

ارزیابی تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی آینده از شمال تا جنوب غرب ایران

مهدی کلانکی^۱، هادی رضانی اعتدالی^{۲*}، پیتیر فن اوول^۳

۱. پژوهشگر پسادکتری آبیاری و زهکشی، برنامه همکاری مشترک دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ره) و دانشگاه واخنینگن هلند

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(ره)، قزوین

۳. دانشیار گروه مدیریت منابع آب، دانشگاه واخنینگن، هلند

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۲/۰۸؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۱/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۲/۱۱)

چکیده

تغییرات اقلیمی از چالش‌های پیشروی بشر محسوب می‌شود. این رویداد تمامی نقاط جهان از جمله ایران را متأثر می‌سازد. بنابراین، درک نوسان‌های جوی و پیش‌نگری آن می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های آبی در مناطق مختلف راهگشا باشد. در همین راستا، پژوهش حاضر با استفاده از شش مدل گردش عمومی (GCM) تغییرات اقلیمی را برای برخی ایستگاه‌ها در شمال غرب، غرب و جنوب غرب ایران تحت سه سناریوی مختلف RCP2.5 (خوش‌بینانه)، RCP4.5 (میانی) و RCP8.5 (بدبینانه) با استفاده از LARS-WG طی ۲۰۲۱-۲۱۰۰ ارزیابی کرده است. بر اساس نتایج، بیشترین مقادیر تحت RCP8.5 و در CanESM2، NorESM1.1 و HadGEM2-ES به ترتیب برای ساعت‌های آفتاب، دمای حداقل و حداکثر مشاهده شد. در مقایسه با دوره پایه: ایستگاه الیگودرز طی سال‌های ۲۰۸۱-۲۱۰۰ با افزایش ۶۹ و ۲۵ درصدی بیشترین افزایش دما را برای حداقل و حداکثر دما از خود نشان داد. ایستگاه اهواز با ۳۵/۴ درصد طی سال‌های ۲۰۶۱-۲۰۸۰ برای بارندگی روزانه و ایستگاه پارس‌آباد با ۹/۸ درصد طی سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰ برای ساعت‌های آفتابی در رتبه‌های بالا قرار گرفتند. از سوی دیگر، کمترین مقادیر روزانه نسبت به دوره پایه در سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 در اهواز با ۰/۲۳ درصد کاهش در دمای حداقل و ۲/۹۳ درصد افزایش برای حداکثر دما مشاهده شد. همچنین، بارش روزانه در ایستگاه پارس‌آباد ۸/۶۳ درصد و ساعت‌های آفتابی روزانه در ایستگاه میانه تا ۱۴/۵۴ درصد نسبت به دوره‌های پایه کاهش یافته است. به طور کلی، احتمالاً در آینده، ایستگاه جنوب غربی با بارندگی بیشتر و شمال غرب با بارندگی کمتر مواجه می‌شوند.

کلمات کلیدی: دما، بارش، ساعت‌های آفتابی، مدل‌های گردش عمومی، LARS-WG

مقدمه

چگونگی مصرف آب در دوره‌های گذشته مهم‌ترین عامل ایجاد مخاطرات آبی فعلی بوده است. بخش کشاورزی با مصرف حدود ۹۰ درصد آب شیرین سهم بسزایی در تشدید یا کاهش این معضل دارد [۱ و ۲]. علاوه بر این‌ها، تولید روزافزون گازهای گلخانه‌ای در جریان صنعتی شدن جوامع، موجب ایجاد پدیده‌هایی از جمله گرمایش جهانی شده است، به گونه‌ای که میانگین افزایش دمای جهانی از سال ۱۸۸۰ تا سال ۲۰۱۹ به میزان ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد بوده است [۳]. تغییر اقلیم موجب به هم زدن نظم سامانه‌های اقلیمی در بسیاری از مناطق شده که وقوع باران‌های بی‌سابقه سیل‌آسا، افزایش آستانه دماهای گرم و کاهش آستانه دماهای سرد از جمله این وقایع است [۴ و ۵]. نتایج پژوهشی در استان همدان بیان داشت که در افق ۲۰۹۰ حتی در صورت وقوع سناریوهای خوش‌بینانه، دمای میانگین به میزان ۱۴/۷ درصد افزایش و بارش به میزان ۱۴/۴ و سطح آب‌های زیرزمینی ۱۲/۳ درصد کاهش خواهند داشت [۶]. این رویدادها در اولین گام موجب آسیب به کشاورزی می‌شود. در مناطقی که حتی با عدم تغییرات بارش نسبت به دوره‌های گذشته مواجه بوده‌اند، فقط افزایش دما موجب شکل‌گیری ادراک تجربی کاهش بارش در کشاورزان شده است [۷]. این مسئله می‌تواند در نتیجه افزایش تبخیر-تعرق و نیاز آبی گیاهان باشد که در شرایط عدم تأمین آب کافی، شرایط بروز تنش و کاهش عملکرد را فراهم می‌آورد و باعث کاهش درآمد کشاورزان می‌شود. از طرف دیگر، میزان آسیب‌پذیری کشاورزان خرده‌مالک بر اثر وقوع تغییر اقلیم بیشتر خواهد بود [۸]. همه این موارد، لزوم مطالعه و پیش‌نگری مؤلفه‌های اقلیمی آینده را روشن می‌سازد؛ زیرا بر مبنای این خروجی‌ها می‌توان روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم را ارائه و ارزیابی کرد تا در سال‌های آتی میزان تهدیدهای امنیت غذایی و همچنین خسارت‌های اقتصادی کشاورزان کاهش یابد.

از آنجا که شمال غرب و غرب کشور از مناطق عمده تولیدات محصولات کشاورزی هستند؛ بررسی تغییرات اقلیمی این مناطق (به لحاظ موارد یادشده)، اولویت دارد. پژوهش‌های گذشته در مورد بررسی اثرات تغییر اقلیم در حوضه آبریز ارس طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۳۶ با استفاده از مدل HadGEM و سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و

RCP8.5 نشان داد، افزایش بارندگی برای ماه‌های اوت و دسامبر و همچنین، کاهش بارش در ماه‌های آوریل و نوامبر رخ خواهد داد و به طور کلی نیز مجموع بارش نسبت به دوره پایه در این حوضه کاهش خواهد داشت. علاوه بر این، تحت هر سه سناریو افزایش دمای حداقل و حداکثر اتفاق خواهد افتاد [۹]. همچنین، افزایش محسوس دمای حداقل و حداکثر در آذربایجان شرقی طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۷۳ و تحت سناریوی RCP8.5 [۱۰]، افزایش میانگین دما بین ۰/۱ تا ۱/۳ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش بین ۱۰ تا ۲۰ درصد تحت سناریوی RCP8.5 طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ با استفاده از مدل HadCM3 در مناطق شمال غربی کشور پیش‌بینی شده است [۱۱]. پیش‌نگری افزایش بین ۰/۶ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گراد طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ تحت مدل‌های گردش عمومی HadGEM2 و CanESM2 تحت هر سه سناریوی خوش‌بینانه، بدبینانه و میانی در استان‌های کردستان، کرمانشاه و ایلام [۱۲] از جمله پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته برای پارامتر دما در شمال غرب و غرب کشور هستند. با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی RCP8.5 حشمتی و رمضانی اعتدالی (۱۴۰۰) نیز به پیش‌بینی وضعیت خشکسالی شهرستان کرمانشاه با استفاده از LARS-WG، مدل‌های گردش عمومی GFDL-CM3، MPI-ESM-MR و MIROC5 و تحت سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر افزایش متوسط دمای حداقل و حداکثر و تغییر الگوی بارش در دوره آینده است که موجب افزایش شرایط خشک آینده براساس شاخص SPI خواهد شد [۱۳]. استفاده از مدل‌های پیش‌نگری تغییر اقلیم برای تخمین جمعیت و زیستگاه‌های سمندر آبی [۱۴]، توزیع گونه‌های مریم‌گلی [۱۵]، وضعیت حوضه آبریز و آورد رودخانه زرينه‌رود [۱۶]، وضعیت تولید سیب [۱۷]، پایداری کشاورزی و محیط زیست در حوضه آبریز دریاچه ارومیه [۱۸] برخی از کاربردهای مدل‌های اقلیمی در مناطق غربی کشور بوده است. همچنین، در نواحی جنوب غربی کشور نیز نقش مشارکت‌های اجتماعی برای سازگاری با اثرات و پیامدهای تغییر اقلیم در بخش کشاورزی قابل توجه بوده است [۱۹].

