

مدل‌سازی و پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی در شمال غرب یزد با استفاده از مدل‌های گردش کلی و سناریوهای واداشت تابشی

اعظم السادات حسینی^۱، عباسعلی ولی^{۲*}، امیرحسین حلیبان^۳، محمد حسین مختاری^۴

- ۱- دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران.
- ۲- دانشیار گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران.
- ۳- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
- ۴- دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

چکیده

در سال‌های اخیر، بسیاری از نهادها، اثرات تغییر اقلیم در توسعه برنامه‌های منطق با کاهش خطرات طبیعی را در دستور کار خود قرار می‌دهند. بنابراین، برنامه‌ریزی موثر مستلزم بررسی سناریوهای تغییر اقلیم فعلی و پیش‌بینی شده است. اکنون مدل‌های گردش کلی، ابزار پیشرفته‌ای هستند که برای پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه، پارامترهای اقلیمی تابش، بارندگی و دمای حداقل، حداکثر و میانگین سالانه با استفاده از سه مدل گردش کلی از سری CMIP5 موجود در LARS-WG6 تحت دو سناریوی واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱ میلادی در شمال غرب یزد پیش‌نگری و ریزمقیاس نمایی گردید. کارایی مدل و نتایج تغییر اقلیم آینده با دوره پایه ۲۰۲۰-۲۰۰۱ با شاخص‌های آماری ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده و خطای میانگین مربعات، ارزیابی گردید. براساس یافته‌های به‌دست آمده، میانگین دما تا ۶/۷ درجه سانتی‌گراد در آینده افزایش خواهد یافت و میزان این افزایش در RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 است. بیشترین میزان افزایش دما مربوط به ماه جولای و مدل GFDL-CM3 و کمترین افزایش نیز مربوط به مدل MRI-CGCM3 است. تابش در آینده در فصل زمستان کاهش ولی در فصل تابستان افزایش می‌یابد و این در حالی است که مقدار بارندگی در مدل GFDL-CM3 در سناریوی بدبینانه به میزان ۱۸/۱ میلی‌متر در آینده کاهش می‌یابد. در پیش‌نگری دما مدل MRI-CGCM3 و در پیش‌نگری داده تابش و بارندگی مدل GFDL-CM3. با داشتن کمترین شاخص‌های آماری، به عنوان بهترین مدل معرفی می‌شوند. به‌طور کلی پیامدهای تغییر اقلیم در شمال غرب یزد در پارامترهای اقلیمی ردیابی و منجر به ترسیم آینده‌ای با افزایش خشکی، خشکسالی و افزایش وسعت مناطق بیابان‌زائی برای این منطقه می‌شود. هم‌چنین، نتایج به‌دست آمده در مطالعات اقلیمی و هواشناسی ارزشمند است و می‌تواند به برنامه‌ریزان و مدیران منابع آبی کمک کند

کلید واژه‌ها: پیش‌نگری؛ تغییر اقلیم؛ شمال غرب یزد؛ مدل‌های گردش کلی؛ LARS-WG6.

۱- مقدمه

تغییر اقلیم عبارت است از هرگونه تغییرات بلندمدت و غیرقابل بازگشت شرایط جوی که در طول ده‌ها یا میلیون‌ها سال در یک منطقه آب و هوایی اتفاق می‌افتد، تغییر اقلیم امکان دارد در یک منطقه خاص یا در سراسر جهان اتفاق افتاد (بیپال و میرنموی، ۲۰۱۰). از اواسط قرن ۱۹ تاکنون، دمای سطح زمین با روند افزایشی مواجه است، به طوری که گرم‌ترین سال‌ها را در این دوره در سه دهه اخیر، به خود اختصاص داده است. اطلاعات ثبت شده بیان‌گر این است که از سال ۱۹۰۱ تا سال ۲۰۱۲ دمای سطح زمین ۰/۸۹ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (طائی‌سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۴). با صنعتی شدن جوامع بشری، برخی گرم شدن هوا ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای را سبب افزایش دمای زمین می‌دانند که به صورت نتایج منفی به شکل بارش‌های ناگهانی و خشکسالی در مناطق مختلف کره زمین از جمله ایران ظاهر می‌شود، که به گفته اقلیم‌شناسان تکرار و تداوم آن‌ها، نشان‌دهنده وقوع پدیده تغییر اقلیم در کشور است (دانشیاری، ۱۴۰۰). توسعه فناوری، فعالیت‌های بشری و مصرف انرژی‌های فسیلی از مهم‌ترین عوامل تغییر اقلیم بوده و در صورت ادامه روند موجود، تغییر اقلیمی شدیدی در دهه‌های آینده به وقوع خواهد پیوست.

تغییر اقلیم آسیب‌هایی را در حوزه‌های مختلف جهانی و ملی در کشورها به همراه خواهد داشت (دانشیاری، ۱۴۰۰). تغییر اقلیمی که سبب بیابان‌زایی می‌شود، بیشتر به کاهش مقادیر بارندگی و رطوبت خاک، افزایش دما به ویژه در تابستان، وزش باد و تشدید تبخیر و تعرق، کاهش پوشش گیاهی، افزایش میزان خشکی و ایجاد خشکسالی ارتباط می‌یابد (صالح پورجم و همکاران، ۱۳۹۲).

به‌طور معمول، محققان از داده‌های پایه و مدل‌های نظری برای بررسی شرایط اقلیمی گذشته و آینده استفاده می‌کنند. مدل‌های گردش کلی (GCMs¹) مبتنی بر علوم فیزیکی از معتبرترین روش‌های نظری هستند (آیدا و همکاران، ۲۰۱۶). مدل‌های گردش کلی از پارامترهای مشاهده شده برای طرح مدل‌های اقلیمی آینده در مقیاس بزرگ و توصیف علل تغییر اقلیم استفاده می‌کنند. بسیاری از محققان از GCMها برای پیش‌نگری میزان تغییر در

پارامترهای هواشناسی استفاده کرده‌اند (آیدا و همکاران، ۲۰۱۶ و هاشمی و همکاران ۲۰۱۱). با این حال، این مطالعات نشان داده‌است که سطح بالایی از عدم قطعیت در پیش‌نگری بارندگی در میان GCMها و سناریوهای مختلف وجود دارد. یکی دیگر از نقاط ضعف قابل توجه GCMها این است که برونداد آن‌ها فاقد جزئیات و دقت کافی برای قابلیت استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی است. برای غلبه بر این محدودیت، تبدیل پیش‌نگری‌های GCM در سطح کشور به اطلاعات سطح منطقه‌ای مورد نیاز برای بارندگی و دما ضروری است. این روش‌ها که بروندادهای GCM را به پارامترهای اقلیمی با وضوح خوب تبدیل می‌کنند، تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی نامیده می‌شوند (سگوی و همکاران، ۲۰۱۰؛ گویال و اوچها، ۲۰۱۲). انواع مختلفی از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به دو دسته روش‌های آماری و دینامیکی تقسیم کرد (بیچام و همکاران، ۲۰۱۴). روش‌های آماری به دلیل عملکرد سریع و آسان بیشتر مورد استفاده هیدرولوژیست‌ها قرار می‌گیرند (کیم و همکاران، ۲۰۰۷). از میان تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری موجود، مدل LARS-WG² بیشتر ترجیح داده می‌شود زیرا می‌تواند مدل‌های اقلیمی آینده را با پارامترهای کمتر تولید کند (سمنوف و استراتونوویچ، ۲۰۱۰). مدل مذکور، سری زمانی پارامترهای اقلیمی روزانه را در یک مکان واحد، بر اساس پارامترهای تاریخی تنها یک سال مدل‌سازی می‌کند. این یک مزیت مورد توجه است که می‌تواند در مناطق کم داده مانند استان یزد استفاده شود. بنابراین LARS-WG به‌طور گسترده در ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب، هیدرولوژی و مسائل زیست محیطی استفاده شده‌است (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۱ و چن و همکاران، ۲۰۱۳). مزیت دیگر استفاده از این مدل این است که بروندادهای ۱۵ مدل GCM با سناریوهای واداشت تابشی مختلف می‌توانند برای مقابله با عدم قطعیت‌های GCM در مدل گنجانده شوند (آیدا و همکاران، ۲۰۱۶).

پژوهش‌های زیادی تاکنون در رابطه با تغییر اقلیم و مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی در نقاط مختلف ایران و جهان انجام شده-

²: Long Ashton Research Station of the Weather Generator

¹: General Circulation Model's

و تغییر اقلیمی آینده را با استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی مدل SDSM در دوره‌های ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و ۲۰۴۹-۲۰۲۰ مورد ارزیابی و پیش‌نگری قرار دادند. یافته‌های پژوهش نشان داد که در آینده، دمای حداقل، حداکثر و میانگین در هر دو دوره نسبت به دوره پایه، افزایش خواهد یافت. میزان بارندگی در دوره آتی افزایش می‌یابد ولی بارندگی در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ دارای یک روند کاهشی است. عسگری و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی چشم‌انداز تغییرات پارامترهای اقلیمی حوضه آبخیز دز را با ارزیابی ۱۷ مدل گردش کلی پروژه CORDEX-WAS برای سه دوره بیست ساله و تحت دو سناریوی انتشار ۴/۵ و ۸/۵ انجام دادند. نتایج برنوداد مدل‌ها نشان داد که بارندگی بین ۱۷٪-۱۱٪ در سناریوی ۴/۵، و بین ۱۸٪-۸٪ در سناریوی ۸/۵ نسبت به زمان حال کاهش می‌یابد. حداکثر دما در RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب بین (°C) ۳ و ۵/۸ و حداقل دما در سناریوهای مذکور به ترتیب به میزان (°C) ۴/۲ و ۵/۳ در نوسان هستند. حاجی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹) به منظور ارزیابی تغییر اقلیم بیرجند از ۵ مدل گردش کلی سری CMIP5 تحت دو سناریوی واداشت تابشی ۴/۵ و ۸/۵ و ریزمقیاس‌نمایی LARS_WG، داده‌های بارندگی و دما را برای دوره ۲۰۵۵-۲۰۲۵ در آینده پیش‌نگری کردند. نتایج حاکی از افزایش دما و کاهش مقدار بارندگی آینده نسبت به دوره پایه‌ی ۲۰۰۵-۱۹۷۵ در هر دو سناریوی انتشار و تمامی مدل‌های اقلیمی است و این افزایش دما و کاهش بارندگی در RCP8.5 شدیدتر از RCP4.5 است. مساح‌بوانی و همکاران (۱۴۰۰) با پیش‌نگری تغییر اقلیم آینده در سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱ با استفاده از ۵ مدل از سری CMIP5^۱ تحت سناریوی ۴/۵ و مدل LARS-WG، در حوضه آبخیز قره‌سو در استان کرمانشاه، به این نتیجه رسیدند که حداکثر دما در آینده در تمامی ماه‌ها افزایش می‌یابد و بیشترین میزان آن مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه است. تغییرات بارندگی در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست، کاهش چشم‌گیری را نسبت به دوره پایه دارد. فرزانه و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهشی که در منطقه جنوب‌شرق ایران به منظور پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل HadCM2 و مقیاس‌کاهی LARS-WG تحت دو سناریوی ۲/۶ و ۸/۵ در

