

پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر بارش فصلی مناطق سردسیر ایران براساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP)

حمزه احمدی^{۱*}، غلامعباس فلاح قاهری^۲ و محمد باعقیده^۲

۱. دانش‌آموخته دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲. دانشیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

(دریافت: ۹۶/۲/۱۸، پذیرش نهایی: ۹۷/۷/۳)

چکیده

پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در برنامه‌های راهبردی در قرن حاضر محسوب می‌شود. تحقیق حاضر با هدف پیش‌نگری تغییرات بارش فصلی مناطق سردسیر ایران انجام شد. در این راستا ابتدا تغییرات دوره مشاهده‌ای برای دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۵ بررسی شد. در ادامه داده دوره آینده تا افق ۲۰۹۰ از میان مدل‌های (HadGEM2-ES, BCC-CSM1.1, MIROC-ESM, GFDL-CM3, GISS-E2-R) از سری مدل‌های CMIP5 پایگاه MarksimGCM براساس سناریوهای واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 پردازش شد. سپس صحت‌سنجی براساس معیارهای RMSE, MAE, MBE و R^2 بر روی داده‌ها انجام شد. نتایج نشان داد که مدل HadGEM2-ES از وزن و توانایی بالاتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار می‌باشد و نتایج نشان داد که تغییرات زمانی-مکانی بارش در دوره آینده یکسان نخواهد بود. براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5، در الگوی ماهانه در بیشتر مناطق سردسیر ایران در فصول پاییز و زمستان، مقدار بارش افزایش ناچیزی در حدود ۲۰-۱۰ میلی‌متر نسبت به دوره پایه خواهد داشت، اما در الگوی سالانه مقدار بارش در دوره آینده کاهش خواهد یافت. منطقه پربارش زاگرس مرتفع در الگوی ماهانه و سالانه، با بیشترین تغییرات کاهش بارش برای آینده مواجه خواهد شد. به‌طوری‌که در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) در الگوی سالانه، مقدار بارش تا ۵۴ میلی‌متر معادل ۲۰/۱ درصد کاهش نشان می‌دهد. تغییرات مکانی شدید در مقدار بارش فصلی در مناطق پربارش جنوب غرب ایران بیشتر از دیگر نواحی خواهد بود. از نظر توزیع مکانی، کانون نواحی پربارش در منطقه زاگرس کوچک‌تر شده و به عرض‌های بالاتر جابه‌جا خواهد شد و بر گستره مناطق و پهنه‌های با بارش کمتر افزوده خواهد شد. بنابراین تغییر اقلیم بر توزیع زمانی - مکانی بارش مناطق سردسیر ایران تأثیر خواهد داشت و آینده‌ای با بارش کمتر و متغیر را نشان خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: بارش، تغییر اقلیم، CMIP5، RCP، مناطق سردسیر.

۱. مقدمه

تعادل خود را از دست داده و دمای آن روز به روز در حال افزایش بوده است. با وجودی که اقلیم توسط پدیده‌های جوی شکل می‌گیرد و دما و بارش دو عامل مهم تبیین‌کننده آن در فعالیت‌های زیستی، به‌عنوان یکی از اجزای بوم‌نظام محسوب می‌شود (ترکمان، ۱۳۹۴). دما و بارش مهم‌ترین شاخص‌های تغییرات آب‌کره زمین محسوب می‌شوند (زاهو و همکاران، ۲۰۱۵). بارش یکی از مهم‌ترین نمایه‌های اقلیمی است که با هرگونه دگرگونی در سامانه آب و هوا، دچار تغییر می‌شود. از آنجاکه مهیا شدن منابع آبی بشر به بارش بستگی دارد، لذا تغییرات این فراسنج اقلیمی همواره کانون توجه