نتایج پژوهش مظفری و همکاران (۱۳۹۹) برای بررسی تغییرات خشکسالی هواشناسی در سطح ۳۹ ایستگاه سینوپتیک کشور، با استفاده از مدل SDSM و مدل

کشاورزی نقش قابل توجهی دارند، بنابراین بررسی دقیق وضعیت اقلیمی آن‌ها می‌تواند منجر به زمینه‌سازی ارائه راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیمی شود. به این منظور، هدف از انجام این پژوهش الف) تعیین متوسط تغییرات پارامترهای روزانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه؛ ب) ارزیابی و مقایسه طیف بیشتری از مدل‌های گردش عمومی در مناطق مورد بررسی؛ ج) مقایسه سناریوهای اقلیمی مختلف و میزان تغییرات آن‌ها در ایستگاه‌ها و مدل‌های گردش عمومی منتخب.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل برخی از ایستگاه‌های واقع در غرب و شمال غرب کشور است. اسامی ایستگاه‌ها به همراه مختصات جغرافیایی آن‌ها به شرح جدول ۱ است. اطلاعات مورد نیاز طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ از سایت سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. سپس، فرایندهای مرتب‌سازی و دسته‌بندی داده‌ها در هر ایستگاه انجام گرفت.

گردش عمومی CanESM2 تحت سناریوهای تغییر اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 بیانگر نبود روند معنادار در شدت، زمان، تداوم یا مدت خشکسالی طی دوره پایه در کشور بوده است. اما در دوره آینده بخش اعظمی از کشور به سوی ترسالی یا کاهش خشکسالی پیش می‌رود. در تحلیل نتایج ایشان می‌توان اظهار داشت که اگرچه ریزمقیاس‌نمایی منفرد، مدل‌های گردش عمومی می‌تواند دید کلی از وضعیت اقلیمی مناطق مورد بررسی به وجود آورد؛ ولی به منظور کاهش عدم قطعیت این مدل‌ها بهتر است یا ارزیابی دقیقی در دوره تاریخی این مدل‌ها با شرایط واقعی انجام شود و یا اینکه میانگین نتایج اجرای جمعی مدل‌ها مورد توجه قرار گیرد [۲۰].

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان از انجام تحقیقاتی در مناطق شمال غرب، غرب و جنوب غربی کشور بر مؤلفه‌های اقلیمی دارد، ولی پژوهشی که به مقایسه میانگین تغییرات روزانه این مؤلفه‌ها تحت مدل‌ها، سناریوها و دوره‌های مختلف پرداخته باشد؛ موجود نیست. علاوه بر آن، از آنجا که این مناطق به لحاظ تولیدات

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مطالعه شده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
اهواز	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	۲۲/۵
الیگودرز	۴۹/۷۰	۳۳/۴۱	۲۰۲۲/۱
بیجار	۴۷/۶۲	۳۵/۸۹	۱۸۸۳/۴
اسلام‌آباد غرب	۴۶/۴۷	۳۴/۱۲	۱۳۴۸/۸
ایلام	۴۶/۴۰	۳۳/۵۹	۱۳۳۷
خوی	۴۵/۰۰	۳۸/۵۶	۱۱۰۳/۴
مهاباد	۴۵/۷۲	۳۶/۷۵	۱۳۵۱/۸
مراغه	۴۶/۱۵	۳۷/۳۵	۱۳۴۴
میانه	۴۷/۷	۳۷/۴۵	۱۱۱۰
پارس‌آباد	۴۷/۷۸	۳۹/۶۰	۷۲/۶
سراب	۴۷/۵۳	۳۷/۹۳	۱۶۸۲

مدل‌سازی تغییر اقلیم

و روش‌های دینامیکی^۴ استفاده می‌شود [۲۱]. از جمله مدل‌های آماری، مدل LARS-WG است که تا کنون در بیش از ۷۵ کشور استفاده شده است. نسخه فعلی این مدل (LARS-WG 6.0) حاوی ۱۹ مدل گردش عمومی جو است که تحت گزارش‌های پنجم تغییر اقلیم توانایی شبیه‌سازی مؤلفه‌های اقلیمی را دارد. این مدل مولد

از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو^۱ است، ولی به دلیل وضوح مکانی کم این مدل، از روش‌های ریزمقیاس‌کاهی شامل استفاده از سلول اصلی یا روش تناسبی^۲، روش‌های آماری^۳

1. General circulation models (GCM)
2. Proportional Downscaling
3. Statistical Downscaling

4. Dynamical downscaling

سناریوها به ترتیب بیانگر مقدار انرژی تابشی ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ وات بر مترمربع تا سال ۲۱۰۰ است [۲۳]. از میان مدل‌های گردش عمومی موجود، برای انجام این پژوهش ۵ مدل که دارای تمامی سناریوهای خوش‌بینانه (RCP2.6)، میانی (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.6) بودند، انتخاب شد. مشخصات این پنج مدل مطابق جدول ۲ است.

آب‌وهوایی بر پایه روش سری‌ها است که می‌تواند به منظور شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی فعلی و آینده استفاده شود [۲۲]. سناریوهای RCP2.6 (خوش‌بینانه)، RCP4.5 (میانی)، RCP8.5 (بدبینانه) در مدل LARS-WG6.0 از گزارش پنجم تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته است. این

جدول ۲. مدل‌های گردش عمومی جو منتخب از LARS-WG6.0

نام مرکز ارائه‌دهنده	نام مدل گردش عمومی
Beijing Climate Center Climate System Model	BCC-CSM1.1
Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	CanESM2
AUSTRALIA'S NATIONAL SCIENCE AGENCY	CSIRO-MK36
Hadley Centre Global Environment Model version 2.	HadGEM2-ES
Norwegian Earth System Model	NorESM1.1
NASA Goddard Institute for Space Studies	GISS-E2-R-CC

$$\% \text{Difference} = \frac{(Y_i - X_i)}{X_i} \times 100 \quad (1)$$

$$Ef = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 - \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\bar{X}}} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

در روابط یادشده Y_i مقادیر شبیه‌سازی شده، X_i مقادیر مشاهده‌ای، N تعداد مشاهده‌ها، \bar{X} میانگین مشاهده‌ها و \bar{Y} میانگین شبیه‌سازی شده‌ها است.

یافته‌ها و بحث

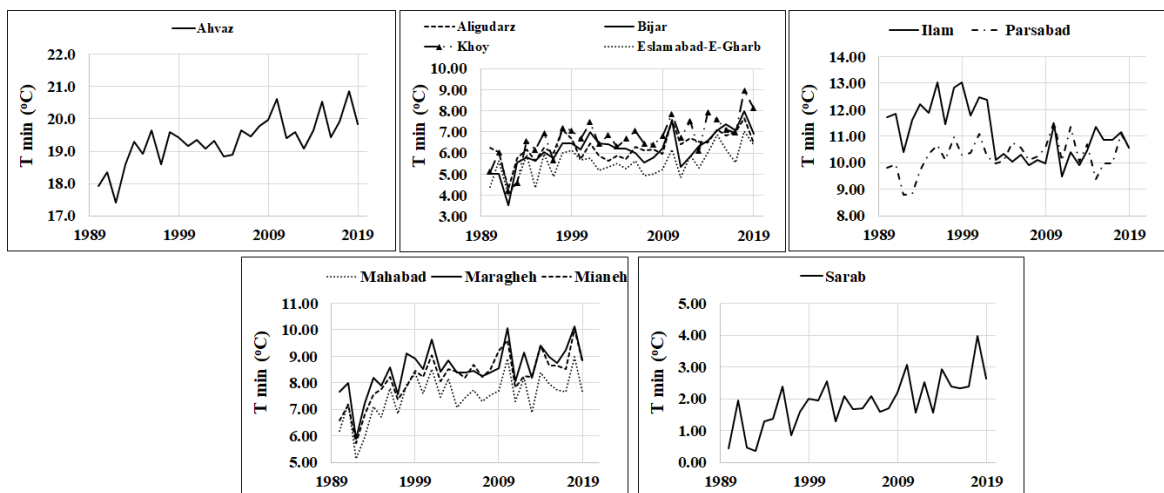
متوسط مقادیر سالانه در ایستگاه‌های منتخب طی دوره پایه

در خور یادآوری است، مدل لارس به طور پیش‌فرض برای دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ طراحی شده است، ولی به دلیل همگام‌سازی با تاریخ‌های جدیدتر از اطلاعات هواشناسی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ در این تحقیق استفاده شد. در این راستا، نرخ انتشار دی‌اکسید کربن متناسب با سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ به میزان ۳۸۰/۸ ppm محاسبه و در فایل مربوطه اصلاح شد. به این‌صورت، مدل قابلیت استفاده برای تاریخ‌های جدیدتر را نیز پیدا کرد. همچنین، به دلیل آنکه این مدل تنها با داده‌های روزانه قابلیت استفاده دارد، بعد از اخذ اطلاعات روزانه از سایت سازمان هواشناسی برای ایستگاه‌های منتخب و انجام فرایندهای پیش‌پردازش اولیه روی آن‌ها داده‌ها به مدل معرفی شد.