است که در اینجا به برخی از موارد اشاره می‌شود: طائی-سمیرمی و همکاران (۱۳۹۴)، در پژوهشی تغییر پارامترهای اقلیمی در حوزه آبخیز بار نیشابور را با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و برنودادهای مدل HADGEM3 تحت سناریوهای A1، A2 و B1، برای سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۱۰) پیش‌نگری کردند. آنان به یافته‌های مشابهی مبنی بر کاهش بارش، افزایش تابش، افزایش حداقل و حداکثر دما در هر سه سناریو دست یافتند. یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، در تحقیقی در ایستگاه بیرجند به مطالعه و ارزیابی مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم با سناریوهای انتشار ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ در تخمین دما و بارندگی در طی دوره ۹۰ سال، پرداختند. براساس یافته‌ها، تغییرات بارندگی در مدل‌ها و سناریوهای مختلف از سال ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰، دارای روندی متغیر خواهد بود. با این حال، در RCP8.5 مدل‌های GFDL-ESM2M و MIROC-ESM، کاهش بارش بیشتری را پیش‌نگری می‌کنند. دمای هوا نیز، با روندی یکنواخت در آینده افزایش می‌یابد و دما در سناریوی ۸/۵ بیشترین میزان و در سناریوی ۴/۵ کمترین میزان افزایش را دارد. زهره‌وندی و همکاران (۱۳۹۸) به شبیه‌سازی عناصر اقلیمی غرب ایران با استفاده از مدل LARS-WG برای دو دوره زمانی مختلف (۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) و مقایسه آن با دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ پرداختند. با بررسی میزان خطای پارامترهای پایه و پیش‌نگری شده، نتایج نشان داد مدل LARS-WG برای منطقه مطالعاتی مناسب است، همچنین با افزایش تابش در آینده، بارندگی به میزان ۷/۷٪ کاهش، دمای حداقل و حداکثر به ترتیب به میزان ۳/۴ و ۳/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. خزائی و همکاران (۱۳۹۸)، اثرات تغییر اقلیم آینده زنجان بر پارامترهای اقلیمی، با تحلیل عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیم و سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 با استفاده از برنوداد مدل LARS-WG، ارزیابی نمودند. براساس نتایج، در آینده، میانگین حداقل و حداکثر دما افزایش و در اغلب ماه‌های سال مقدار بارندگی کاهش می‌یابد، اما به دلیل نوسانات اقلیمی، امکان دارد مقدار بارندگی در آینده با احتمال کمی افزایش یابد. در پژوهشی دسترنج و رستمی‌خلج (۱۳۹۹)، مقادیر بارندگی، دما

^۱ : Coupled Model Intercomparison Project phase 5

(جواهریان و همکاران، ۲۰۲۱) پارامترهای اقلیمی در حوضه سد لار را با مدل CanESM2 و سناریوهای واداشت تابشی ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۶۰ مورد ارزیابی و پیش‌نگری قرار دادند. برون‌داد یافته‌ها نشان داد که میانگین دما بین ۱/۰۱ تا ۱/۱۲ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی در حدود ۲۱/۲۳٪ در دوره آینده افزایش می‌یابد.

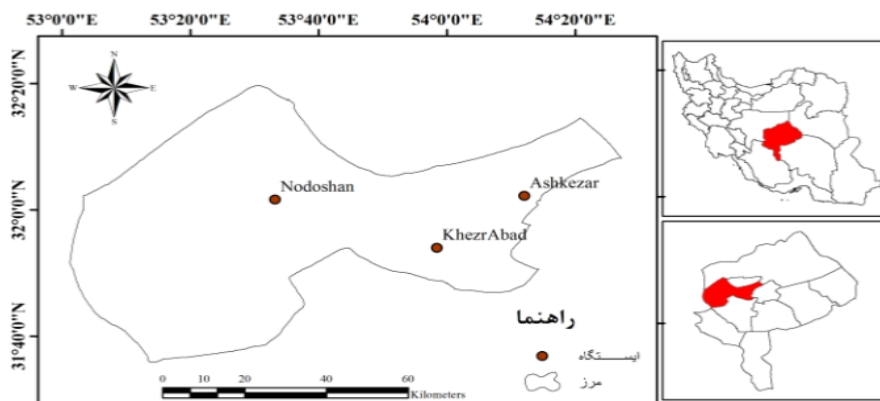
پیش‌آگاهی از ویژگی‌های اقلیمی، نقش مهمی در مدیریت روش‌هایی در راستای کاهش آثار تغییر اقلیم دارد. هدف این مطالعه، پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی در شمال غرب استان یزد با استفاده از سه مدل گردش کلی سری CMIP5، تحت دو سناریوی واداشت تابشی بدبینانه و میانه (RCP8.5 و RCP4.5) است تا تاثیر قابل توجه پارامترهای بارندگی، تابش و دما در تغییر اقلیم و نقش آن‌ها در سیستم‌های طبیعی منطقه مشخص گردد. که براساس مطالعات مورد بررسی، برای پیش‌نگری پارامترهای مذکور در یک دوره ۸۰ ساله از ریزمقیاس نمایی LARS-WG6 استفاده شده است. در نهایت با ارزیابی آماره‌های خطا، اولویت مدل‌های مناسب برای پیش‌نگری انتخاب می‌گردد تا تصویر روشنی از اقلیم منطقه در آینده برای خواننده ارائه دهد.

۲- داده‌ها و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در مرکز ایران و در منطقه شمال غرب یزد (منطقه اشکذر واقع در دشت یزد - اردکان) انجام شد (شکل ۱). دامنه مطالعاتی با مساحت ۱۹۰۵/۸۱ کیلومتر مربع، در طول جغرافیایی ۵۵-۵۳ درجه شرقی، عرض ۳۳-۳۱ درجه شمالی و ارتفاع ۱۱۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد. حداقل و حداکثر دما در منطقه ۳/۵- و ۳۶ درجه سانتی‌گراد با میانگین بارندگی سالانه ۴۸/۸۱ میلی‌متر است.

دو دوره در آینده پرداختند، به این نتیجه دست یافتند که در دوره‌های آینده دما در تمامی ایستگاه‌ها به‌طور یکنواخت افزایش می‌یابد و میزان این افزایش در مناطق ساحلی کمتر از مناطق خشکی است. در حالی‌که بارندگی دارای آهنگی نوسانی است و در دهه‌های آینده منطقه با کاهش بارندگی مواجه است. دیپایک و کولیالی (۲۰۰۵)، یک مطالعه تطبیقی در مورد مدل‌های ریزمقیاس نمایی در حوضه آبخیز ساگونای در شمال کانادا انجام دادند. آن‌ها دریافتند که روش LARS-WG، یک روند رو به رشد در میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه و یک روند کاهشی نامحسوسی را در تغییرات بارندگی در بیشتر ماه‌ها ایجاد می‌کند. نتایج نیز نشان داد که تغییر معنی‌داری در میانگین بارندگی ماهانه وجود ندارد و عملکرد مدل مناسب است. در پژوهشی محمود و بابل (۲۰۱۳)، با ریزمقیاس نمایی میانگین داده‌های بارندگی، حداقل و حداکثر دما با استفاده از مدل SDSM با دو سناریوی A2 و B2 برای سه دوره در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در پاکستان، به این نتیجه دست یافتند که شدت و فرکانس بارندگی و دما در آینده افزایش می‌یابد. حداکثر و حداقل دما در سناریوی A2 به ترتیب به میزان ۳/۱۵-۰/۹۱ و ۲/۶۳-۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد و در سناریوی B2 به میزان ۱/۹۲-۰/۶۹ و ۱/۶۳-۰/۵۳ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. آیدا و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه ای، به پیش‌نگری و تحلیل تاثیر تغییر اقلیم بر میزان ذخیره آب در مخازن سد مالزی با استفاده از مدل LARS-WG تحت سناریوهایی A1B، A2 و B1 در ۵۰ سال، پرداختند. براساس نتایج مطالعه، میانگین حداقل و حداکثر دما در حدود ۰/۷- تا ۰/۳ درجه سانتی‌گراد در آینده افزایش می‌یابد و میزان بارندگی در بیشتر ماه‌های سال کاهش می‌یابد و این می‌تواند در تولید برق مالزی تاثیر منفی ایجاد کند. محمود و شائوفنگ (۲۰۱۶)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های CMIP5 در حوضه آبریز رودخانه زیلوم پرداختند. نتایج بررسی براساس برون‌داد مدل HadGEM2-ES نشان داد که مقدار دمای هوا تا آخر قرن بیست و یکم ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. در تحقیقی جواهریان و همکاران



شکل ۱- موقعیت دامنه مطالعاتی

۲-۲- داده‌ها

در این تحقیق از داده‌های روزانه ساعت آفتابی، بارندگی، حداقل و حداکثر دما در ایستگاه اشکذر و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های موجود در منطقه شمال‌غربی یزد (ایستگاه خضرآباد و ندوشن) به عنوان پارامترهای ورودی مدل

در این تحقیق از داده‌های روزانه ساعت آفتابی، بارندگی، حداقل و حداکثر دما در ایستگاه اشکذر و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های موجود در منطقه شمال‌غربی یزد (ایستگاه خضرآباد و ندوشن) به عنوان پارامترهای ورودی مدل

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های موجود در پهنه مطالعاتی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
اشکذر	کلیماتولوژی	۵۴° ۱۹' ۰۰"	۳۲° ۰۰' ۰۰"	۱۱۴۰
خضرآباد	کلیماتولوژی	۵۴° ۱۹' ۰۱"	۳۱° ۲۴' ۰۱"	۱۷۳۲
ندوشن	کلیماتولوژی	۵۳° ۳۳' ۰۱"	۳۲° ۰۲' ۰۰"	۱۹۹۴

۲-۳- روش کار

در این مطالعه جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری از مدل LARS-WG6 که یکی از مشهورترین مدل‌ها در پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی تحت شرایط فعلی و آینده می‌باشد، استفاده شده است. این مدل توسط سمونوف و بارو (سمونوف و بارو، ۱۹۷۷) توسعه داده شد. فرآیند کلی تولید متغیرها توسط مدل مذکور را می‌توان به سه مرحله تقسیم کرد که مراحل آن به ترتیب عبارتند از: کالیبره کردن پارامترها، ارزیابی پارامترها، مدل‌سازی و تولید پارامترهای پیش‌نگری شده برای دوره آینده. مدل LARS-WG6 پارامترهای آماری را برای هر متغیر اقلیمی بر اساس پارامترهای روزانه دوره پایه شامل پارامترهای حداقل و حداکثر دما، ساعت آفتابی و بارندگی تهیه شده از ایستگاه‌های هواشناسی (جدول ۱)، محاسبه می‌کند. هنگامی که مدل کالیبره شد، یک سری پارامترهای هواشناسی روزانه پیش‌نگری و تولید می‌شود. با توجه به این‌که در ایستگاه‌های کلیماتولوژی داده ساعت

آفتابی ثبت نمی‌شود، در این مطالعه به منظور بررسی تغییر اقلیم، از داده‌های ساعت آفتابی نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به محل (یزد و میبد) استفاده شده است. چون پارامتر ساعت آفتابی در برونداد مدل به تابش برحسب مگازول بر مترمربع در روز تبدیل می‌شود، لازم است ساعت آفتابی دوره پایه به تابش تبدیل شود که برای انجام این کار از فرمول زیر استفاده می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$\text{Rad} = \left(a + b \left(\frac{n}{N} \right) \right) \cdot R_a \quad (1)$$

که در آن: Rad: تابش ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), n: ساعت آفتابی (hr), N: حداکثر ساعت روشنایی روزانه (hr), R_a : تابش خراج از جو ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), $a=0.25$ و $b=0.5$ است.