امروزه بشر با معضلات و تهدیدات محیطی عمده‌ای مواجه می‌باشد، یکی از این تهدیدهای عمده و حیاتی، تغییرات آب‌وهوایی می‌باشد (رم، ۲۰۱۵؛ ونسگ و همکاران، ۲۰۱۵). مهم‌ترین خصوصیت تغییر اقلیم جهانی، افزایش معنی‌دار دما و توزیع ناموزون بارش است که فاکتورهای محدودکننده‌ای برای توسعه پایدار هستند (دانگ و چن، ۲۰۱۸). یکی از مهم‌ترین مسائلی که در دهه‌های اخیر نمود یافته است، محدودیت منابع آبی است (پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۳). مهم‌ترین عامل بروز تغییر اقلیم، تجمع گازهای گلخانه‌ای در جو است (IPCC, 2014). آب و هوای کره زمین در طی این سال‌ها

عدم قطعیت بیشتری همراه خواهد بود. مو و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی منابع آب در دشت شمال چین مشخص کردند که در آینده تغییرات بارش بیش از تغییرات دما خواهد بود. بارش در آینده میانی با افزایش ناچیزی و در آینده دور با کاهش بیشتر مواجه خواهد شد.

عباسی و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش ایران در دهه‌های آینده پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بارش دوره آینده کاهش خواهد یافت. کوهی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تغییرات پیش‌بینی شده در بارش‌های فرین مشهد طی قرن بیست و یکم پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بارش‌های فرین در آینده با فراوانی بیشتری همراه خواهد بود. دانش فراز و رزاق پور (۱۳۹۳) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق پتانسیل در استان آذربایجان غربی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که براساس سناریوهای انتشار تغییر اقلیم، مقدار بارش در آینده کاهش خواهد یافت. گودرزی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه) مشخص کردند که تا سال ۲۰۹۹ مقدار بارش ۱۱/۹۴ درصد کاهش خواهد یافت. بابائیان و همکاران (۱۳۹۵) کارایی روش‌های پس پردازش آماری در بهبود پیش‌بینی ماهانه بارش مدل MRI-CGCM3 را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اعمال پس پردازش آماری بر روی برون‌داد مستقیم مدل موجب بهبود پیش‌بینی بارش ماهانه می‌شود. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) در برآورد و تعیین الگوی فضایی نیاز آبی درخت سیب در ایران که عمدتاً مناطق سردسیر کشور را در بر می‌گیرد، مشخص کردند که در دوره گذشته یا دوره پایه، مقدار بارش در مناطق کشت درخت سیب کاهش خواهد یافت و کانون‌های نواحی پربارش جابه‌جا خواهند شد. بررسی منابع مختلف نشان داد که رفتار و تغییرات فراسنج‌های دما و بارش برای پیش‌نگری تغییرات اقلیمی از جوانب مختلف بررسی شده است، اما پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر بارش فصلی مناطق سردسیر ایران براساس

مطالعات جهانی بوده است. اخیراً مدل‌های گردش کلی جو (GCM) پیشرفته‌ترین مدل‌های جفت‌شده عددی مینا برای تفسیر سامانه‌های جهانی مانند جو، اقیانوس‌ها و یخ‌های قطبی می‌باشند (محمود و شافون، ۲۰۱۶). آخرین مدل‌های اقلیمی که در فاز پنجم، تحت عنوان پروژه بین مقایسه‌ای مدل‌های جفت‌شده نقش دارند، در حال حاضر در دسترس می‌باشند و مؤلفه‌هایی مانند چرخه‌های کربن دریا و خشکی، پوشش گیاهی و اثرات غیر مستقیم هواویزها برای اولین بار در این مدل‌های قرار داده شده است (تیلور و همکاران، ۲۰۱۲).