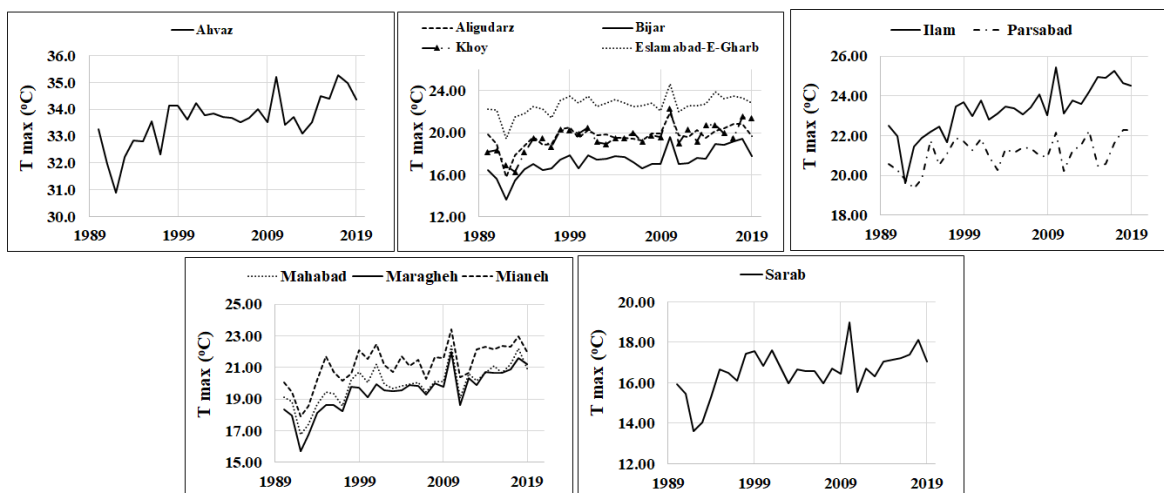
معیارهای ارزیابی

واسنجی و ارزیابی مدل‌ها زمانی قابل قبول خواهد بود که اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در حد مناسبی قرار گرفته باشد. برای تعیین این حد مناسب از پارامترهای ارزیابی استفاده می‌شود. تا معیاری یکسان، برای مقایسه نتایج تحقیقات مختلف باشد. در این پژوهش به منظور ارزیابی نتایج در بخش‌های مختلف این تحقیق از پارامترهای درصد اختلاف^۱، عملکرد مدل^۲، جذر میانگین مربعات خطا^۳، جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده و ضریب تعیین^۴ استفاده شد [۲۴ و ۲۵].

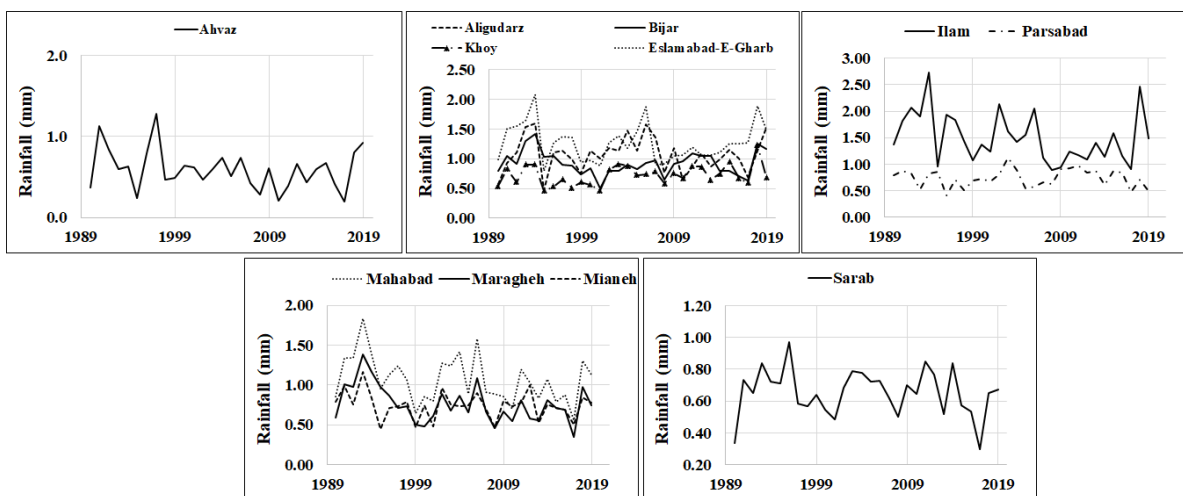
1. Percent of Difference
2. Model Efficiency (EF)
3. Root Mean Square Error (RMSE)
4. Coefficient of Determination



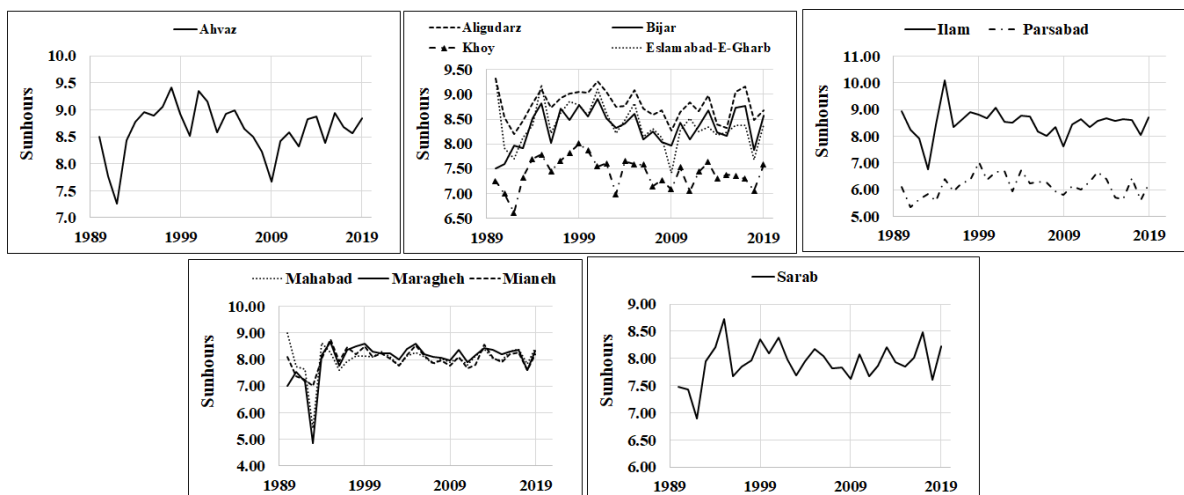
شکل ۱. روند تغییرات متوسط سالانه دمای حداقل در ایستگاه‌های بررسی شده



شکل ۲. روند تغییرات متوسط سالانه دمای حداکثر در ایستگاه‌های بررسی شده



شکل ۳. روند تغییرات متوسط سالانه بارش در ایستگاه‌های بررسی شده



شکل ۴. روند تغییرات متوسط سالانه ساعت‌های آفتابی در ایستگاه‌های بررسی شده

برای این دو پارامتر نشان دادند. تحقیقات پیشین نیز حکایت از مطلوب‌تر بودن شبیه‌سازی پارامتر دما نسبت به سایر پارامترها در مدل LARS-WG بوده است [۲۴].

تغییرات دوره اول (۲۰۲۱-۲۰۴۰)

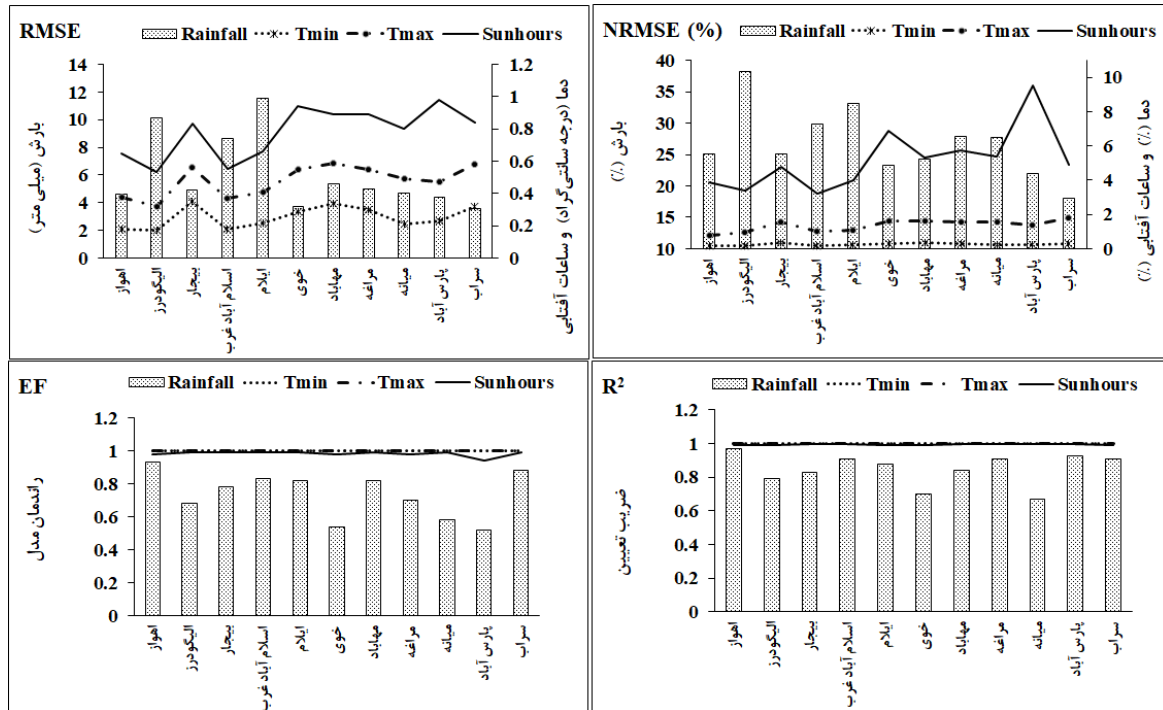
براساس نتایج به‌دست‌آمده از میانگین مدل‌های گردش عمومی حداقل دمای روزانه، از ۳/۱ درصد در ایستگاه میانه، تحت سناریوی میانی تا ۱۶/۲ درصد در ایستگاه اسلام‌آباد تحت سناریوی بدبینانه متغیر بود (شکل ۶). بیشترین دمای روزانه نیز بین ۳ درصد در ایستگاه اهواز و سناریوی خوش‌بینانه تا ۸/۷ درصد در ایستگاه سراب و سناریوی بدبینانه نوسان خواهد داشت. متوسط بارش روزانه در ایستگاه اسلام‌آباد غرب تحت سناریوی بدبینانه با کاهش ۲ درصدی و در ایستگاه اهواز با افزایش ۲۰/۹ درصدی تحت سناریوی میانی مواجه می‌شود. متوسط ساعت‌های آفتابی روزانه نیز با افزایش ۱/۴ درصدی در ایستگاه مهاباد و سناریوی خوش‌بینانه تا افزایش ۸/۲ درصدی در ایستگاه پارس‌آباد و تحت سناریوی بدبینانه نسبت به دوره پایه تغییرات خواهد داشت. نوروزی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با استفاده از مدل LARS-WG5.5، تحت مدل HadCM3 و سناریوهای A2 و B1 گزارش کردند، ایستگاه ایلام طی بازه ۲۰۲۵-۲۰۳۵ به علت کاهش بارش، با دوره تقریباً خشکی مواجه خواهد بود. این در حالی است که در پژوهش حاضر نه تنها تغییرات کاهش‌ی در پارامتر بارش برای ایستگاه ایلام مشاهده نشده، بلکه با افزایش نسبت به دوره پایه نیز روبه‌رو خواهد بود. این تفاوت می‌تواند ناشی از

