانات اقلیمی (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه‌های همدیدی سنندج و سقز)، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۱(۴۱)، ۱-۱۶.

- Winton, M., Wittenberg, A. and Zeng, F., 2011, The dynamical core, physical parameterizations, and basic simulation characteristics of the atmospheric component AM3 of the GFDL global coupled model CM3, *J. Clim.*, 24(13), 3484-3519, <https://doi.org/10.1175/2011jcli3955.1>.
- Karimi, M. and Nabizadeh, A., 2018, Assessment of climate change impacts on climate parameters of Urmia Lake basin during 2011-2040 years by using LARS-WG model, *Journal of Geography and Planing*, 22(65), <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=755851>.
- Mohammadzadeh, N., Amiri, B. J., Endergoli, L. E. and Karimi, S., 2019, Coupling Tank Model and Lars-Weather Generator in Assessments of the Impacts of Climate Change on Water Resources, *Slovak Journal of Civil Engineering*, 27(1), 14-24.
- Sha, J., Li, X. and Wang, Z. L., 2019, Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios, *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3-4), 3027-3039.
- Shagega, F. P., Munishi, S. E. and Kongo, V. M., 2019, Prediction of future climate in Ngerengere river catchment, Tanzania, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 112, 200-209.
- Vallam, P. and Qin, X. S., 2018, Projecting future precipitation and temperature at sites with diverse climate through multiple statistical downscaling schemes, *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1-2), 669-688.
- Watanabe, M., Suzuki, T., O'ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., Takemura, T., Chikira, M., Ogura, T., Sekiguchi, M., Takata, K., Yamazaki, D., Yokohata, T., Nozawa, T., Hasumi, H. and Tatebe HKimoto, M., 2010, Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity, *J. Clim.*, 23, 6312-6335, <https://doi.org/10.1175/2010jcli3679.1>.
- Zanchettin, D., Rubino, A., Matei, D., Bothe, O. and Jungclaus, J., 2013, Multidecadal-to-

centennial SST variability in the MPI-ESM
simulation ensemble for the last millennium,
Clim. Dyn., 40, 1301–1318,
<https://doi.org/10.1007/s00382-012-1361-9>.

Prediction of temperature and precipitation in the statistical period 2021-2080 in Hormozgan province for drought extraction and its downscaling by LARS-WG software

Roohollah Nejad, M.¹, Salamati Hormozi, V.², Ramezani, R.³ and Khansalari, S.^{4*}

1. Expert, Hormozgan province Meteorological Administration, Bandar Abbas, Iran

2. Head of Atmospheric observation and Warning Network, Hormozgan province Meteorological Administration, Bandar Abbas, Iran

3. Head of Applied Meteorological Research Group, Hormozgan province Meteorological Administration, Bandar Abbas, Iran

4. Assistant Professor, Atmospheric Sciences and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

(Received: 24 Nov 2021, Accepted: 4 Oct 2022)

Summary

Precipitation is one of the most important meteorological quantities that its decrease compared to normal amounts in a period of time causes drought. In this study, statistical microscale methods were used to project and simulate climatic quantities to determine future drought indices of Hormozgan province using the LARS-WG model. For this study, climatic data of synoptic stations of Hormozgan province as well as 5 models of general atmospheric circulation including CanESM2, HadGEM-ES2, MPI-ESM-MR, GFDL-CM3 and MIROC5 with RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios were used. The capability of the fifth report models was evaluated using coefficient of determination, mean square error (MSE) and Root-Mean-Square Error (RMSE). The results of evaluating the data generated in the LARS-WG model with climatic data showed that the highest coefficients of determination were related to the parameters of minimum and maximum temperatures (99%) and precipitation (94%), respectively. The results of studies of changes in climate parameters with the models of the fifth report in all periods indicate an increase in minimum and maximum temperatures in all these models in different climatic scenarios in future periods, and as we move away from the base period 2040-2021, the rate of temperature changes increases. The rate of increase in minimum temperature in most models is higher than the annual maximum temperature over the next 20 to 80 years and indicates that the increase in temperature in Hormozgan province will be more affected by the increase in minimum temperature. Examination of the results of different climatic scenarios shows that according to the optimistic scenario, precipitation changes in Hormozgan province are increasing and this increase in precipitation in the east and northeast will be more than the base period. Accordingly, the largest increase will occur in the period 2060-2041, which will be greater in the east and northeast (especially the city of Rudan). In this scenario, the least amount of rainfall occurs in the central areas and islands and part of the west of the province. According to the optimistic and moderate scenarios, precipitation changes in Hormozgan province are increasing and this increase in precipitation in the east and northeast is more than yhat of the base period. Also in the center and north of the province the precipitation will be less. The highest increase in precipitation in the period 2060-2041 by 4-64 mm varies in the stations of the province and this increase is in the east and northeast (Rudan city) by 64 mm. In this scenario, the least amount of rain will occur in the central and northern areas and part of the west of the province in Parsian city. According to the pessimistic scenario, the precipitation changes in Hormozgan province are increasing and this increase in precipitation in the east and northeast will be more than that of the base period. Accordingly, the highest rain increase in the period 2080-2061 is 13-90 mm in the stations of the province and this increase is 90 mm in the east and northeast (Rudan city). In this scenario, the least amount of rain will occur in Bandar Khamir city and the islands and part of the west of the province. In this scenario, the amount of rainfall in Bastak city increases significantly. In general, most of the models show an increase in rainfall in all three periods, so that the average of all models in each of the three scenarios of increased rainfall, especially in the east and north of Hormozgan province (highlands). In most meteorological stations of Hormozgan province, the highest increase in rainfall is predicted by CanESM2 model with RCP8.5 scenario and in the period 2080-2061.

Keywords: Drought, Climatic scenarios, LARS-WG6 software, Hormozgan province, model of general atmospheric circulation.

* Corresponding author:

Khansalari@yahoo.com