اهمیت تغییر اقلیم در سراسر کره زمین موجب شده که همواره بررسی اثرات این پدیده کانون توجه محققان مختلف باشد. چن و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی نیاز آبی و ریسک تأمین آب در مناطق خشک شمال غربی چین پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تغییرات بارش در آینده متغیر است و با تغییرات افزایشی و کاهش شدیدی مواجه خواهد شد. الکساندر و اربستر (۲۰۱۷) بارش‌های حدی را براساس سناریوهای واداشت تابشی و مدل‌های CMIP5 بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که براساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5، بارش در آینده میانی به‌طور ناچیز افزایش خواهد یافت. ایشیدا (۲۰۱۷) به بررسی اثرات تغییر اقلیم در منطقه کالیفرنیا شمالی براساس برون‌داد مدل‌های واداشت تابشی RCP8.5 و RCP4.5 پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بارش دوره آینده با تغییرات کاهش‌ی همراه خواهد بود. ماتو کمالی (۲۰۱۶) در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم برای دوره آینده، برون‌داد شبیه ساز MarkSimGCM برای دما و بارش را حائز اهمیت دانستند. نتایج ایشان نشان داد که براساس مدل‌های CMIP5 دمای هوا تا ۵ درجه سانتیگراد تا آخر قرن بیست و یکم افزایش خواهد یافت. پنگ و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تغییرات زمانی - مکانی تبخیر - تعرق بالقوه براساس سناریوهای واداشت تابشی در فلات لووس چین مشخص کردند که بارش در آینده میانی افزایشی بوده و در آینده دور، با کاهش و

جدید CMIP5 و سناریوهای واداشت تابشی (RCP) بررسی شده است.

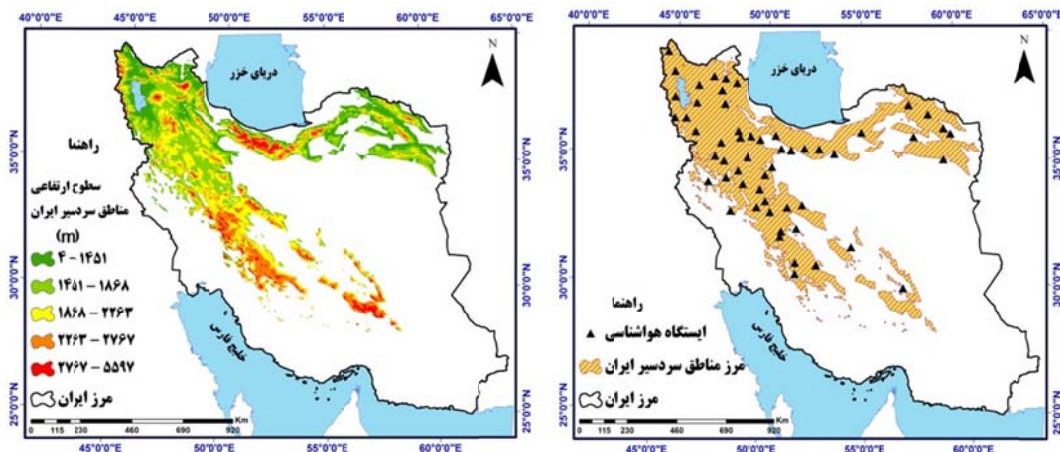
۲. روش پژوهش

تحقیق حاضر با روش آماری - تحلیلی انجام شد. در مطالعه حاضر مناطق سردسیر و کوهستانی که بیشترین پوشش برف را در کشور را نیز در بر می‌گیرند، به‌عنوان مناطق سردسیر مشخص شد (شکل ۱). مناطق و محدوده مناطق سردسیر ایران از نظر اقلیمی، مساحتی معادل ۲۹۵۵۹۴/۲۷ کیلومتر مربع، برابر با ۳۰ درصد از سطح مساحت کشور را شامل می‌شود (احمدی، ۱۳۹۶).

در این مطالعه دو نوع داده زیربنای تحقیق را تشکیل می‌دهند: داده مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده برونداد مدل‌ها برای دوره آینده. مجموعه داده مشاهده‌ای برای دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ از سازمان هواشناسی کشور تهیه و پالایش شد. این مجموعه داده، ۵۳ ایستگاه هواشناسی مناطق سردسیر که در مناطق مرتفع و سردسیر کشور نیز واقع شده‌اند، را پوشش می‌دهد. پراکنش و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در مناطق سردسیر ایران در شکل (۱) مشخص شده است.

سناریوهای واداشت تابشی (RCP) در کشور بررسی نشده است.