پارامترهای آماری که از فرآیند کالیبره کردن به دست می‌آیند، سپس برای تولید متغیرهای اقلیمی پیش‌نگری شده با ویژگی‌های آماری مشابه پارامترهای دوره پایه (۲۰۰۱-)

در این پژوهش، ریزمقیاس‌نمایی آماری بر اساس دو سناریوی واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 (به‌ترتیب سناریوی‌های بدبینانه و میانه) پیش‌بینی شده توسط سه زیرمدل GCM-CMIP5 که شامل GFDL-CM3، CMCC-CM و MRI-CGCM3 می‌شود، انجام شده‌است (جدول ۲). پارامترهای سه مدل CMIP5 مذکور، برای یک دوره ۸۰ ساله (۲۰۲۱-۲۱۰۰) اجرا شد و مقادیر روزانه پارامترهای تابش، بارندگی و میانگین دما برای دوره آینده تولید می‌شود. از برونداد پارامترهای اقلیمی مدل‌سازی شده در دوره آینده، میانگین ماهانه یا سالانه پارامترها را به‌دست آورده و نتایج آن‌ها با مقادیر ماهانه یا سالانه دوره پایه با استفاده از شاخص‌های آماری، مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. سپس از برونداد هر مدل، براساس هر دو سناریوی واداشت تابشی، میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی در دوره آینده به‌دست می‌آید. در نهایت با استفاده از شاخص‌های آماری، تغییرات مقادیر دوره آینده با دوره پایه مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند و بهترین مدل در پیش‌نگری پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های واقع شده در شمال‌غرب یزد مشخص می‌شود. به‌دلیل محدودیت در تعداد صفحات، تنها نتایج مربوط به ایستگاه اشکذر در این تحقیق آورده شده‌است.

۲۰۲۰) استفاده می‌شوند. برای ارزیابی کارایی و دقت مدل در پیش‌نگری پارامترهای تابش، بارندگی، حداقل و حداکثر دما در ایستگاه‌های انتخاب شده از تجزیه و تحلیل و مقایسه شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال‌شده ($NRMSE^1$) و خطای میانگین مربعات (MSE^2) بین پارامترهای دوره پایه با پارامترهای پیش‌نگری شده در مرحله کالیبره‌کردن، استفاده می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{O_{i_{max}} - O_{i_{min}}} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2 \quad (۴)$$

که در آن‌ها:

O_i : مقادیر دوره پایه (۲۰۲۰-۲۰۲۰)؛ E_i : مقادیر دوره پیش‌نگری شده؛ n : تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی؛ $O_{i_{max}}$ و $O_{i_{min}}$: حداکثر و حداقل مقادیر دوره پایه است. ضریب تبیین نشان‌دهنده میزان ارتباط مقادیر پیش‌نگری شده از مدل با مقادیر پایه است. سایر شاخص‌های خطا، هرچه به صفر نزدیک‌تر باشند، مشخص می‌شود که مدل، مقادیر محاسبه‌شده را خوب پیش‌نگری کرده و انحراف کمتری با مقادیر پایه دارد.

پس از اطمینان از کارایی بالای مدل، مدل LARS-WG6 جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری و تولید پارامترهای پیش‌نگری و مدل‌سازی شده، از GCMها استفاده می‌کند.

جدول ۲- ویژگی‌های سه مدل مورد استفاده در این پژوهش (Anne et al., 2012)

شماره	نام مدل	کشور تولید شده	تقدرت تفکیک
۱	CMCC_CM	ایتالیا	$0.74^\circ \times 0.75^\circ$
۲	GFDL-CM3	آمریکا	$2^\circ \times 2.5^\circ$
۳	MRI_CGCM3	ژاپن	$2.77^\circ \times 2.81^\circ$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی کارایی مدل

(۳)، آورده شده‌است. براساس نتایج این جدول در دوره پایه ضریب تبیین برای تمام پارامترهای مذکور به جز بارندگی نزدیک به یک است و بارندگی دارای ضریب تبیین ۰/۹۱ است، با این حال، عملکرد بسیار خوب مدل را در شبیه‌سازی

کارایی مدل LARS_WG6 در شبیه‌سازی پارامترهای تابش، بارندگی، میانگین دما، حداقل و حداکثر دما در دوره پایه (۲۰۲۰-۲۰۲۰) با استفاده از شاخص‌های آماری ذکرشده در بخش مواد و روش‌ها، برای ایستگاه اشکذر در جدول

²: Mean Squared Error

¹: Root Mean Square Error

NRMSE است عملکرد مدل در شبیه‌سازی این پارامتر نیز قابل قبول است. به‌طور کلی، کاهش مقادیر شاخص‌های خطا، بیان‌گر دقت و کارایی مطلوب و بسیار بالای مدل LARS_WG6 در شبیه‌سازی پارامترهای تابش، بارندگی، میانگین، حداقل و حداکثر دما در ایستگاه اشکذر است و مدل مذکور کارایی مطلوبی را برای پیش‌نگری پارامترها در دوره آینده دارد.

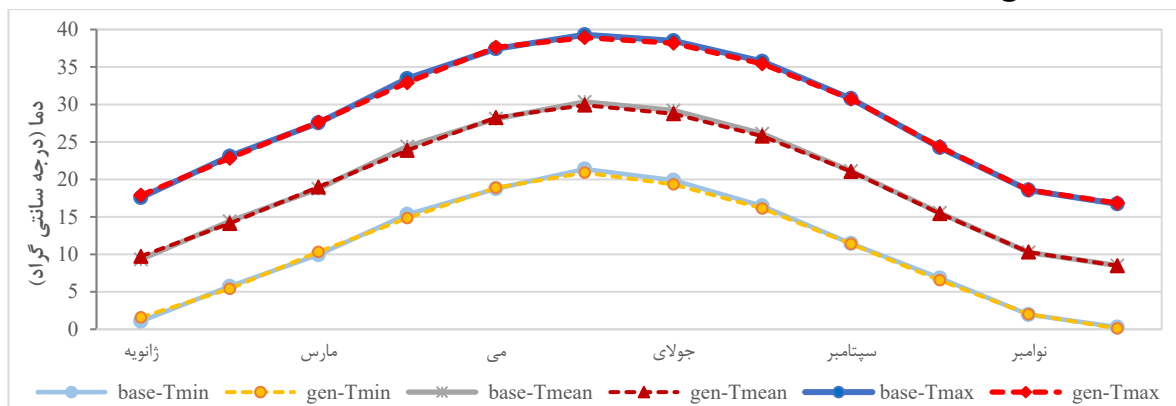
نشان می‌دهد. پارامتر تابش با داشتن NRMSE و RMSE بسیار مناسب ۱٪ و ۰/۱۳ نسبت به پارامترهای بارندگی، میانگین دما، حداقل و حداکثر دما، کمترین خطا را در شبیه‌سازی داشته‌است. میزان RMSE و NRMSE در پارامتر میانگین دما به ترتیب برابر با ۰/۳۰ و ۱٪ است. پارامتر بارندگی با داشتن RMSE، NRMSE و MSE مناسب (۰/۹۲، ۱۱٪ و ۰/۸۴)، بیشترین خطا را در مقایسه با پارامترهای دیگر دارد، با این حال چون میزان شاخص $< 20\%$

جدول ۳- نتایج شاخص‌های آماری برای ارزیابی کارایی مدل مورد استفاده در این پژوهش، ایستگاه اشکذر

نام پارامتر	R ²	RMSE	NRMSE	MSE
حداقل دما	۰/۹۹۵	۰/۳۵	۲	۰/۱۳
حداکثر دما	۰/۹۹۸	۰/۲۷	۱	۰/۰۷
میانگین دما	۰/۹۹۶	۰/۳۰	۱	۰/۰۹
تابش	۰/۹۹۹	۰/۱۳	۱	۰/۰۲
بارندگی	۰/۹۱	۰/۹۲	۱۱	۰/۸۴

انحراف معیار مقادیر دما در دوره پایه بسیار بیشتر از مقادیر انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل است. مقادیر تابش و انحراف معیار آن در دوره پایه تقریباً مساوی با مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل است. بیشترین و کمترین میزان تابش (Rad⁶) به ترتیب مربوط به ماه‌های ژوئن و دسامبر است (شکل ۴). براساس شکل (۵)، با این‌که تطابق خوبی بین میانگین ماهانه مقادیر بارندگی دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده از مدل وجود دارد، عملکرد انحراف معیار به خوبی تطابق ندارد. با این حال، نتایج هنوز قابل قبول است.

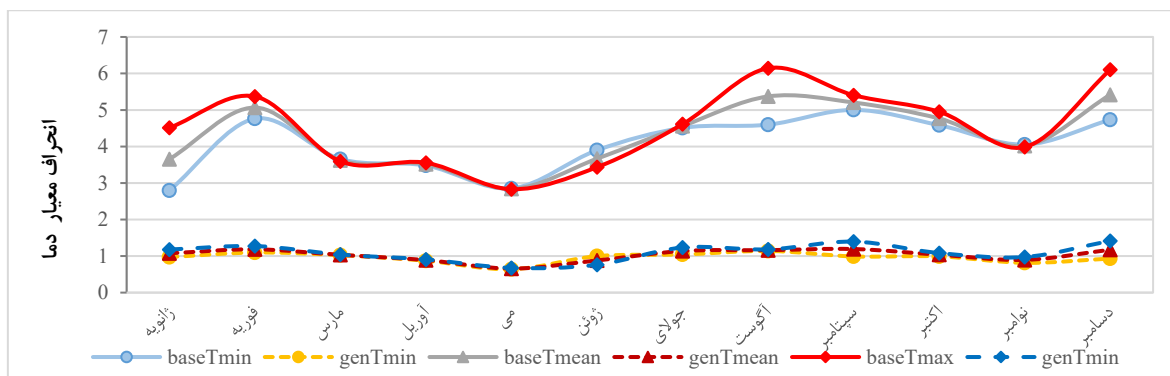
شکل‌های (۲) تا (۵)، نتایج میانگین و انحراف معیار پارامترهای اقلیمی حاصل از مقایسه مقادیر دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل را نشان می‌دهد. با دقت در شکل ۲ متوجه می‌شویم که مقادیر میانگین دما (T_{mean}¹)، حداقل دما (T_{min}²) و حداکثر دما (T_{max}³) در دوره پایه (base⁴) بسیار مشابه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل (gen⁵) است و اختلاف بسیار نامحسوسی باهم دارند و در برخی از ماه‌ها هم یکسان است. بیشترین میزان دما به ترتیب مربوط به ماه‌های ژوئن، جولای و می و کمترین میزان دما مربوط به ماه ژانویه است. براساس نتایج شکل (۳)، در تمامی ماه‌های سال،