مقایسه عملکرد مدل LARS-WG در ایستگاه‌های مختلف

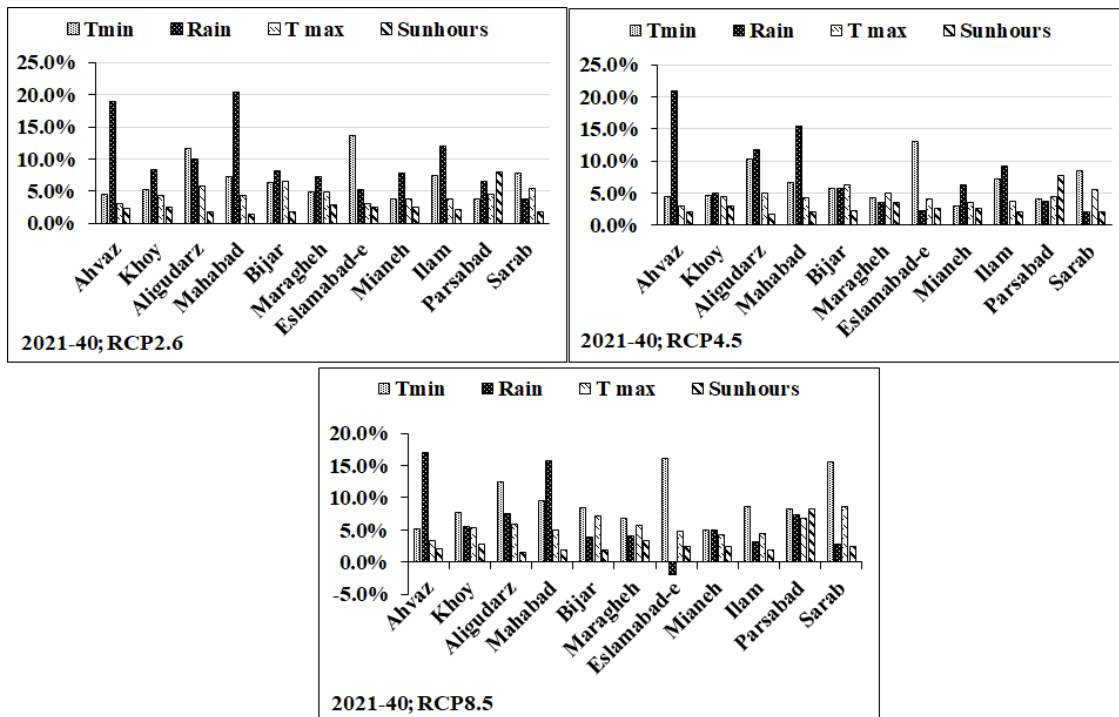
مقایسه نتایج معیارهای آماری در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد در پارامتر بارش بیشترین مجذور مربعات خطا (RMSE) برای ایستگاه ایلام با ۱۱/۵۷ میلی‌متر و کمترین آن در ایستگاه سراب با ۳/۵۷ میلی‌متر بوده است. این در حالی است که بیشترین NRMSE در ایستگاه الیگودرز با ۳۸/۲ درصد و کمترین آن در ایستگاه سراب با ۱۸/۰۹ درصد مشاهده شد. در مورد معیارهای راندمان مدل (EF) و ضریب تعیین (R^2) نیز مطلوب‌ترین ایستگاه اهواز به ترتیب با ۰/۹۳ و ۰/۹۷ تشخیص داده شد. ایستگاه پارس‌آباد با راندمان مدل ۰/۵۲ و ایستگاه میانه با ضریب تعیین ۰/۶۷ کمترین مقادیر را داشتند. بررسی نتایج ساعت‌های آفتابی نشان می‌دهد RMSE در ایستگاه پارس‌آباد با ۰/۵۱ ساعت و در ایستگاه اسلام‌آباد غرب با ۰/۱۸ ساعت به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را ارائه دادند. همچنین، ایستگاه‌های یادشده به ترتیب دارای ۸/۱۸ درصد و ۲/۱۹ درصد مقادیر NRMSE بودند. راندمان مدل بین ۰/۹۴ (پارس‌آباد) تا ۰/۹۹ و ضریب تعیین نیز بین ۰/۹۹ تا ۱ در ایستگاه‌های مختلف متغیر بود. مقادیر RMSE برای دمای حداقل بین ۰/۱۷ (الیگودرز) تا ۰/۳۵ درجه سانتی‌گراد (میانه) و برای دمای حداکثر بین ۰/۱۵ (الیگودرز) تا ۰/۲۸ درجه سانتی‌گراد (میانه) متغیر بود. مقادیر NRMSE نیز بین ۰/۹۵ (اهواز) تا ۵/۹۸ درصد (بیجار) و ۰/۶۱ (اهواز) تا ۱/۴۹ درصد (سراب) متغیر بودند. ضرایب تعیین و راندمان مدل نیز بهترین نتایج ممکن را

۲۰۱۲ تا ۲۰۲۹ انجام شده است؛ که این موضوع در وضعیت منابع آبی منطقه تأثیرات نامطلوبی به جای خواهد گذاشت [۱۶].

تفاوت در به‌کارگیری سناریوهای مختلف باشد. همچنین، با تلفیق مدل SWAT و سناریوهای اقلیمی، پیش‌بینی کاهش ۲۳ تا ۳۵ درصدی بارش حوضه زربینه‌رود طی سال‌های



شکل ۵. مقایسه دقت مدل در شبیه‌سازی میانگین مقادیر دوره پایه در ایستگاه‌های مختلف

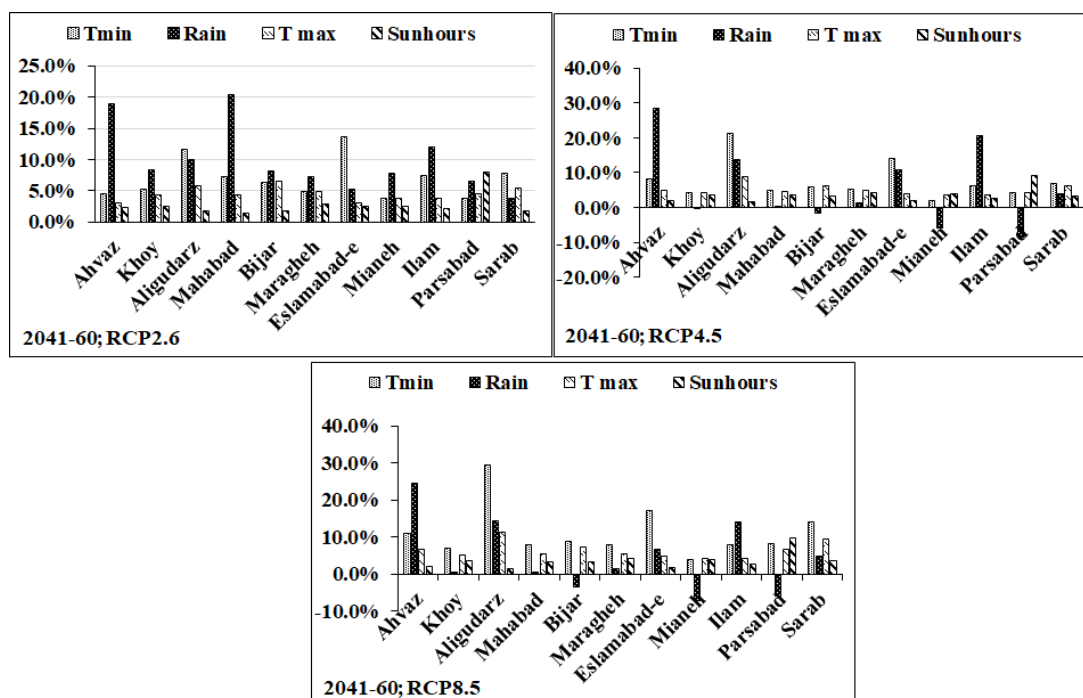


شکل ۶. درصد تغییرات پارامترهای روزانه نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌ها و سناریوهای مختلف (طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰)