دگرگونی آب و هوا و پیامدهای آن از جوانب مختلف بر کره زمین بر کسی پوشیده نیست. هرگونه تغییر در ابر دستگاه جو، تغییرات جدی برای شرایط زیستی انسان، گیاهان و جانوران به‌همراه خواهد داشت. امروزه معضل تغییر اقلیم و اثرات آن، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو در کشور است. منابع آبی به‌دلیل وابستگی زیاد به بارش، به‌شدت از تغییرات اقلیمی آسیب می‌بینند. مناطق سردسیر ایران به‌عنوان منبع ذخیره و تغذیه‌کننده عمده آب‌های سطحی و زیرزمینی و شاه‌راه حیاتی انرژی برق آبی در کشور، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشند. توجه به سناریوها و مدل‌های جدید برای شناخت بیشتر از رفتار تغییر اقلیم بر بارش فصلی مناطق سردسیر در آینده از ضرورت‌های مطالعاتی محسوب می‌شود. بررسی‌ها نشان داده که در حال حاضر مطالعات جامعی مبنی بر اثرات تغییر اقلیم بر روی بارش مناطق سردسیر در کشور انجام نشده است، لذا مطالعه حاضر با هدف پیش‌نگری اثرات تغییرات آب‌وهوایی بر بارش فصلی مناطق سردسیر ایران براساس برونداد مدل‌های



(ب)

(الف)

شکل ۱. (الف) مناطق سردسیر ایران و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه و (ب) وضعیت ارتفاعی مناطق سردسیر ایران.

۳. روش پژوهش

از آنجایی که برون داد مدل های گردش کلی جو قابلیت لازم برای بعد محلی را ندارند، لذا برای جبران این نقیصه بایستی از روش های ریزمقیاس گردانی استفاده شود. ریزمقیاس گردانی مطمئن به در دسترس بودن داده های مشاهده ای معتبر اقلیمی بستگی دارد (جونز و تورنتون، ۲۰۱۳). در این راستا برای شبیه سازی اقلیم دوره آینده، از داده های ریزمقیاس شده پایگاه داده MarkSIMGCM، با تفکیک شبکه ای ۰/۵ در ۰/۵ درجه، براساس خروجی مدل های AOGCM تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP) در دو خط سیر ۸/۵ و ۴/۵ وات بر متر مربع، استفاده شد. پایگاه MarkSimGCM، بخش از گروه مشاوران برای تحقیق در زمینه کشاورزی جهانی (CGIAR) و برنامه تحقیقاتی بر روی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی و امنیت غذایی (CCAFS) می باشد (دو کو و همکاران، ۲۰۱۸). پایگاه مذکور با سازوکاری مبتنی بر وب، با استفاده از مدل تصادفی مرتبه سوم مارکوف، داده های بارش و براساس رویکرد ریچاردسون (۱۹۸۱)، داده های دمای کمینه و بیشینه و تابش آفتاب در مقیاس روزانه را ریزگردانی می کند (نوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ جونز و تورنتون، ۲۰۱۳). این پایگاه داده برای ریزمقیاس گردانی، دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ را به عنوان دوره پایه یا گذشته در نظر می گیرد. براساس ۱۷ مدل AOGCM از سری مدل های CMIP5، براساس آخرین گزارش تغییر اقلیم (گزارش پنجم) تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی (RCP)، اقدام به شبیه سازی داده دوره آینده از ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۵ می کند. این پایگاه داده از آنجایی که مبتنی بر وب است، برای کلیه نقاط کره