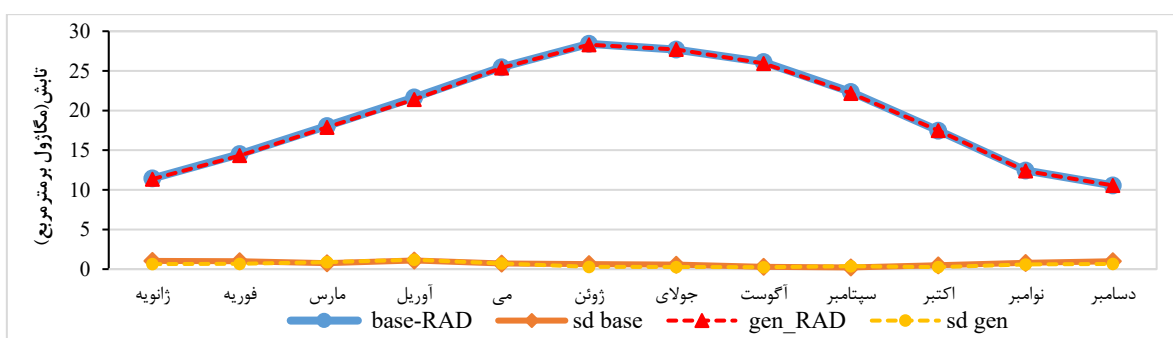
شکل ۲- مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر دما در دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل در دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۱، ایستگاه اشکذر

⁴ : Baseline
⁵ : Generation
⁶ : Radiation

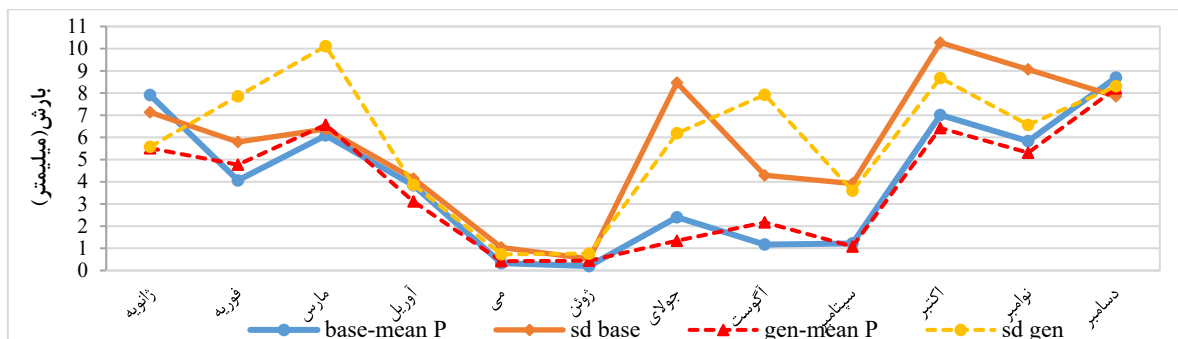
¹ : Mean Temperature
² : Minimum Temperature
³ : Maximum Temperature



شکل ۳- انحراف معیار میانگین، حداقل و حداکثر دما در دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱، ایستگاه اشکذر



شکل ۴- مقادیر میانگین و انحراف معیار داده تابش در دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱، ایستگاه اشکذر



شکل ۵- مقادیر میانگین و انحراف معیار داده بارندگی در دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱، ایستگاه اشکذر

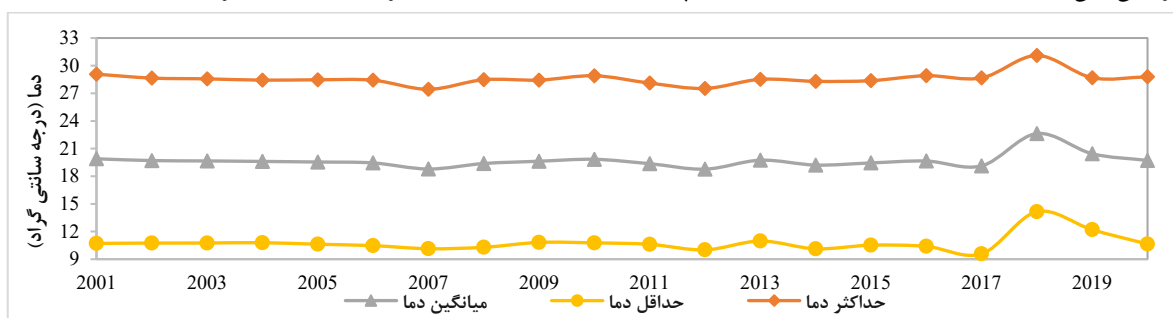
۳-۲- چشم‌انداز تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۱۰۰)

بوده‌است که حداقل، حداکثر و میانگین سالانه آن به ترتیب مقدار ۱۴/۲، ۳۱/۱ و ۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد را داشته‌است که این می‌تواند ناشی از صنعتی‌شدن جوامع، مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی و افزایش کربن دی‌اکسید اتمسفر باشد. همچنین براساس شکل (۷) و هر دو سناریوی واداشت تابشی، دما در طی دوره‌ی ۸۰ ساله، در آینده افزایش خواهد یافت. میزان این افزایش در هر دو سناریو در مدل GFDL-CM3 بیشتر از دو مدل دیگر است و مدل MRI-CGCM3

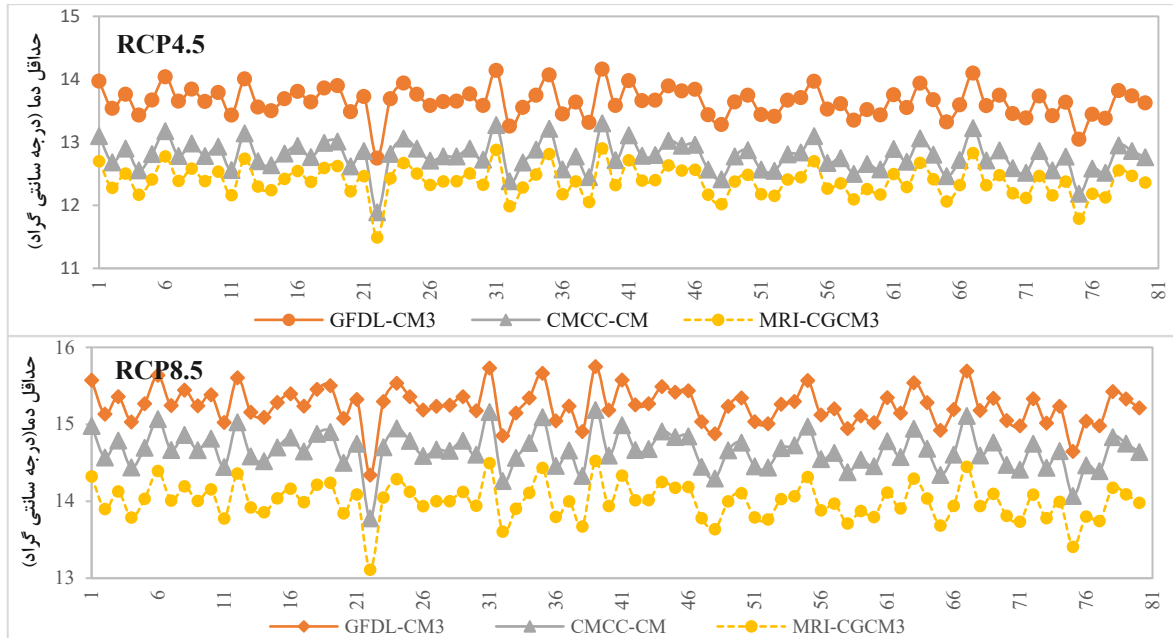
تغییرات میانگین دما یکی از مهم‌ترین پارامترها در بررسی روند تغییر اقلیم به‌شمار می‌آید. نتایج مقادیر متوسط دمای میانگین سالانه، متوسط حداقل و حداکثر دمای سالانه ایستگاه اشکذر از دوره پایه تا دوره آینده برای هر سه مدل GFDL-CM3، MRI-CGCM3 و CMCC-CM3 براساس دو سناریوی واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 در شکل (۶) و (۷) ارائه شده‌است. یافته‌های شکل (۶) نشان می‌دهد که بیشترین افزایش دمای هوا در دوره پایه مربوط به سال ۲۰۱۸

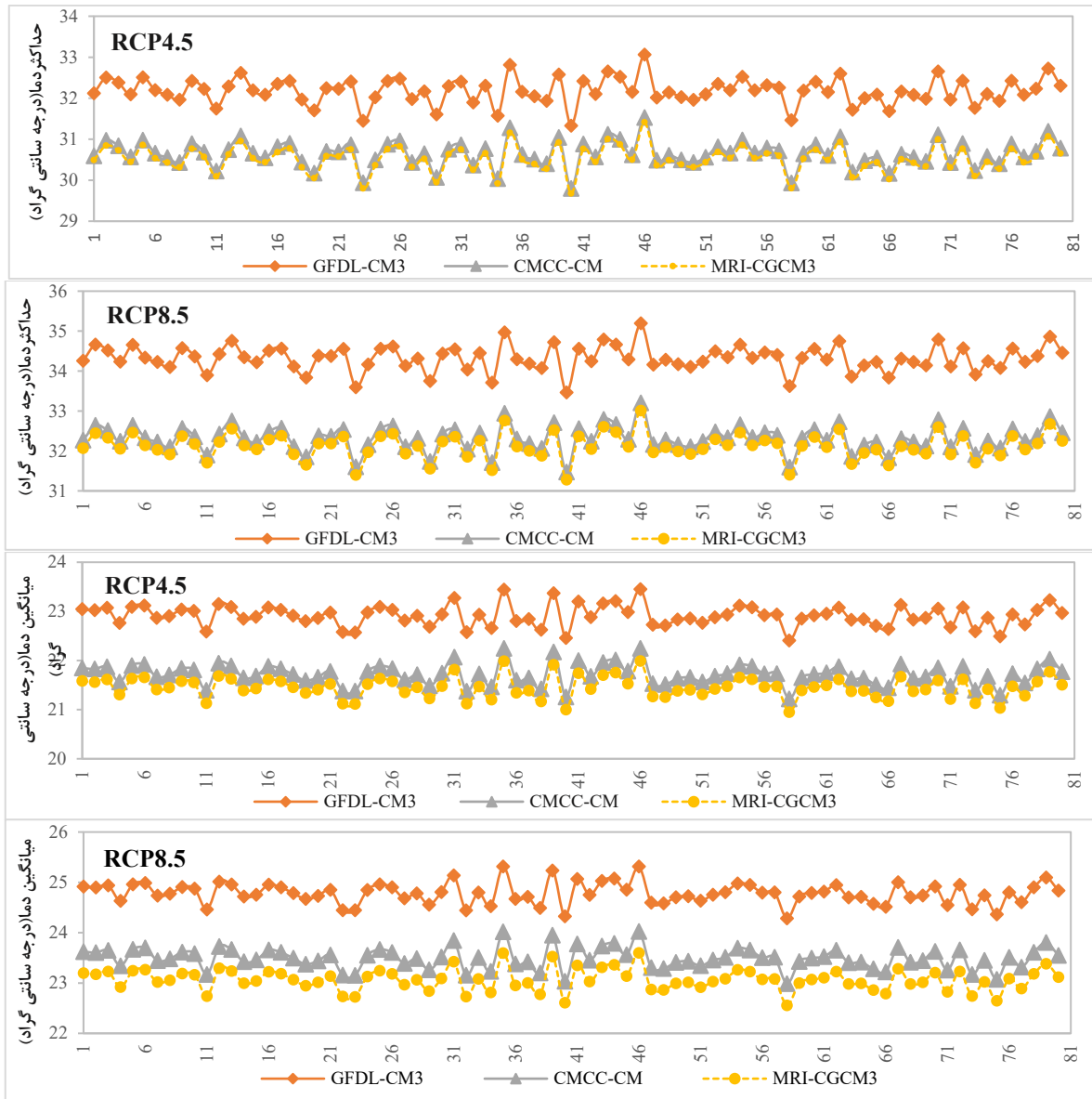
برخوردار است. به‌طوری که مدل GFDL-CM3، گرم‌ترین میزان افزایش دما را طی این دوره در آینده شامل می‌شود. این مدل در سال ۴۶ام، حداکثر دمای ۳۳/۱ درجه سانتی‌گراد را برای سناریوی ۴/۵ و دمای ۳۵/۲ درجه سانتی‌گراد را برای سناریوی بدبینانه محاسبه کرده‌است، حداقل دما در این مدل در همان سال، در سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ به‌ترتیب برابر با ۱۳/۸ و ۱۵/۴ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای سالانه از ۱/۱°C (MRI-CGCM3) تا ۴/۳°C (GFDL-CM3) برای RCP4.5 و از ۲/۶°C (MRI-CGCM3) تا ۶/۷°C (GFDL-CM3) برای RCP8.5 متغیر است.