ساعات‌های آفتابی روزانه نیز با کاهش ۱۳/۴ درصدی تحت سناریوی خوش‌بینانه و ایستگاه میانه تا افزایش ۲۸/۶ درصدی در ایستگاه اهواز، سناریوی میانی روبه‌رو خواهد بود. در همین رابطه پژوهش مشابهی از تغییرات دمای کمینه در ایستگاه‌های ایلام و دهلران تحت مدل‌های CMIP5 و از افزایش ۴/۲ و ۵/۵ درجه سانتی‌گرادی برای دمای کمینه، تحت سناریوی RCP8.5 و ۳/۶، ۴/۷ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی RCP4.5 به‌ترتیب طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۵ و ۲۰۵۶-۲۰۹۰ حکایت داشت [۲۶]. نتایج پژوهش دیگری از افزایش میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های آبان و تبریز طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه خبر می‌دهد [۲۰].

تغییرات دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰)

میانگین خروجی مدل‌های گردش عمومی مورد بررسی طی دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بیانگر افزایش ۲/۱ درصدی دمای حداقل روزانه در ایستگاه میانه و سناریوی میانی تا افزایش ۲۹/۶ درصدی در ایستگاه الیگودرز تحت سناریوی بدبینانه بود (شکل ۷). به همین ترتیب، متوسط دمای حداکثر روزانه بین ۳/۶ درصد (ایستگاه میانه، سناریوی RCP4.5) تا ۱۱/۴ درصد (ایستگاه الیگودرز، سناریوی بدبینانه) متغیر بود. از طرف دیگر، متوسط بارش روزانه با کاهش ۸/۶ درصدی (ایستگاه پارس‌آباد، RCP4.5) تا افزایش ۲۸/۶ درصدی (ایستگاه اهواز سناریوی RCP4.5) همراه بود. متوسط

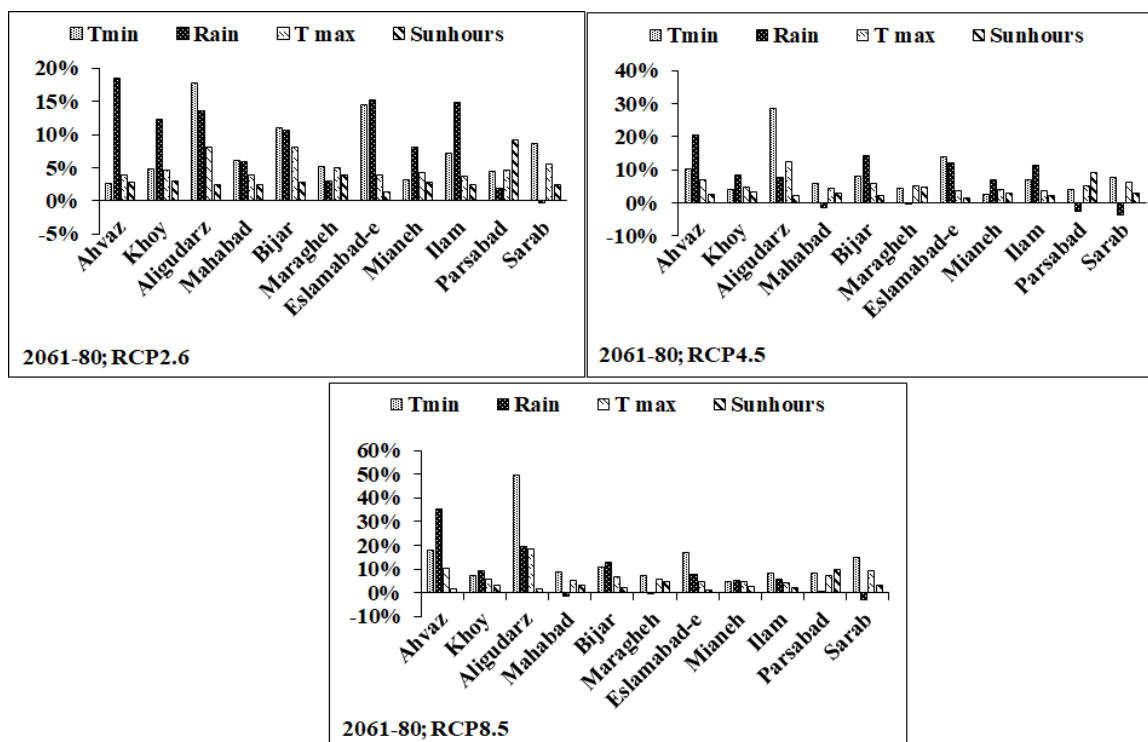


شکل ۷. درصد تغییرات پارامترهای روزانه نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌ها و سناریوهای مختلف (طی سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰)

تغییرات بارش روزانه نیز نسبت به دوره پایه بین ۳/۵- درصد (ایستگاه سراب، سناریوی RCP4.5) تا ۳۵/۴ درصد (ایستگاه اهواز و سناریوی RCP8.5) متغیر بود. متوسط ساعات‌های آفتابی روزانه نیز بین ۱۴/۳- درصد (ایستگاه میانه، سناریوی RCP2.6) تا ۹/۷ درصد (پارس‌آباد، RCP8.5) تغییرات خواهد داشت. شریفی حداد و همکاران (۱۴۰۰) طی تحقیقی در استان خوزستان بین سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۷۰ گزارش کردند، میانگین دما و تبخیر- تعرق نسبت به دوره پایه ۱۲/۶ و ۰/۹ درصد افزایش خواهد داشت [۲۷].

تغییرات دوره (۲۰۶۱-۲۰۸۰)

شکل ۸ میانگین مؤلفه‌های هواشناسی طی دوره سوم (۲۰۶۱-۲۰۸۰) تحت مدل‌های گردش عمومی مختلف را ارائه داده است. نتایج نشان‌دهنده افزایش ۲/۵ درصدی (ایستگاه میانه، سناریوی RCP4.5) تا ۴۹/۵ درصدی (الیگودرز، سناریوی بدبینانه) در متوسط کمینه دمای روزانه است. ایستگاه ایلام در سناریوی RCP4.5 با افزایش ۳/۶ درصدی و ایستگاه الیگودرز با افزایش ۱۸/۴ درصدی در سناریوی RCP8.5 به‌ترتیب کمترین و بیشترین تغییرات در متوسط بیشینه دمای روزانه را داشتند. متوسط