زمین به راحتی قابل دسترس است (احمدی، ۱۳۹۶). مدل هایی که در این پایگاه تعبیه شده اند، جزو مناسب ترین مدل ها از نظر سلول محاسباتی یا تفکیک مکانی محسوب می شوند. این پایگاه با ارائه داده های ریزمقیاس شده از تغییر اقلیم آینده، برای مدل سازی در مطالعات کشاورزی ابداع شده است (نوری و همکاران، ۲۰۱۷؛ احمدی، ۱۳۹۶). برای پایگاه MarkSimGCM یک برنامه فورترن جهت دار توسعه داده شده تا براساس روش درون یابی Anuspline به ریزمقیاس گردانی پردازد. این پایگاه با یک GUI یا رابط کاربر گرافیکی در Google Earth ارتباط داده شده است. این ابزار به طور آزادانه قابل دسترس می باشد. کاربر با انتخاب محل مورد نظر (برنامه قابلیت فراهم سازی برای هر نقطه از کره زمین برای دسترسی به نرمال داده های اقلیم آینده را دارا می باشد) و انتخاب یکی از مدل های گردش کلی جو و یکی از چهار خط سیر سناریوهای واداشت تابشی (RCP)، به عنوان آخرین گزارش هیأت بین الدول تغییر اقلیم (IPCC, AR5) به ریزمقیاس نمایی پردازد (احمدی، ۱۳۹۶).

در این مطالعه برای داده دوره آینده براساس پایگاه داده MarkSimGCM، برون داد پنج مدل پیشنهادی در پروژه درون مقایسه ای مدل های جفت شده (BCC-CSM1.1، HadGEM2-ES، GFDL-CM3، MIROC-ESM و GIS-E2-R) تحت سناریوهای واداشت تابشی در دو خط سیر واداشتی ۸/۵ و ۴/۵ وات بر متر مربع، با استفاده از داده دوره مشاهده ای (۱۹۸۰-۲۰۰۵) انجام شد. نام مدل ها، موسسات ارائه دهنده مدل و تفکیک افقی مدل های مورد مطالعه در جدول (۱) مشخص شده است.

جدول ۱. مشخصات مدل های CMIP5 ارزیابی شده در مطالعه حاضر.

نام مدل های جوی - اقیانوسی جفت شده	نام موسسه ارائه دهنده مدل	تفکیک افقی مدل (km ²)
BCC-CSM1.1	مرکز برکنس برای تحقیقات آب و هوا (دانشگاه برکن، نروژ)	۱/۹ × ۱/۹
HadGEM2-ES	مدل مرکز مطالعات محیطی جهانی هدلی	۱/۸ × ۱/۱۲۵
GFDL-CM3	آزمایشگاه ژئوفیزیک و دینامیک شاره ها	۲/۵ × ۲
MIROC-ESM	موسسه مطالعات جوی و اقیانوسی و علوم زمینی - دریایی و موسسه مطالعات علوم محیطی ژاپن	۲/۸ × ۲/۸
GISS-E2-R	موسسه مطالعات فضایی گودارد	۲/۵ × ۲

احمدی، ۱۳۹۶).

معیارهای ارزیابی (RMSE، MAE، MBE و R^2) که برای انطباق و اعتبار سنجی پرونداد مدل‌ها با دوره مشاهده‌ای مشخص شده، جزو متداول‌ترین معیارهای برای خطاسنجی محسوب می‌شوند (شترتها و همکاران، ۲۰۱۶). این معیارهای براساس معادله‌های (۲ تا ۵) محاسبه می‌شوند.

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

$$MBE = \frac{\sum_i (P_i - O_i)}{n} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_i |P_i - O_i|}{n} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right)^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

در معادله‌های فوق، P_i مقدار برآورد شده و O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر برآورد شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل میزان بارش را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

پس از انتخاب توانمندترین مدل با خطای شبیه‌سازی کمتر، به منظور سنجش تغییرات بارش در دوره آینده بر مناطق سردسیر ایران، داده‌های پرونداد مدل منتخب در دو خط سیر واداشتی بالا و حد وسط به ترتیب RCP8.5 و RCP4.5 برای دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) بررسی و تنظیم شد. در ادامه توزیع مکانی یا الگوی فضایی بارش فصلی برای دوره مشاهده‌ای

در مدل‌سازی عدم قطعیت‌هایی وجود دارد که این موارد به علت عدم قطعیت‌های موجود در شرایط اولیه، داده‌های مشاهداتی و پارامترهای مدل به وجود می‌آیند و عمدتاً ناشی از این واقعیت می‌باشند که بعضی از فرآیندها در سامانه اقلیم به خوبی شناخته نشده‌اند. روش‌های مختلفی جهت کاهش این عدم قطعیت‌ها از طرف هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم ارائه شده است (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱). استفاده از نتایج مدل‌های گردش کلی با تفکیک ۲۰۰ کیلومتر و پایین‌تر در مطالعات محیطی از نتایج بهتری برخوردار می‌باشد (هور و آن، ۲۰۱۵). با توجه به تفکیک مکانی بالای مدل‌های سری CMIP5 در مقایسه با سری CMIP3 (تیرگرفاخری و همکاران، ۱۳۹۶)، در مطالعه حاضر از مدل‌های گردش کلی ارائه شده در پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت‌شده (CMIP5) استفاده شد.