کمترین افزایش را نسبت به دو مدل دیگر در دمای سالانه دارد. البته در مدل‌سازی حداکثر دمای آینده، نتایج مدل CMCC-CM تفاوت بسیار جزئی با نتایج حداکثر دما در مدل MRI-CGCM3 در هر دو سناریو دارد و در برخی از سال‌ها نتایج هر دو مدل با هم یکسان است. در دوره آینده در سناریو بدبینانه (RCP8.5)، دما بیشتر از سناریوی ۴/۵ افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود متوسط سالانه میانگین، حداقل و حداکثر دما از روندی افزایشی طی دوره ۸۰ سال در آینده نسبت به دوره پایه



شکل ۶- متوسط سالانه میانگین، حداقل و حداکثر دمای دوره پایه، ایستگاه اشکذر





شکل ۷- متوسط سالانه میانگین، حداقل و حداکثر دمای مدل‌سازی شده از سه مدل در طی دوره ۸۰ سال آینده برای دو سناریوی واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5. ایستگاه اشکذر

می‌شود شاخص‌های آماری مربوط به پارامتر دمای سالانه در سناریو بدبینانه (RCP8.5) نسبت به سناریوی ۴/۵ افزایش یافته‌است. در پارامترهای مربوط به دمای سالانه مدل MRI-CGCM3 کمترین میزان شاخص‌های خطا را در مدل‌سازی داشته‌است، به طوری که NRMSE و MSE، ۸٪ و ۳/۰۴ در سناریو ۴/۵ و ۱۶٪ و ۱۰/۷۳ را در سناریوی ۸/۵ دارد. میزان شاخص‌های خطا در مدل CMCC-CM نسبت به دو مدل دیگر در حد متوسط در هر دو سناریو است. بیشترین میزان خطا، در هر دو سناریوی واداشت تابشی، مربوط به مدل GFDL-CM3 است. این مدل با داشتن خطاهای زیاد به

در جدول (۴) نتایج برآورد شاخص‌های آماری در ارزیابی پارامترهای تابش، بارندگی، متوسط دمای حداقل، حداکثر و میانگین سالانه پیش‌نگری شده در هر سه مدل تحت دو سناریوی واداشت تابشی در طی دوره ۸۰ ساله (۲۰۲۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه، به صورت خلاصه آورده شده‌است. بر اساس جدول، میزان ضریب تبیین (R^2) بین پارامترهای مذکور به جز پارامتر بارندگی در هر سه مدل با مقادیر دوره پایه، تحت هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نزدیک به یک است که این نشان از دقت بسیار بالای هر سه مدل در مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی است. همان‌طور که مشاهده

ویژه $NRMSE > 20\%$ در سناریوی ۸/۵ در پیش‌نگری داده-های دما در منطقه مطالعاتی مناسب نیست. در مدل‌سازی پارامترهای دمای سالانه به ترتیب مدل‌های MRI-CGCM3 و CMCC-CM با داشتن خطای کمتر از ۲۰٪، به عنوان بهترین مدل معرفی می‌گردند.

جدول ۴- نتایج شاخص‌های آماری در ارزیابی میانگین پارامترهای اقلیمی پیش‌نگری شده از سه مدل در مقایسه با دوره پایه برای دو سناریوی واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5، ایستگاه اشکذر

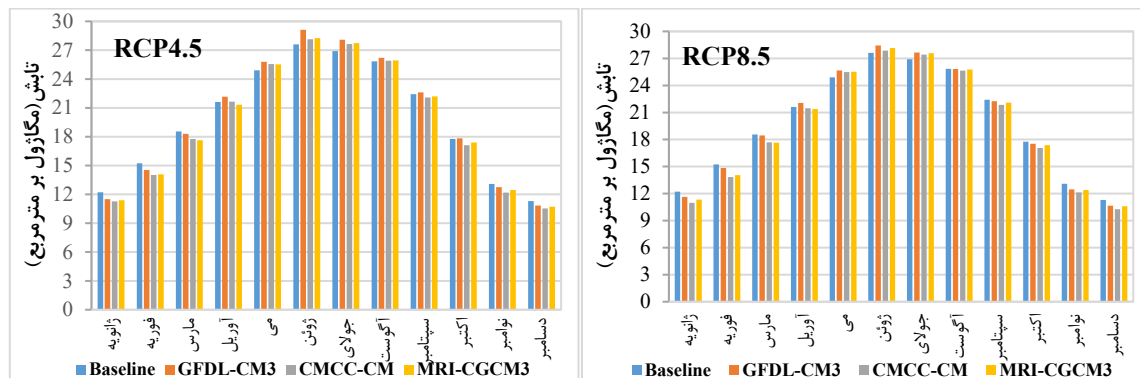
GFDL-CM3		CMCC-CM		MRI-CGCM3		GCM-CMIP5	سناریو پارامترهای اقلیمی
4.5	8.5	4.5	8.5	4.5	8.5	RCP	
۳/۰۱	۴/۶۵	۲/۰۵	۳/۹۵	۱/۶۷	۳/۲۶	RMSE	حداقل دمای سالانه
۱۴	۲۲	۱۰	۱۹	۸	۱۵	NRMSE(%)	
۹/۰۴	۲۱/۵۹	۴/۲۲	۱۵/۶۴	۲/۷۸	۱۰/۶۵	MSE	
۰/۹۹۶	۰/۹۹۵	۰/۹۹۷	۰/۹۹۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	R ²	
۳/۶۳	۵/۸۰	۲/۰۹	۳/۸۰	۱/۹۶	۳/۵۶	RMSE	حداکثر دمای سالانه
۱۶	۲۶	۹	۱۷	۹	۱۶	NRMSE(%)	
۱۳/۱۵	۳۳/۵۹	۴/۳۷	۱۴/۴۴	۳/۸۳	۱۲/۶۹	MSE	
۰/۹۹۶	۰/۹۹۴	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	R ²	
۳/۳۱	۵/۲۱	۲/۰۷	۳/۸۸	۱/۸۱	۳/۴۱	RMSE	میانگین دمای سالانه
۱۵	۲۴	۹	۱۸	۸	۱۶	NRMSE(%)	
۱۰/۴۳	۲۵/۸۲	۴/۰۲	۱۴/۰۸	۳/۰۴	۱۰/۷۳	MSE	
۰/۹۹۶	۰/۹۹۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	R ²	
۰/۷۳	۰/۵۳	۰/۷۲	۰/۸۱	۰/۶۷	۰/۶۷	RMSE	تابش
۴	۳	۴	۵	۴	۴	NRMSE(%)	
۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۵۲	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۴۵	MSE	
۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	R ²	
۱/۵۸	۱/۷۲	۲/۸۰	۳/۵۷	۱/۳۲	۱/۶۵	RMSE	بارندگی
۱۹	۲۰	۳۳	۴۲	۱۶	۲۰	NRMSE(%)	
۲/۴۸	۲/۹۴	۷/۸۳	۱۲/۷۴	۱/۷۵	۲/۷۳	MSE	
۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۷۲	۰/۶۸	۰/۸۸	۰/۸۵	R ²	

GFDL-CM3 بیشتر از مدل MRI-CGCM3 و این مدل نیز بیشتر از مدل CMCC-CM است. میزان تابش از ۱/۲۳- (CMCC-CM) تا ۱/۵۱+ (GFDL-CM3) برای RCP4.5 و از ۱/۴۱- (CMCC-CM) تا ۰/۸۳+ (GFDL-CM3) برای RCP8.5 متغیر است. براساس یافته‌های جدول ۴، مدل GFDL-CM3 با داشتن NRMSE و MSE بسیار مناسب ۳٪ و ۰/۲۸ در سناریوی بدبینانه، کمترین میزان خطا را دارد، سپس مدل MRI-CGCM3 با داشتن $NRMSE=4\%$ در هر دو سناریوی واداشت تابشی، دارای خطای کمتری است. بیشترین میزان خطا در پارامتر تابش مربوط به مدل CMCC-CM در سناریو ۸/۵ است که این

روند تغییرات تابش مدل‌سازی شده با سه مدل گردش کلی برای دوره آینده نسبت به دوره پایه، در شکل ۸ برای ایستگاه اشکذر نشان داده شده است. مطابق این شکل، در ماه‌های فصل زمستان (ژانویه، فوریه، مارس) و پائیز (اکتبر، نوامبر و دسامبر) تابش در هر سه مدل در دوره آینده نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد و در سایر ماه‌ها که متعلق به فصل تابستان و بهار هستند، تابش در مدل‌های مختلف نسبت به دوره پایه به میزان خیلی کمی افزایش می‌یابد. بیشترین میزان تابش هم در دوره پایه و هم در دوره آینده در هر دو سناریو مربوط به فصل تابستان و ماه‌های ژوئن و جولای است. مدل‌سازی تابش در سناریو بدبینانه کمتر از سناریوی ۴/۵ و در مدل

هستند. به ترتیب مدل‌های MRI-CGCM3، GFDL-CM3 و CMCC-CM به عنوان بهترین مدل در مدل‌سازی پارامتر تابش معرفی می‌شوند.