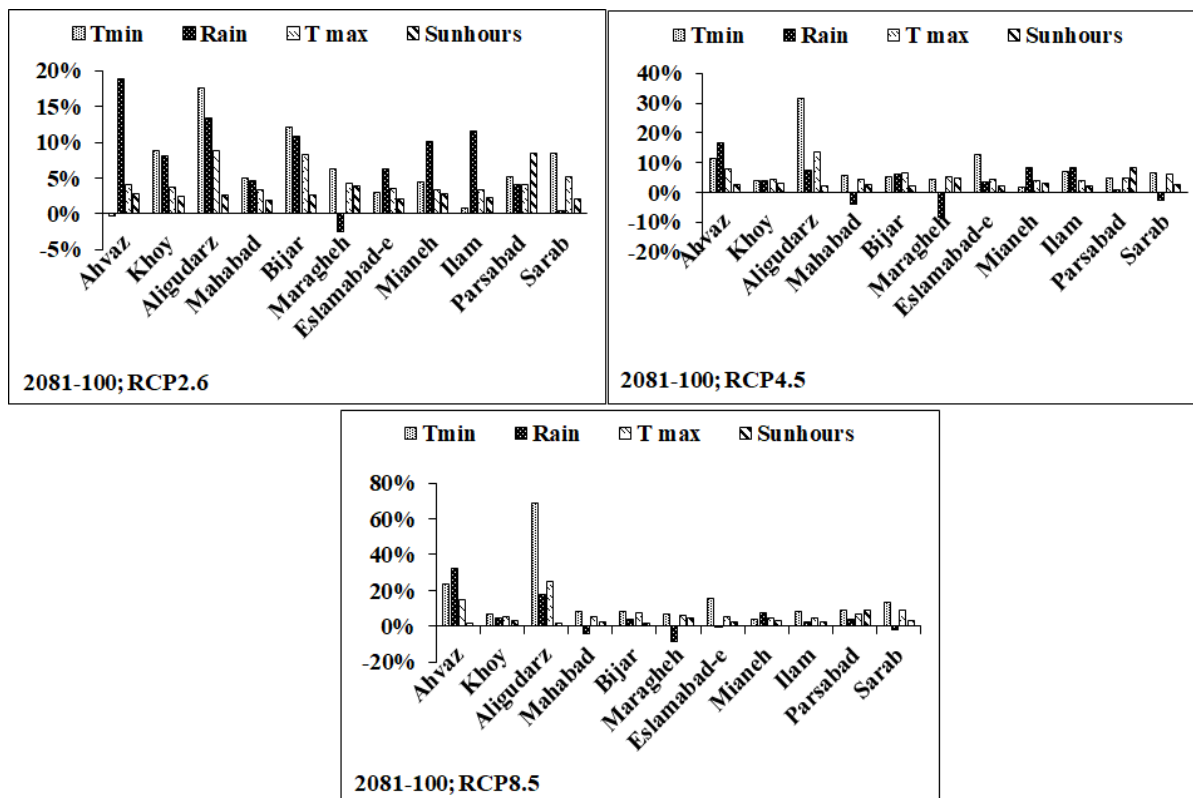


شکل ۸. درصد تغییرات پارامترهای روزانه نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌ها و سناریوهای مختلف (طی سال‌های ۲۰۶۱-۲۰۸۰)

۲۰۱۶ تا ۲۰۹۰ نشان داد، دمای حداکثر و حداقل به ترتیب ۱/۷ و ۱/۲ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوی RCP8.5 و دوره ۲۰۶۶-۲۰۹۰ افزایش خواهد یافت [۲۹]. توپوگرافی مناطق نیز از عوامل تأثیرگذاری در وضعیت اقلیمی آینده خواهد بود، به این صورت که افزایش دما در مناطق کم‌ارتفاع بیشتر از مناطق مرتفع خواهد بود [۱۷]. علاوه بر این، موقعیت جغرافیایی هم ممکن است بر نتایج شبیه‌سازی‌های اقلیمی اثرگذار باشد؛ همچنان که دولابیان و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند، تحت تأثیرات تغییر اقلیم، میزان بارش دریافتی در مناطق غربی بیشتر از مناطق شرقی نسبت به دوره پایه خواهد شد [۲۰]. از طرف دیگر، نقش موقعیت مکانی بر اثرپذیری از تغییر اقلیم نیز در پژوهش‌های دیگر بیان شده است [۳۰]. به عنوان نمونه، شرافتی و پزشکی (۲۰۲۰) برای حوضه آبریز دهبار گزارش کردند که مقادیر حداکثر سالانه وقایع اقلیمی در آینده افزایش خواهد یافت، به طوری که بیشترین افزایش در دبی رودخانه با ۱۴۲ درصد، تحت مدل EC-Earth و سناریوی RCP8.5 و بیشترین افزایش در پارامتر بارش با ۸۱ درصد تحت مدل MPI-ESM-MR و سناریوی RCP8.5 به وقوع خواهد پیوست [۳۱].

تغییرات طی دوره چهارم (۲۰۸۱-۲۱۰۰)

متوسط دمای حداقل روزانه بین ۰/۲- درصد در ایستگاه اهواز و سناریوی RCP2.6 تا ۶۹ درصد در ایستگاه الیگودرز و سناریوی RCP8.5 در دوره چهارم در نوسان خواهد بود (شکل ۹). همچنین، متوسط دمای حداکثر روزانه بین ۳/۳ درصد (میانه و سناریوی RCP2.6) تا ۲۵/۳ درصد (ایستگاه الیگودرز و سناریوی RCP8.5) افزایش داشت. متوسط بارش روزانه بین ۸/۶- درصد (ایستگاه مراغه، سناریوی RCP4.5) تا ۳۲/۵ درصد (ایستگاه اهواز، سناریوی RCP8.5) تغییر داشتند. همچنین، متوسط ساعت‌های آفتابی روزانه در این دوره نسبت به دوره پایه روند افزایشی نشان داده به طوری که بین ۱/۴ درصد (اهواز، RCP8.5) تا ۸/۷ درصد (پارس‌آباد، RCP8.5) بیشتر از مقدار دوره پایه بوده است. طی پژوهشی استفاده از مدل CNRM-CM5 در استان ایلام مورد بررسی قرار گرفت و نتایج بیانگر افزایش ۴/۲ و ۲/۵۵ درجه سانتی‌گراد در پارامتر دما به ترتیب تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 بوده است. از طرف دیگر، بارش منطقه‌ای به ترتیب ۵۶ و ۲۲ میلی‌متر تحت سناریوهای یادشده نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت [۲۸]. ارزیابی دما تحت مدل Can ESM2 برای دشت قزوین طی

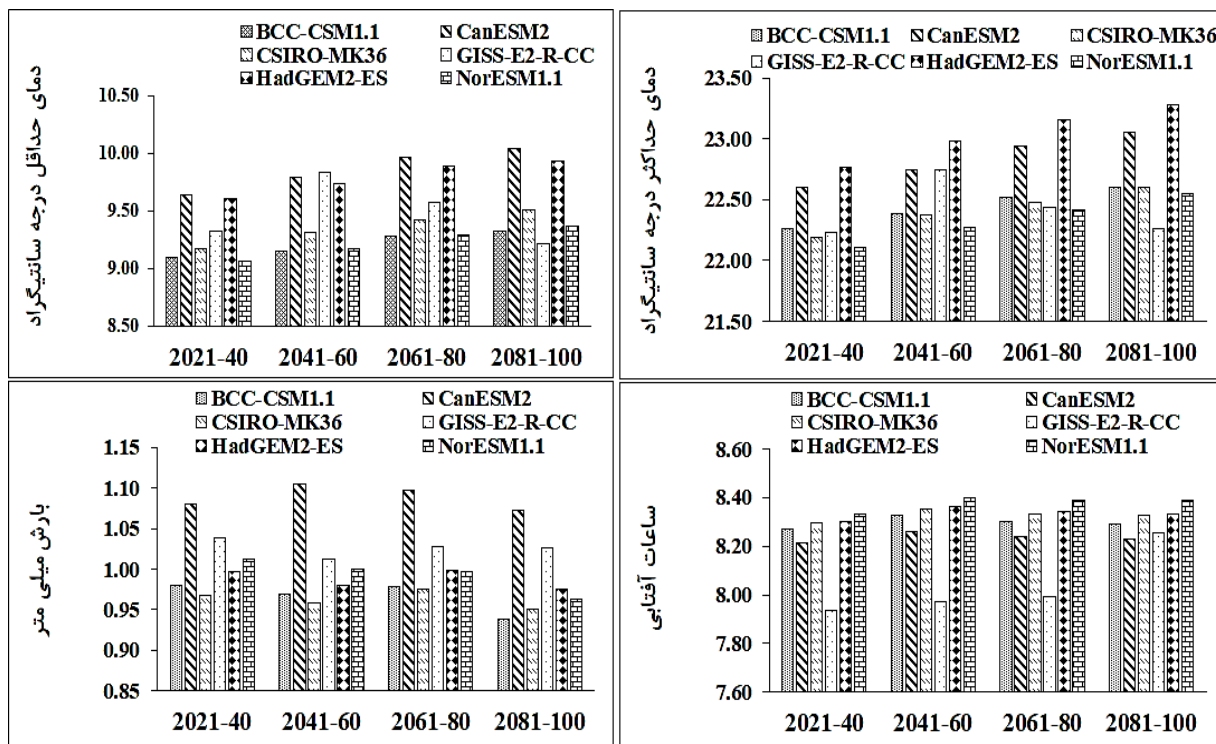


شکل ۹. درصد تغییرات پارامترهای روزانه نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌ها و سناریوهای مختلف (طی سال‌های ۲۰۸۱-۲۱۰۰)

مقایسه مدل‌های گردش عمومی

با صرف نظر از ایستگاه‌ها و سناریوهای مورد بررسی، مقایسه مقادیر مدل‌های گردش عمومی مختلف حکایت از آن داشت که کمینه مقادیر دمای حداقل روزانه طی دوره اول (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در مدل NorESM1.1 (۹/۱) درجه سانتی‌گراد) و طی دوره دوم (۲۰۴۱-۲۰۶۰) تا چهارم (۲۱۰۰-۲۰۸۱) تحت مدل BCC-CSM1.1 به ترتیب با ۹/۱۵، ۹/۲۹ و ۹/۳۲ درجه سانتی‌گراد مشاهده شود (شکل ۱۰). بیشینه این پارامتر در دوره‌های اول، سوم و چهارم در مدل CanESM2 به ترتیب با ۹/۶، ۹/۹۷، ۱۰/۰۴ درجه سانتی‌گراد و طی دوره دوم تحت مدل GISS-E2RCC با ۹/۸۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. کمینه دمای حداکثر روزانه نیز در دوره‌های مختلف بین ۲۲/۱۱ (دوره اول، NorESM1.1) تا ۲۲/۴۲ درجه سانتی‌گراد (دوره سوم، NorESM1.1) متغیر بود. بیشینه مقادیر حداکثر دمای روزانه نیز در مدل HadGEM2-ES