از میان پنج مدل پیشنهادی، (BCC-CSM1.1، MIROC-ESM، GFDL-CM3، HadGEM2-ES و GISS-E2-R) تعبیه شده در پایگاه MarkSimGCM، با اعمال روش وزن‌دهی (رابطه ۱) و معیارهای اعتبار سنجی ارائه شده (رابطه‌های ۲ تا ۵) بر روی داده مشاهده‌ای یا گذشته در دوره (۱۹۸۰-۲۰۰۵) و داده پرونداد مدل‌ها در دوره آینده، مدل مرکز تحقیقات هدلی (HadGEM2-ES) با تفکیک مکانی 1.25×1.88 کیلومتر، به دلیل اختلاف کمتر و انطباق بالاتر با داده مشاهده‌ای، از توانایی بیشتری در شبیه‌سازی بارش آینده برخوردار می‌باشد.

$$W_{i,j} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (\Delta F / \Delta I_{i,j})} \quad (1)$$

در رابطه فوق F متغیر هواشناسی مورد بررسی، ΔF اختلاف بین متغیر شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای مختلف با مقدار مشاهداتی در دوره پایه و W وزن شبیه‌سازی‌های هر مدل گردش عمومی جو برای سناریوی مورد نظر می‌باشد. i و j به ترتیب نشان‌دهنده ماه و مدل گردش عمومی جو می‌باشد (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱)؛

شده، از توانمندی بالاتری در شبیه‌سازی رفتار دما و بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه یا مشاهده‌ای برخوردار می‌باشد. همان‌طور که در جدول (۱) مشخص شده، مدل مذکور برای دمای کمینه، بیشینه و بارش به ترتیب از وزنی برابر با ۰/۴۰، ۰/۳۹ و ۰/۲۹ برخوردار می‌باشد. بنابراین از داده‌های مدل مذکور پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده CMIP5، براساس سناریوهای واداشت تابشی RCP، برای ارزیابی و آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم دوره آینده استفاده شد.

۴-۲. نتایج راستی آزمایی و عملکرد معیارهای ارزیابی

بر برون‌داد مدل‌های پیشنهاد شده برای مؤلفه بارش نتایج ارزیابی عملکرد و مقایسه مدل‌های پیشنهاد شده گردش کلی جو برای مؤلفه بارش در دوره آینده نسبت به دوره مشاهده‌ای (۱۹۸۰-۲۰۰۵) براساس معیارهای ارزیابی در جدول (۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل‌های پیشنهاد شده از انطباق نسبتاً بالایی با داده مشاهده‌ای برخوردارند، اما مدل HadGEM2-ES از انطباق بالاتر و خطای شبیه‌سازی کمتری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار می‌باشد.

و دوره آینده در مناطق سردسیر ایران ترسیم شد. در فصولی که ارتباط قابل‌قبولی بین مؤلفه‌های مکانی و مقدار بارش فصلی مشاهده شد، براساس رگرسیون چند متغیره معادله خط بین بارش و مؤلفه‌های مکانی بر روی لایه رقومی ارتفاع مناطق سردسیر ایران، اعمال شد. در فصولی که ارتباط بارش با پارامترهای مکانی معنی‌دار نشد، از خروجی روش درون‌یابی کریجینگ به دلیل میزان خطای کمتر نسبت به دیگر روش‌ها استفاده شد. این عملیات با استفاده از امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در قالب ابزارهای تحلیل مکانی و مدل رقومی ارتفاع (DEM) مناطق سردسیر ایران براساس نرم‌افزار ArcGIS10.2 مشخص شد.