می‌تواند به دلیل پیش‌نگری کمتر تابش در دوره آینده نسبت به دوره پایه در این مدل باشد. با این وجود هر سه مدل با داشتن مقادیر $NRMSE \leq 5\%$ دارای کارایی بسیار بالایی در مدل‌سازی و پیش‌نگری پارامتر تابش در منطقه مورد پژوهش

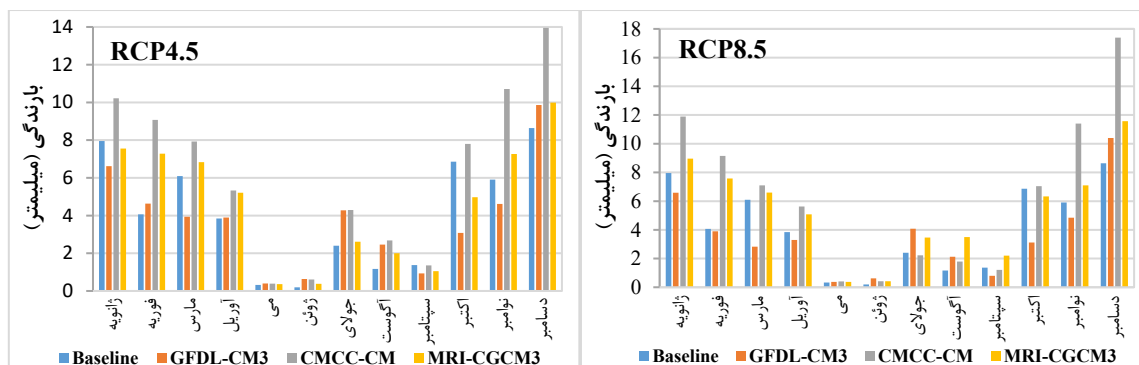


شکل ۸- میانگین تابش مدل‌سازی شده از سه مدل در دوره آینده نسبت به دوره پایه برای RCP4.5 و RCP8.5، ایستگاه اشکذر

بیشتر از سناریوی واداشت تابشی ۴/۵ افزایش یافته‌است. بیشترین میزان افزایش خطا مربوط به مدل CMCC_CM است به طوری که میزان NRMSE و MSE به ترتیب از ۳۳٪ و ۷/۸۳ در RCP4.5 به ۴۲٪ و ۱۲/۷۴ در RCP8.5 افزایش و میزان ضریب تبیین (R^2) از ۰/۷۲ به ۰/۶۸ کاهش یافته- است، بنابراین این مدل به دلیل عملکرد ضعیف، در پیش‌نگری بارندگی در این منطقه مناسب نیست. کمترین میزان خطا مربوط به مدل MRI-CGCM3 با NRMSE، MSE، R^2 و RMSE مناسب ۱۶٪، ۱/۷۵، ۱/۳۲ و ۰/۸۸ در RCP4.5 (سناریوی میانه) است. مدل GFDL - CM3 به- ترتیب دارای NRMSE، MSE و R^2 مساوی با ۱۹٪، ۲/۴۸ و ۰/۸۹ در RCP4.5 و ۲۰٪، ۲/۹۴ و ۰/۸۵ در RCP8.5 است. باتوجه به این‌که هر دو مدل MRI-CGCM3 و GFDL - CM3 با داشتن $NRMSE \leq 20\%$ و سایر شاخص- های خطای کم و قابل قبول، برای مدل‌سازی مقادیر بارندگی در شمال‌غرب یزد مناسب هستند، اما با افزایش دما در دوره آینده، انتظار می‌رود بارندگی در این منطقه کاهش یابد و چون مدل GFDL-CM3 بارندگی برای دوره آینده (۲۰۲۰-۲۱۰۰) را کمتر از دوره پایه مدل‌سازی کرده‌است، مدل GFDL-CM3 بر مدل MRI-CGCM3 ارجحیت دارد و به عنوان بهترین مدل در پیش‌نگری پارامتر بارندگی در منطقه شمال‌غربی یزد معرفی می‌شود

نتایج تغییرات مجموع میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه اشکذر از دوره پایه تا دوره آینده برای هر سه مدل GCM-CMIP5 در هر دو سناریو در شکل (۹) ارائه شده‌است. مجموع میانگین بارندگی سالانه در دوره پایه ۴۸/۸۲ میلیمتر است. با این حال، بیشترین میزان بارندگی در دوره پایه در ماه‌های دسامبر، ژانویه و اکتبر به ترتیب به میزان ۸/۶۴، ۷/۹۶ و ۹/۸۶ میلیمتر، مشاهده شد. کمترین میزان بارندگی در دوره پایه در ماه‌های فصل تابستان (می و ژوئن) با بارش کمتر از ۱ میلیمتر است. مجموع میانگین بارندگی سالانه در آینده از ۳/۴۸- (GFDL-CM3) تا ۶/۶۸+ (MRI-CGCM3) و ۲۵/۵۲+ (CMCC_CM) میلیمتر در RCP4.5 و از ۵/۸۶- (GFDL-CM3) تا ۱۴/۳۷+ (MRI-CGCM3) و ۲۶/۸۵+ (CMCC_CM) میلیمتر برای RCP8.5 متغیر است. بنابراین به ترتیب مدل‌های CMCC_CM و MRI-CGCM3، مجموع بارندگی آینده را بیشتر از دوره پایه پیش‌نگری کرده‌اند و مدل GFDL-CM3 مجموع بارندگی را کمتر از دوره پایه در آینده مدل‌سازی و پیش‌نگری کرده- است. این افزایش و کاهش بارندگی در آینده در RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 است. بیشترین و کمترین افزایش بارندگی در آینده در هر سه مدل در هر دو سناریو به ترتیب مربوط به ماه دسامبر و می است.

نتایج جدول (۴) بیان‌گر این است که میزان شاخص‌های آماری پارامتر بارندگی در هر سه مدل در سناریوی بدبینانه



شکل ۹- مجموع میانگین بارندگی مدل‌سازی شده از سه مدل در دوره آینده نسبت به دوره پایه برای RCP4.5 و RCP8.5، ایستگاه اشکذر

به دوره پایه متغیر است. بیشترین کاهش بارندگی نیز مربوط به ایستگاه ندوشن و ماه نوامبر (GFDL_CM3-RCP4.5) به میزان ۶/۱۹- میلیمتر است. جمع سالانه تغییرات بارندگی نیز نشان می‌دهد که مدل GFDL_CM3، در هر سه ایستگاه و هر دو سناریو، بارندگی را برای دوره آینده کمتر از دوره پایه مدل‌سازی نموده است در حالی که در دو مدل دیگر به جز MRI_CGCM3-RCP4.5 و ایستگاه ندوشن، در تمامی ایستگاه‌ها و سناریوها، بارندگی با افزایش نسبت به دوره پایه مواجه است که این افزایش بارندگی در آینده می‌تواند به شکل رگباری و سیل‌آسا در منطقه مطالعاتی محتمل شود. بیشترین افزایش بارندگی آینده مربوط به مدل CMCC_CM و ایستگاه خضرآباد در هر دو سناریو، و بیشترین کاهش بارندگی سالانه مربوط به ایستگاه ندوشن و سناریوی بدبینانه (۱۸/۰۴- میلیمتر) است. تابش در آینده با دوره پایه نوسان زیادی ندارد. تابش در ماه‌های تابستان نسبت به دوره پایه با افزایش و در ماه‌های زمستان و پاییز با کمی کاهش مواجه است و این افزایش تابش در سناریوی ۴/۵ بیشتر از سناریوی بدبینانه است (جدول ۵).

تغییرات ماهانه متوسط میانگین دما، تابش و مجموع بارندگی مدل‌سازی شده از سه مدل مورد مطالعه در دوره آینده نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریوی واداشت تابشی در تمامی ایستگاه‌ها (ندوشن، خضرآباد و اشکذر) در جدول (۵) ذکر گردیده است. براساس یافته‌های این جدول، تغییرات میانگین دما در هر سه ایستگاه و هر سه مدل در آینده نسبت به دوره پایه افزایشی است و میزان این افزایش در سناریوی بدبینانه بیشتر از RCP4.5 است. کمترین و بیشترین میزان افزایش مربوط به ایستگاه‌های ندوشن (MRI_CGCM3-RCP4.5) و اشکذر (GFDL_CM3-RCP4.5) به ترتیب به میزان ۰/۹ (ماه ژانویه) و ۶/۷ (ماه جولای) درجه سانتی‌گراد است. هم‌چنین جدول ۵ نشان می‌دهد که به دلیل عدم بارندگی شبیه‌سازی شده در تابستان، در آینده نیز در ماه‌های تابستان بارندگی وجود ندارد یا میزان آن به ندرت به ۲ میلیمتر در ماه می‌رسد که این میزان بسیار ناچیز بوده و نادیده گرفته می‌شود. بیشترین افزایش بارندگی در هر دو سناریو مربوط به ایستگاه خضرآباد، مدل CMCC_CM در ماه دسامبر و ژانویه است به طوری که بارندگی در ماه دسامبر به میزان ۱۰/۷۹ (RCP4.5) و ۱۳/۸۲ (RCP8.5) میلیمتر نسبت

جدول ۵- تغییرات ماهانه متوسط بلندمدت میانگین دما، تابش و مجموع بارندگی مدل‌سازی شده از سه مدل در دوره آینده نسبت به دوره پایه برای RCP4.5 و RCP8.5 در تمامی ایستگاه‌ها