از ۲۲/۷۶ درجه سانتی‌گراد (طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰) تا ۲۳/۲۸ درجه سانتی‌گراد (طی سال‌های ۲۰۸۱-۲۱۰۰) به وقوع پیوست. کمینه متوسط بارش روزانه نیز در مدل CSIRO-MK36 از ۰/۹۷ (دوره اول) تا ۰/۹۴ (دوره چهارم) میلی‌متر مشاهده شد. بیشینه پارامتر بارش در مدل CanESM2 با ۱/۰۸، ۱/۱، ۱/۱ و ۱/۰۷ میلی‌متر به ترتیب در دوره اول تا چهارم رخ خواهد داد. کمینه متوسط ساعت‌های آفتابی روزانه طی دوره اول تا سوم در مدل GISS-E2-R-CC به ترتیب با ۷/۹۴، ۷/۹۷ و ۷/۹۹ ساعت و در دوره چهارم در مدل CanESM2 با ۸/۲۳ ساعت مشاهده شد. بیشینه متوسط ساعت‌های آفتابی در مدل NorESM1.1 با ۸/۳۳، ۸/۴۰، ۸/۳۹ و ۸/۳۹ ساعت به وقوع خواهد پیوست. ضرورت ارزیابی ساعت‌های آفتابی به علت اثرگذاری این پارامتر بر بیلان انرژی سطح زمین است [۳۰] که می‌تواند در دمای سطح زمین اثرگذار باشد.



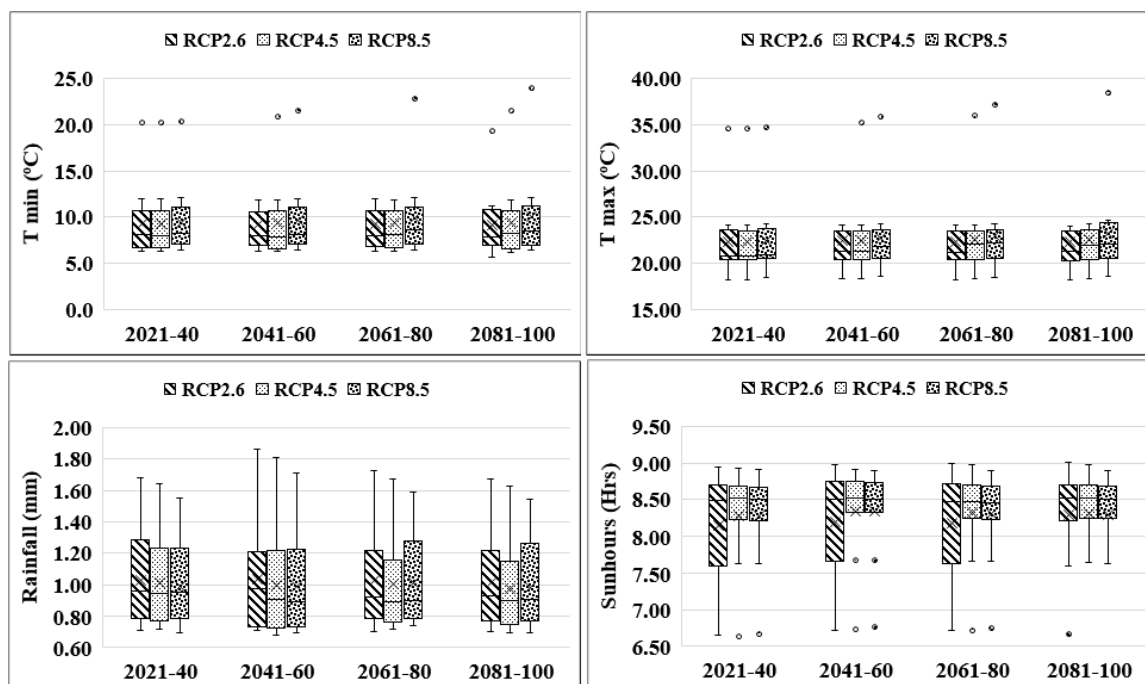
شکل ۱۰. مقایسه میانگین مدل‌های گردش عمومی مختلف در ایستگاه‌های بررسی شده

که طی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ اتفاق می‌افتد. در سناریوی RCP4.5 آستانه انتشار ۵۴۰ ppm در سال ۲۰۴۰ و در سناریوی RCP8.5 با آستانه ۹۴۰ ppm در سال ۲۱۰۰ و به شکل ادامه‌دار در قرن بعدی رخ خواهد داد [۲۰].

با در نظر گرفتن بازه‌های زمانی مختلف می‌توان بیان داشت که دمای حداقل روزانه بین ۹/۲۲ (طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰) تا ۹/۵۷ (۲۰۶۱-۲۰۸۰) درجه سانتی‌گراد تغییر کرد. دمای حداکثر روزانه نیز بین ۲۲/۳۱ درجه سانتی‌گراد (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تا ۲۲/۷۲ (۲۰۴۰-۲۰۶۱) درجه سانتی‌گراد (۲۰۸۱-۲۱۰۰) افزایش خواهد یافت. کمترین متوسط بارش روزانه نیز در بازه چهارم (۲۰۸۱-۲۱۰۰) با ۰/۹۹ میلی‌متر و بیشترین آن با ۱/۰۲ میلی‌متر در بازه اول رخ می‌دهد. میزان ساعت‌های آفتابی نیز در بازه نخست (۲۰۲۱-۲۰۴۰) ۸/۳۲ ساعت و در بازه ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به میزان ۸/۳ ساعت کاهش خواهد یافت.

مقایسه سناریوهای اقلیمی

میانگین پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌ها و مدل‌های گردش عمومی مختلف نشان داد کمترین و بیشترین دمای حداقل روزانه با ۹/۱۷ و ۱۰/۰۷ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) به وقوع خواهد پیوست (شکل ۱۱). در مورد حداکثر دمای روزانه نیز سناریوی خوش‌بینانه با ۲۲/۳۴ و سناریوی بدبینانه با ۲۳/۲۲ درجه سانتی‌گراد کمترین و بیشترین مقادیر را داشتند. با این حال، در مورد متوسط بارش روزانه بیشترین مقدار در سناریوی خوش‌بینانه با ۱/۰۱ میلی‌متر و کمترین آن با ۰/۹۷ میلی‌متر در سناریوی میانی به وقوع پیوست. ساعت‌های آفتابی روزانه در بین ۸/۲۹ ساعت (سناریوی بدبینانه) تا ۸/۳۲ ساعت (سناریوی میانی) در نوسان بوده است. این نتایج با مراجعه به مفهوم سناریوها و میزان انتشار دی‌اکسید کربن در هر یک از آنها قابل توجه است؛ در سناریوی RCP2.6، آستانه انتشار ۴۴۰ ppm است



شکل ۱۱. مقایسه میانگین پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های بررسی شده در بازه‌ها و سناریوهای مختلف

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج پیش‌بینی‌های مدل‌های گردش عمومی مختلف طی این پژوهش نشان دادند:

به طور کلی، حداقل دمای روزانه تحت مدل‌ها، سناریوها و دوره‌های مختلف بین ۰/۸ درصد (ایستگاه ایلام، سناریوی خوش‌بینانه و دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰) تا ۶۹ درصد (ایستگاه الیگودرز، سناریوی بدبینانه، دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. تنها در ایستگاه اهواز، تحت سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6) و طی سال‌های ۲۰۸۱ تا ۲۱۰۰، دمای حداقل روزانه نسبت به دوره پایه ۰/۲ درصد کاهش خواهد یافت. حداکثر دمای روزانه بین ۲/۹ درصد (اهواز، سناریوی میانی، دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰) تا ۲۵/۳ درصد (الیگودرز، سناریوی بدبینانه و دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰) کاملاً افزایشی خواهد بود. تغییرات میانگین بارش روزانه نسبت به دوره پایه در برخی از دوره‌ها و سناریوها در ایستگاه‌های بیجار، اسلام‌آباد غرب، خوی، مهاباد، مراغه، میانه بین ۰/۱ (مراغه، سناریوی بدبینانه و ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تا ۸/۶ درصد (پارس‌آباد، سناریوی میانی و ۲۰۴۱-۲۰۶۰) کاهش داشتند. از طرف دیگر، در باقی موارد افزایش ۰/۲ درصدی (مهاباد، سناریوی میانی و دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰) تا ۳۵/۴ درصدی

(اهواز، سناریوی بدبینانه و دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰) رخ خواهد داد. به بیان دیگر، محتمل است میزان متوسط بارش‌های روزانه در سال‌های آینده نسبت به دوره پایه در نواحی جنوب غربی بیشتر از شمال غربی افزایش می‌یابد. تغییرات میانگین ساعت‌های آفتابی روزانه نسبت به دوره پایه در ایستگاه میانه، سناریوی خوش‌بینانه و بازه‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ به ترتیب با ۱۴/۵، ۱۳/۴ و ۱۴/۳ درصد کاهش همراه بود. از طرف دیگر، در باقی پیش‌نگری‌ها متوسط روزانه این پارامتر نسبت به دوره پایه بین ۱/۲ درصد (اسلام‌آباد غرب، سناریوی بدبینانه و بازه ۲۰۶۱-۲۰۸۰) تا ۹/۸ درصد (پارس‌آباد، سناریوی بدبینانه، دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰) افزایش خواهد یافت.