۴. نتایج و بحث

۴-۱. اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی کننده گردش

کلی جو از تغییر اقلیم آینده

نتایج اعتبارسنجی و تعیین میزان توانمندی مدل‌های گردش کلی جو با داده دوره مشاهده‌ای (۱۹۸۰-۲۰۰۵) براساس روش وزن‌دهی در جدول (۲) مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل HadGEM2-ES با توجه به وزن بالاتر نسبت به دیگر مدل‌های گردش کلی پیشنهاد

جدول ۲. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های گردش کلی جو براساس روش وزن‌دهی در مقایسه با دوره مشاهده‌ای (۱۹۸۰-۲۰۰۵).

GISS-E2-R	MIROC-ESM	GFDL-CM3	HadGEM2-ES	BCC-CSM1.1	
۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۴۰	۰/۳۰	دمای کمینه
۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۳۹	۰/۲۷	دمای بیشینه
۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۲۶	بارش

جدول ۳. نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای پنج مدل گردش کلی در مؤلفه بارش نسبت به دوره تاریخی (۱۹۸۰-۲۰۰۵). (کمیت‌های MAE, MBE و

RMSE بر حسب mm)

معیارهای ارزیابی					مدل
RMSE	MBE	MAE	R ²	R	
۹/۹۹	۱۱/۰۵	۱۵/۷	۰/۵۰	۰/۷۰	BCC-CSM1.1
۸/۷۱	۱۲/۴۹	۱۳/۴۰	۰/۵۴	۰/۷۴	HadGEM2-ES
۱۲/۱۲	۱۴/۷۲	۱۸/۵	۰/۴۹	۰/۷۱	GFDL-CM3
۹/۸۲	۱۳/۱۹	۱۴/۱۲	۰/۵۲	۰/۷۲	MIROC-ESM
۱۵/۸۸	۲۵/۰۹	۱۹/۵۹	۰/۴۸	۰/۶۹	GISS-E2-R

برای شبیه‌سازی بارش دوره آینده قابل قبول است و مدل از توانایی بالایی در شبیه‌سازی بارش برخوردار می‌باشد. شبیه‌سازی بارش نسبت به دمای هوا، عمدتاً با عدم قطعیت بالاتری همراه بوده و هر چه قدر دوره آینده دورتر می‌شود این عدم قطعیت شدت بیشتری پیدا می‌کند. بررسی‌ها نشان داد که مدل‌های گردش کلی جو برای شبیه‌سازی پارامتر دمای هوا از دقت و عملکرد بالاتری نسبت به بارش برخوردارند. به‌طور کلی، مدل مذکور در شبیه‌سازی بارش از دقت کمتری نسبت به دما برخوردار می‌باشد که این امر ناشی از پیچیده بودن فرآیند بارش و همچنین ساختار مدل‌های اقلیمی است.

۳-۴. ارزیابی عملکرد مدل HadGEM2-ES از بارش

آینده نسبت به دوره پایه

با استفاده از معیارهای RMSE، MAE، MBE و R^2 ، نتایج مدل HadGEM2-ES برای بارش در دوره آینده با داده‌های دوره مشاهداتی مقایسه و سنجش شد. این شرایط تا اواخر ۲۰۹۰ در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) بر روی ۸ ایستگاه هواشناسی عمده در مناطق سردسیر ایران اعمال شد (جدول‌های ۴ و ۵). نتایج نشان داد که برونداد مدل HadGEM2.ES از انطباق بالایی با داده مشاهداتی یا دوره پایه برخوردار می‌باشد. در واقع با توجه به نتایج معیارهای اعتبار سنجی، عملکرد مدل

جدول ۴. نتایج بررسی عملکرد مدل HadGEM2-ES در شبیه‌سازی بارش دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۵) با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی نسبت به دوره مشاهده‌ای پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۵) در مناطق سردسیر ایران. (کمیت‌های MAE، MBE و RMSE بر حسب mm)