MRI_CGCM3				CMCC_CM				GFDL_CM3				مدل GCM							
اشکذر		خضراآباد		ندوشن		اشکذر		خضراآباد		ندوشن		اشکذر		خضراآباد		ندوشن		ایستگاه	
۸/۵	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵	۴/۵	۸/۵	۴/۵	سناریو	داده
۳/۵۴	۲/۲۶	۱/۶۷	-۰/۹۷	۱/۵۸	-۰/۸۶	۲/۹۵	۲/۵۱	۱/۸۹	۱/۰۶	۱/۷۴	-۰/۹۳	۴/۱۱	۲/۸۵	۱/۹۴	۱/۳۲	۱/۸۰	۱/۱۷	ژانویه	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)
۳/۰۱	۱/۵۶	۲/۵۹	۱/۷۱	۲/۳۴	۱/۴۴	۲/۷۰	۱/۳۴	۲/۳۵	۱/۶۹	۲/۰۶	۱/۳۹	۳/۱۱	۱/۸۳	۲/۵۷	۱/۸۸	۲/۳۰	۱/۵۹	فوریه	
۴/۱۵	۲/۴۳	۲/۹۶	۱/۷۳	۳/۱۲	۱/۸۹	۳/۳۰	۱/۸۱	۲/۴۴	۱/۶۳	۲/۵۸	۱/۷۷	۴/۰۹	۲/۷۳	۲/۹۳	۲/۰۷	۳/۰۸	۲/۲۱	مارس	
۳/۳۸	۱/۷۷	۲/۶۰	۱/۳۶	۲/۶۵	۱/۴۲	۲/۸۲	۱/۳۵	۲/۲۹	۱/۳۰	۲/۳۴	۱/۳۶	۴/۱۹	۲/۷۵	۳/۰۵	۲/۱۸	۳/۱۰	۲/۲۴	آوریل	
۲/۳۸	۲/۱۱	۲/۳۵	۱/۴۴	۲/۳۰	۱/۳۹	۳/۵۲	۲/۰۸	۲/۵۰	۱/۴۸	۲/۴۵	۱/۴۴	۵/۵۹	۴/۰۱	۳/۶۹	۲/۸۶	۳/۶۲	۲/۸۱	می	
۲/۶۴	۱/۴۹	۱/۸۸	۱/۱۲	۱/۲۹	۱/۱۲	۲/۴۲	۱/۷۵	۲/۳۵	۱/۳۶	۲/۳۶	۱/۳۶	۵/۹۹	۴/۱۴	۳/۱۹	۳/۱۹	۴/۱۱	۳/۱۵	ژوئن	
۲/۷۸	۱/۳۰	۱/۸۹	۱/۱۵	۱/۹۱	۱/۱۷	۴/۰۳	۲/۰۹	۲/۶۷	۱/۶۸	۲/۷۲	۱/۷۲	۶/۷۴	۴/۲۷	۴/۸۴	۳/۵۴	۴/۸۱	۳/۵۶	جولای	
۲/۸۷	۱/۰۶	۲/۱۷	۱/۱۹	۱/۸۶	-۰/۸۹	۴/۴۸	۲/۱۰	۳/۱۵	۱/۹۸	۲/۹۰	۱/۷۱	۶/۳۶	۳/۷۶	۴/۸۰	۳/۴۱	۴/۵۵	۳/۱۳	اگوست	
۳/۸۱	۱/۸۴	۲/۵۵	۱/۴۲	۲/۴۲	۱/۳۰	۵/۵۵	۲/۸۶	۳/۶۲	۲/۲۳	۳/۵۲	۲/۱۴	۶/۵۲	۳/۹۹	۴/۶۹	۳/۲۳	۴/۵۹	۳/۱۳	سپتامبر	
۳/۷۲	۱/۷۲	۲/۴۱	۱/۳۶	۲/۳۵	۱/۳۱	۴/۵۹	۲/۳۷	۲/۸۴	۱/۶۸	۲/۸۰	۱/۶۴	۵/۳۹	۳/۰۱	۳/۷۳	۲/۴۴	۳/۶۸	۲/۳۹	اکتبر	
۴/۰۴	۲/۰۵	۲/۷۹	۱/۸۱	۲/۹۰	۱/۹۴	۳/۸۷	۲/۳۴	۲/۵۲	۱/۶۶	۲/۶۷	۱/۸۰	۴/۹۵	۲/۸۶	۳/۴۷	۲/۴۵	۳/۶۰	۲/۵۸	نوامبر	
۲/۳۰	۱/۶۵	۱/۹۷	۱/۱۴	۲/۱۷	۱/۳۵	۲/۳۶	۱/۷۸	۱/۹۸	۱/۰۷	۲/۱۶	۱/۲۷	۴	۲/۴۵	۲/۴۸	۱/۷۱	۲/۶۴	۱/۸۷	دسامبر	
۱/۰۱	-۰/۴۱	۵/۷۳	۴/۲۲	-۳/۲۲	-۳/۳۵	۳/۹۴	۲/۲۶	۱۰/۲۹	۸/۸۰	-۰/۸۴	-۲/۵۰	-۱/۳۷	-۱/۳۴	۱/۲۵	-۰/۳۶	-۴/۳۶	-۴/۷۱	ژانویه	بارندگی (میلیمتر)
۳/۵۲	۳/۲۲	-۱/۱۵	-۱/۶۱	۲/۶۱	۱/۹۵	۵/۰۸	۱/۰۵	-۰/۸۱	-۰/۵۳	۳/۱۷	۳/۳۲	-۰/۱۷	-۰/۵۸	-۵/۸۸	-۵/۸۳	-۲/۷۶	-۲/۷۰	فوریه	
-۰/۵۱	-۰/۷۴	۵	۴/۸۷	۱/۷۰	۱/۷۵	۱/۰۱	۱/۸۴	۳/۶۳	۵/۹۰	۱	۲/۸۰	-۳/۳۶	-۲/۱۶	-۴/۰۴	-۳/۲۵	-۴/۳۳	-۴/۳۳	مارس	
۱/۲۴	۱/۳۷	۳/۸۱	۱/۰۶	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۹۹	۱/۴۹	۳/۳۸	۴/۲۴	-۰/۴۰	-۰/۵۵	۰	-۰/۶۳	۰	-۲/۲۵	-۰/۸۳	-۱/۲۳	آوریل	
۰	۰	۰	-۰/۲۷	۲/۸۷	۲/۷۴	۰	۰	۰	۰	۲/۷۸	۳/۵۳	۰	۰	۱/۱۳	۱/۲۹	۲/۹۹	۴/۲۶	می	
-۰/۲۳	۰	۱/۲۷	۱/۲۹	-۰/۴۰	-۰/۲۷	-۰/۲۳	-۰/۴۱	۱/۵۵	۱/۹۱	-۰/۴۵	-۰/۵۲	-۰/۴۲	-۰/۴۴	۲/۰۷	۲/۰۸	-۰/۶۰	-۰/۶۰	ژوئن	
۱/۰۶	۰	۰	۰	-۰/۴۹	-۰/۵۰	-۰/۱۷	۱/۹۰	۰	۰	-۰/۵۰	-۰/۴۹	۱/۶۸	۱/۸۸	۰	۰	-۰/۴۹	-۰/۴۸	جولای	
۲/۳۳	-۰/۸۳	۰	۰	۰	۰	-۰/۶۲	۱/۵۱	۰	۰	۰	-۰/۹۶	۱/۳۹	۰	۰	۰	۰	۰	اگوست	
-۰/۸۴	-۰/۳۲	۰	۰	۰	۰	-۰/۱۶	۰	۰	۰	۰	-۰/۵۸	-۰/۴۴	۰	۰	۰	۰	۰	سپتامبر	
-۰/۵۳	-۱/۸۹	-۰/۵۸	-۰/۳۳	۱/۶۸	۱/۴۲	۰	-۰/۹۴	-۰/۶۶	-۰/۶۳	۲/۷۸	۲/۷۲	-۳/۷۴	-۳/۷۸	۰	۰	-۰/۴۹	-۰/۴۸	اکتبر	
۱/۱۹	۱/۳۵	-۰/۶۷	-۰/۹۵	-۳/۴۱	-۳/۸۲	۵/۴۹	۴/۸۰	۳/۲۶	۲/۰۸	-۰/۸۰	-۰/۵۱	-۱/۰۷	-۱/۲۹	-۳/۵۱	-۳/۸۳	-۵/۹۵	-۶/۱۹	نوامبر	
۲/۹۳	۱/۳۵	۶/۳۰	۵/۶۹	-۲	-۲/۱۵	۸/۷۵	۵/۳۱	۱۳/۸۲	۱۰/۷۹	۲/۱۲	۰	۱/۷۶	۱/۲۲	۴/۶۶	۳/۵۹	-۲/۳۴	-۳/۱۰	دسامبر	
۱۴/۲۷	۶/۶۸	۲۰/۸۸	۱۷/۳۳	۱/۱۹	-۰/۷۲	۲۶/۸۵	۲۵/۵۳	۳۵/۹۴	۳۴/۰۷	۱۳/۱۴	۱۱/۸۸	-۵/۸۶	-۳/۳۸	-۴/۹۴	-۵/۴۱	-۱۸/۰۴	-۱۷/۸۳	جمع سالانه	تابش (مگاژول بر مترمربع)
-۰/۸۹	-۰/۸۳	-۰/۷۱	-۰/۶۹	-۰/۸۰	-۰/۷۸	-۱/۳۴	-۰/۹۵	-۰/۸۸	-۰/۷۵	-۱	-۰/۸۵	-۰/۵۹	-۰/۷۲	-۰/۵۷	-۰/۵۵	-۰/۴۵	-۰/۳۳	ژانویه	
-۱/۱۸	-۱/۱۵	-۰/۹۹	-۰/۶۶	-۱/۱۵	-۱/۱۳	-۱/۴۱	-۱/۲۳	-۱/۰۵	-۱	-۱/۲۱	-۱/۱۵	-۰/۳۹	-۰/۷۰	-۰/۵۳	-۰/۵۹	-۰/۶۷	-۰/۷۳	فوریه	
-۰/۹۰	-۰/۹۲	-۰/۷۴	-۰/۷۲	-۰/۹۵	-۰/۹۳	-۰/۸۷	-۰/۷۹	-۰/۶۱	-۰/۶۵	-۰/۸۲	-۰/۸۴	۰	-۰/۲۶	-۰/۲۵	-۰/۲۷	-۰/۴۱	-۰/۴۳	مارس	
-۰/۳۲	-۰/۳۸	-۰/۶۶	-۰/۶۶	-۰/۲۲	-۰/۲۲	-۰/۱۳	۰	-۰/۵۳	-۰/۵۳	۰	۰	-۰/۴۵	-۰/۵۶	-۰/۲۲	۰	-۰/۲۶	-۰/۴۳	آوریل	
-۰/۶۱	-۰/۶۱	-۰/۶۶	-۰/۳۱	-۰/۲۷	-۰/۲۲	-۰/۵۸	-۰/۶۵	-۰/۲۸	-۰/۳۵	-۰/۲۹	-۰/۳۸	-۰/۷۵	-۰/۸۸	-۰/۷۰	۱/۰۹	-۰/۷۵	۱/۱۰	می	
-۰/۵۴	-۰/۶۴	-۰/۵۶	-۰/۶۹	-۰/۶۹	-۰/۸۱	-۰/۲۵	-۰/۵۲	-۰/۴۸	-۰/۵۷	-۰/۶۰	-۰/۷۰	-۰/۸۳	۱/۵۱	-۰/۸۲	۱/۴۱	-۰/۸۸	۱/۳۵	ژوئن	
-۰/۶۷	-۰/۸۴	-۰/۶۲	-۰/۷۵	-۰/۵۹	-۰/۷۰	-۰/۵۱	-۰/۷۳	-۰/۶۲	-۰/۷۲	-۰/۵۹	-۰/۶۸	-۰/۷۴	۱/۱۹	-۰/۷۱	-۰/۹۵	-۰/۶۸	-۰/۸۹	جولای	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۳۶	۰	-۰/۱۹	۰	۰	۰	اگوست	
-۰/۳۲	-۰/۲۴	-۰/۲۲	-۰/۲۱	-۰/۲۶	-۰/۲۱	-۰/۵۷	-۰/۳۵	-۰/۲۲	-۰/۲۱	-۰/۲۹	-۰/۳۱	-۰/۱۷	-۰/۱۹	-۰/۲۲	-۰/۱۹	-۰/۱۷	۰	سپتامبر	
-۰/۴۰	-۰/۳۷	-۰/۳۲	-۰/۳۲	-۰/۳۰	-۰/۲۸	-۰/۷۰	-۰/۶۴	-۰/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۴۸	-۰/۴۷	-۰/۳۳	۰	-۰/۳۱	-۰/۲۹	-۰/۱۷	۰	اکتبر	
-۰/۷۰	-۰/۶۳	-۰/۶۱	-۰/۶۰	-۰/۶۰	-۰/۵۸	-۰/۹۶	-۰/۹۰	-۰/۷۶	-۰/۷۶	-۰/۷۵	-۰/۷۴	-۰/۳۳	-۰/۵۲	-۰/۳۶	-۰/۳۶	-۰/۵۰	-۰/۳۵	نوامبر	
-۰/۷۰	-۰/۵۸	-۰/۹۳	-۰/۸۹	-۰/۹۴	-۱/۰۳	-۰/۷۷	-۱/۰	-۰/۹۶	-۱/۱۰	-۱/۱۲	-۰/۹۹	-۰/۶۵	-۰/۴۷	-۰/۹۰	-۰/۷۶	-۰/۸۹	-۰/۷۶	دسامبر	