سپاسگزاری

این پروژه با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری‌های علمی بین‌المللی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری انجام شده است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از سازمان هواشناسی کشوری دریافت شد و به این وسیله نیز از همکاری آن سازمان قدردانی می‌شود.

[9]. Farid Giglou B, Ghazavi R, Dokhani S. Assessing the Impact of Climate Change on Aras River Flow (Case Study: Ardabil Province) [In Persian]. Iran-Water Resour Res [Internet]. 2020;16(3):198–211. Available from: http://www.iwrr.ir/article_118330.html

[10]. Kashki A, Imanipour H, Firoozyazdi M. Analysis of temperature changes in East Azerbaijan province with a climate change approach Using the SDSM model [In Persian]. J Arid Reg Geogr Stud [Internet]. 2020 [cited 2022 Mar 16];11(41):44–58. Available from: <http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-1636-en.html>

[11]. Baghanam AH, Eslahi M, Sheikhabaei A, Seifi AJ. Assessing the impact of climate change over the northwest of Iran: an overview of statistical downscaling methods. Theor Appl Climatol. 2020;141(3–4):1135–50.

[12]. Lotfi M, Kamali GA, Meshkatee AH, Varshavian V. Statistical downscaling of climate models projection of minimum temperature under RCP scenarios in Western of Iran [In Persian]. J Agric Meteorol [Internet]. 2020;8(2):3–13. Available from: https://www.agrimet.ir/article_118034.html

[13]. Heshmati S, Ramezani Etedali H. Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model: The Case Study of Kermanshah City [In Persian]. T Ctry Plan [Internet]. 2021;13(2):647–69. Available from: https://jtcp.ut.ac.ir/article_84486.html

[14]. Ashrafzadeh MR, Naghipour AA, Haidarian M, Kusza S, Pilliod DS. Effects of climate change on habitat and connectivity for populations of a vulnerable, endemic salamander in Iran. Glob Ecol Conserv [Internet]. 2019;19:e00637. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00637>

[15]. Ghehsareh Ardestani E, Heidari Ghahfarokhi Z. Ensemble species distribution modeling of *Salvia hydrangea* under future climate change scenarios in Central Zagros Mountains, Iran. Glob Ecol Conserv [Internet]. 2021;26:e01488. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01488>

[16]. Emami F, Koch M. Modeling the impact of climate change on water availability in the Zarrine River Basin and inflow to the Boukan Dam, Iran. Climate. 2019;7(4).

[17]. Ahmadi H, Ghalhari GF, Baaghdeh M. Impacts of climate change on apple tree cultivation areas in Iran. Clim Change. 2019;153(1–2):91–103.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارند.

منابع

[1]. Ramezani Etedali H, Ahmadaali K, Gorgin F, Ababaei B. Optimization of the Cropping Pattern of Main Cereals and Improving Water Productivity: Application of the Water Footprint Concept. Irrig Drain. 2019;68(4):765–77.

[2]. M, Ritzema H, Bamshad R, Jones E, Fazilatnia M. Application of bio-desalinization for reclamation of salt-affected soil under composted cow manure and deficit irrigation with saline water. Paddy Water Environ. 2020;18(2):469–79.

[3]. Lenssen NJL, Schmidt GA, Hansen JE, Menne MJ, Persin A, Ruedy R, et al. Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. J Geophys Res Atmos. 2019 Jun 27;124(12):6307–26.

[4]. Platis DP, Anagnostopoulos CD, Tsaboula AD, Menexes GC, Kalburtji KL, Mamolos AP. Energy analysis, and carbon and water footprint for environmentally friendly farming practices in agroecosystems and agroforestry. Sustain. 2019;11(6).

[5]. Pachauri RK, Meyer L, Hallegatte France S, Bank W, Hegerl G, Brinkman S, et al. Ottmar Edenhofer (Germany), Ismail Elgizouli (Sudan), Christopher B. Field (USA), Piers, Mark Howden (Australia) [Internet]. Ipc. Gian-Kasper Plattner; 2014 [cited 2020 Oct 15]. 4 p. Available from: <http://www.ipcc.ch>.

[6]. Mosavi SH, Soltani S, Khalilian S. Coping with climate change in agriculture: Evidence from Hamadan-Bahar plain in Iran. Agric Water Manag [Internet]. 2020;241(April):106332. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106332>

[7]. Foguesatto CR, Artuzo FD, Talamini E, Machado JAD. Understanding the divergences between farmer's perception and meteorological records regarding climate change: a review. Environ Dev Sustain [Internet]. 2020;22(1). Available from: <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0193-0>

[8]. Jamshidi O, Asadi A, Kalantari K, Azadi H, Scheffran J. Vulnerability to climate change of smallholder farmers in the Hamadan province, Iran. Clim Risk Manag [Internet]. 2019;23:146–59. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.06.002>

- [18]. Ahmadaali J, Barani GA, Qaderi K, Hessari B. Analysis of the effects of water management strategies and climate change on the environmental and agricultural sustainability of Urmia Lake Basin, Iran. *Water (Switzerland)*. 2018;10(2).
- [19]. Pakmehr S, Yazdanpanah M, Baradaran M. How collective efficacy makes a difference in responses to water shortage due to climate change in southwest Iran. *Land use policy [Internet]*. 2020;99(May):104798. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104798>
- [20]. Doulabian S, Golian S, Toosi AS, Murphy C. Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *J Water Clim Chang*. 2021;12(1):166–84.
- [21]. Birara H, Pandey RP, Mishra SK. Projections of future rainfall and temperature using statistical downscaling techniques in Tana Basin, Ethiopia. *Sustain Water Resour Manag [Internet]*. 2020;6(5). Available from: <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00436-1>
- [22]. Semenov MA, Stratonovitch P. Adapting wheat ideotypes for climate change: Accounting for uncertainties in CMIP5 climate projections. *Clim Res*. 2015;65:123–39.
- [23]. Meinshausen M, Smith SJ, Calvin K, Daniel JS, Kainuma MLT, Lamarque J, et al. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Clim Change [Internet]*. 2011 Nov 9 [cited 2020 Oct 14];109(1):213–41. Available from: <http://www.pik-potsdam.de/>
- [24]. Kalanaki MM, Karandish F, Ritzema H, Kalanaki MM. New pathways and the associated uncertainties for increasing maize water use efficiency under global warming. *Arch Agron Soil Sci [Internet]*. 2020;00(00):1–15. Available from: <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1864340>
- [25]. Karandish F, Kalanaki M, Saberli SF. Projected impacts of global warming on cropping calendar and water requirement of maize in a humid climate. *Arch Agron Soil Sci*. 2017 Jan 2;63(1):1–13.
- [26]. Ahmadi M, Azizi G, Kardovani P. The vision of future climate changes based on CMIP5 models and representative concentration pathways (RCP); Case study: Selected stations in Ilam province [In Persian]. *Phys Geogr Q [Internet]*. 2019;12(43):71–88. Available from: http://jopg.iualarestan.ac.ir/article_666493.html
- [27]. Sharifi Haddad Neda, Dehimi Fard R, Nouri O, Rahimi Moghaddam S. Simulating Grain Yield and Water Use Efficiency in Dominant Maize Cultivars under Water Limited a Climate Change Conditions [In Persian]. *J Agroecol [Internet]*. 2021;13(1):103–15. Available from: https://agry.um.ac.ir/article_37637.html
- [28]. Ahmadi H, Azizzadeh J. The impacts of climate change based on regional and global climate models (RCMs and GCMs) projections (case study: Ilam province). *Model Earth Syst Environ [Internet]*. 2020 Feb 3 [cited 2022 Feb 10];6(2):685–96. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-020-00721-0>
- [29]. Mirgol B, Nazari M, Eteghadipour M. Modelling climate change impact on irrigation water requirement and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.), and Fodder Maize (*Zea mays* L.) in the semi-arid Qazvin plateau, Iran. *Agric*. 2020;10(3).
- [30]. Mansouri Daneshvar MR, Ebrahimi M, Nejadsoleymani H. An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environ Syst Res [Internet]*. 2019;8(1). Available from: <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3>
- [31]. Sharafati A, Pezeshki E. A strategy to assess the uncertainty of a climate change impact on extreme hydrological events in the semi-arid Dehbar catchment in Iran. *Theor Appl Climatol*. 2020;139(1–2):389–402.