۴- نتیجه‌گیری

یزد، با استفاده از سه مدل گردش کلی از سری CMIP5 موجود در LARS-WG6 تحت دو سناریوی واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 برای یک دوره ۸۰ ساله در آینده پیش‌نگری شدند. دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱ به عنوان دوره پایه معرفی شد. براساس نتایج به‌دست آمده، مدل مذکور کارایی مناسبی را در پیش‌نگری پارامترهای مذکور در

تغییر اقلیم و پیامدهای مرتبط با آن، علاوه بر ته‌لیدی برای کره زمین، محیط‌های طبیعی و انسان‌ساخت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. افزایش گازهای گلخانه‌ای و به‌تبع آن افزایش گرمای جهانی، در آینده تغییر اقلیم و خشکسالی را با هم‌راه خواهد داشت. در این پژوهش، پارامترهای اقلیمی تابش، بارندگی، دمای حداقل، حداکثر و میانگین منطقه شمال‌غرب

میزان این افزایش در سناریوی ۴/۵ بیشتر از سناریو بدبینانه است و این با نتایج طائی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۴) انطباق دارد. نتایج مدل‌سازی پارامتر بارندگی در آینده نسبت به دوره پایه نشان داد که مقادیر بارندگی در آینده در تمامی ایستگاه‌ها و سناریوها در مدل GFDL-CM3 کاهش می‌یابد و این پیش‌نگری کاهش بارندگی آینده با نتایج تحقیق یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۸)، حاجی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۹)، فرزانه و همکاران (۱۴۰۰) و آیدا و همکاران (۲۰۱۶) منطبق است. با افزایش دمای هوا، افزایش تابش به ویژه در فصل تابستان و کاهش بارندگی در آینده، آب‌وهوای شمال‌غربی یزد نسبت به دوره پایه گرم‌تر می‌شود. در نتیجه در آینده شاهد افزایش تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان، فقدان پوشش گیاهی و لخت شدن سطح خاک، کاهش آب خاک و تغذیه آبهای زیرزمینی، افزایش سرعت باد، فرسایش بادی و ایجاد طوفان گردوغبار در منطقه هستیم که این تغییرات همراه با اثر انسانی زیاد، سبب افزایش میزان خشکی و خشکسالی شدید و در نتیجه بیابان‌زایی در منطقه می‌شود که در نتیجه ممکن است سبب تخریب اکوسیستم، تهدید سیستم‌های حیاتی و سکونتگاه‌ها شود. بنابراین از نتایج حاصل از این مقاله می‌توانیم در برنامه‌ریزی‌های مرتبط با مدیریت منابع طبیعی استفاده کنیم و تمهیدات لازم برای کاهش میزان خشکسالی و بیابان‌زایی در آینده را در دستور کار قرار دهیم.

منطقه‌ی مطالعاتی دارد که این با نتایج زهره‌وندی و همکاران (۱۳۹۸) و دیبایک و کولیالی (۲۰۰۵) تطابق دارد. نتایج هم‌چنان نشان می‌دهد که دما در آینده در هر دو سناریو افزایش می‌یابد و میزان این افزایش در سناریو بدبینانه بیشتر از سناریوی واداشت تابشی ۴/۵ است. میزان افزایش میانگین دما در ایستگاه‌های ندوشن، خضرآباد و اشکذر به ترتیب بین ۰/۳-۹/۶، ۰/۳-۹/۵ و ۱/۶-۴/۳ درجه سانتی‌گراد برای RCP4.5 و بین ۱/۷-۴/۸، ۱/۶-۴/۸ و ۱/۷-۶/۴ درجه سانتی‌گراد برای RCP8.5 تغییر می‌کند که بیشترین میزان این افزایش در تمامی ایستگاه‌ها مربوط به ماه جولای و مدل GFDL-CM3 و بیشترین کاهش مربوط به مدل MRI-CGCM3 است. و این با نتایج خزائی و همکاران (۱۳۹۸)، زهره‌وندی و همکاران (۱۳۹۸)، عسگری و همکاران (۱۳۹۹)، دسترنج و رستمی‌خلج (۱۳۹۹)، مساح‌بوانی و همکاران (۱۴۰۰)، فرزانه و همکاران (۱۴۰۰)، محمود و بابل (۲۰۱۳)، آیدا و همکاران (۲۰۱۶) و جواهریان و همکاران (۲۰۲۱) تطابق بسیاری دارد. در پیش‌نگری پارامتر دما به ترتیب مدل‌های MRI-CGCM3 و CMCC-CM با داشتن $NRMSE < 20\%$ به عنوان بهترین مدل معرفی می‌گردند. در مدل‌سازی تابش در دوره آینده تفاوت قابل قبولی با دوره پایه مشاهده نشده‌است، در تمامی ماه‌ها به جز ماه‌های زمستان و پائیز تابش به میزان خیلی کمی در آینده افزایش می‌یابد و

منابع

- overview of climate changes of temperature and precipitation in the CORDEX range of south Asia (Case study: Dez Watershed). *Journal of Geography and Regional Development*, 18(1), 225-252, (In Persian).
- Babaian, I., Karimian, M., Modirian, R., & Mirzaei, E. (2019). Prediction of the country climatic parameters by using the general circulation models of CMIP5 series for the period 2020-1100, *NIVAR Scientific and Extension Journal*, 104-105, 1-10, (In Persian).
 - Beecham, S., Rashid, M., & Chowdhury, R. K. (2014). Statistical downscaling of multi-site daily rainfall in a South Australian catchment using a Generalized Linear Model. *Journal of Hydrology*, 518, 1-15.
 - Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration- guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 56, 1-15.
 - Aida, T., Thamer, A. M., Abdul, H. G., Malek, M. A., & Mashohor, S. (2016). Potential impacts of climate change on precipitation and temperature at Jor Dam lake. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 24, 575-586.
 - Anne, G., Le, T. H., Pham Ha, L., Luc, H., Pierre, O., Le Thi, T. H., Nguyen, T. B., & Pham, Q. V. (2012). Impact of global climate change and desertification on the environment and society in Southern Centre of Vietnam (case study in Binh Thuan province). Final report of the bilateral Belgian-Vietnamese project. 1-54.
 - Asgari, E., Baaghdeh, M., Kamyar, A., Entezari, A., & Hosseini, M. (2020). An

- Journal of Environmental science and technology*, 9, 15-30, (In Persian).
18. Kim, B. S., Kim, H. S., Seoh, B. H., & Kim, N. W. (2007). Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21, 355-373.
 19. Mahmood, R., & Babel, M.S. (2013). Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theoretical and Applied Climatology*, 113, 27-44.
 20. Mahmood, R., & Shao Feng, J. I. A. (2016). An extended linear scaling method for downscaling temperature and its implication in the Jhelum River basin, Pakistan, and India, using CMIP5 GCMs. *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 725-734.
 21. Massah Bavani, A. R., Ghasemzadeh, S., Rozbahani, A., & Rajaei, F. (2022). Predicting climate change using the multiple group model approach in qarasu watershed. *ECO Hydrology*, 4, 1189-1197, (In Persian).
 22. Salehpour Jam, A., Mohseni Saravi, M., Bazrafshan, J., & Khalighi, Sh. (2015). Investigation of climate change effect on drought characteristics in the future period using the HadCM3 model (Case Study: Northwest of Iran). *Rang and Watershed Management*, 4, 537-548, (In Persian).
 23. Segui, P. Q., Ribes, A., Martin, E., Habets, F., & Boe, J. (2010). Comparison of three downscaling methods in simulating the impact of climate change on the hydrology of Mediterranean basins. *Journal of Hydrology*, 383(1), 111-124.
 24. Semenov, M.A., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 1, 1-14.
 25. Sharma, D., Gupta, A.D., & Babel, M.S. (2007). Spatial disaggregation of bias corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River Basin, Thailand. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1373-1390.
 26. Taei Semirmi, S., Moradi, H.R., & KhodaGholi, M. (2015). Predicted changes in some of climate variables using downscale model LARS-WG and output of HADCM3 model under different scenarios. *Watershed Engineering and Management*, 2, 145-156, (In Persian).
 27. Yaghoobzadeh, M., & Rahmani, Y. (2020). Evaluation models and scenarios of the climate change Fifth Report in estimation temperature and precipitation of Birjand *International Journal of Climatology*, 34(14), 3654-3670.
 7. Bipal, K.J & Mrinmoy, M. (2010). Impact of climate change on natural resource management. Springer Press, 495 pages.
 8. Chen, H., Guo, J., Zhang, Z., & Xu, C.Yu. (2013). Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Theoretical and Applied Climatology*, 3-4, 363-375.
 9. 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*, 9, 252-268, (In Persian).
 10. DaneshYary. (2021). Climate variability. https://daneshyari.com/isi/articles/climate_variability.
 11. Dibike, Y.B., & Coulibaly, P. (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 1, 145-163.
 12. Farzaneh, M., Arbabi Sabzevari, A., Daryabari, J., & Asadian, F. (2021). Climatic variable forecasting for future decades in south east area of Iran. *Climate Research*, 12(45), 97-112, (In Persian).
 13. Goyal, M.K., & Ojha, C.S.P. (2012). Downscaling of surface temperature for lake catchment in an arid region in India using linear multiple regression and neural networks. *International Journal of Climatology*, 4, 552-566.
 14. Hajiabadi, F., Hassanpour, F., Yaghoobzadeh, M., & Hammami, H. (2020). Projection of agricultural drought using fifth IPCC assessment report data (Case study: Birjand Region). *Journal of Agricultural Meteorology*, 8(1), 51-66, (In Persian).
 15. Hashemi, M. Z., Shamseldin, A. Y., & Melville, B.W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 4, 475-484.
 16. Javaherian, M. R., Ebrahimi, H., & Aminnejad, B. (2021). Prediction of changes in climatic parameters using CanESM2 model based on Rcp scenarios (case study): Lar dam basin. *Ain Shams Engineering Journal*, 1, 445-454.
 17. Khazaei, M. R., Byzedi, M., & Babaeian, I. (2019). Estimation of joint uncertainties due to natural climate variability and emission scenarios in climate change assessment on precipitation and temperature in Zanjan.

of HadCM3 Model under Different Scenarios.
Spatial Analysis Environmental Hazards, 1,
49-64, (In Persian).

- Station. *Climate Research*, 37, 87-100, (In Persian).
28. Zohrevandi, H., Khorshid Dost, A.M., & Sari Saraf, B. (2021). Prediction of Climate Change in Western of Iran using Downscaling