ایستگاه هواشناسی	R	R^2	MAE	MBE	RMSE
کرج	۰/۹۵	۰/۹۰	۴/۷۹	۳۷/۰۵	۶/۰۹
زنجان	۰/۷۳	۰/۵۳	۱۲/۴۰	۳۱/۴۹	۱۲/۷۱
شاهرود	۰/۹۴	۰/۸۸	۲/۵۵	۹/۷۲	۳/۱۲
مشهد	۰/۹۹	۰/۹۸	۲/۱۲	۳/۱۹	۲/۸۶
تبریز	۰/۹۲	۰/۸۶	۶/۵۹	۶۲/۰۹	۷/۸۸
سقز	۰/۹۵	۰/۹۰	۷/۷۷	۸۷/۷۰	۹/۳۶
شهرکرد	۰/۹۱	۰/۸۳	۷/۷۴	۳۲/۲۲	۱۱/۵۰
یاسوج	۰/۹۱	۰/۸۴	۴۷/۱۱	۴۶/۳۵	۱۱/۱۲

جدول ۵. بررسی عملکرد مدل HadGEM2-ES در شبیه‌سازی تغییرات بارش دوره (۲۰۹۰-۲۰۵۶) با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی نسبت به دوره مشاهده‌ای پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۵) در مناطق سردسیر ایران. (کمیت‌های MAE، MBE و RMSE بر حسب mm)

ایستگاه هواشناسی	R	R^2	MAE	MBE	RMSE
کرج	۰/۹۶	۰/۹۳	۳/۷۱	۲۲/۲۷	۴/۷۲
زنجان	۰/۷۵	۰/۵۷	۱۱/۵۳	۳۵/۰۳	۱۷/۳۵
شاهرود	۰/۹۵	۰/۹۱	۱/۹۱	۶/۷۲	۲/۵۹
مشهد	۰/۹۸	۰/۹۷	۲/۰۸	۶/۵۳	۲/۵۶
تبریز	۰/۹۲	۰/۸۵	۵/۶۵	۵۵/۵۷	۷/۴۵
سقز	۰/۹۵	۰/۹۲	۷/۲۱	۷۷/۲۶	۸/۷۹
شهرکرد	۰/۹۱	۰/۸۳	۷/۶۵	۱۳۱/۴۴	۱۱/۴۶
یاسوج	۰/۹۲	۰/۸۵	۴۶/۳۸	۱۱۲/۲	۱۶/۱۸

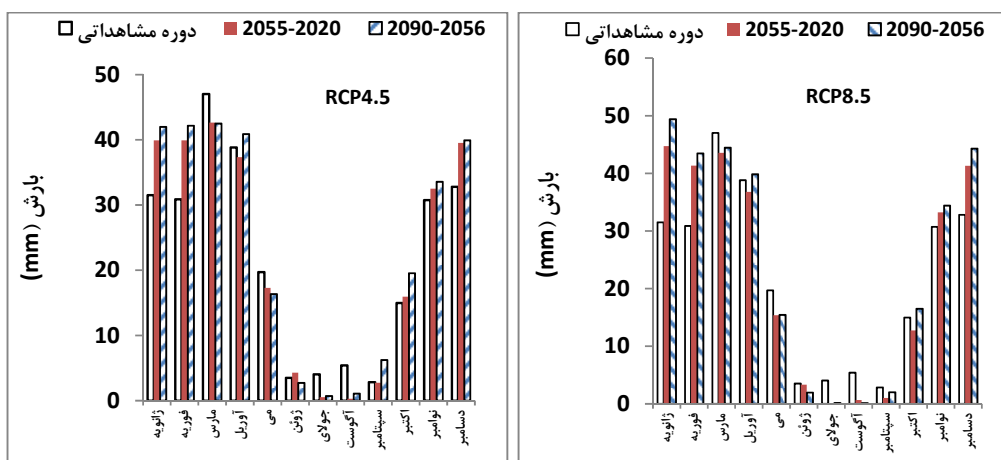
۴-۴. تغییرات بارش ماهانه براساس سناریوهای

RCP4.5 و RCP8.5

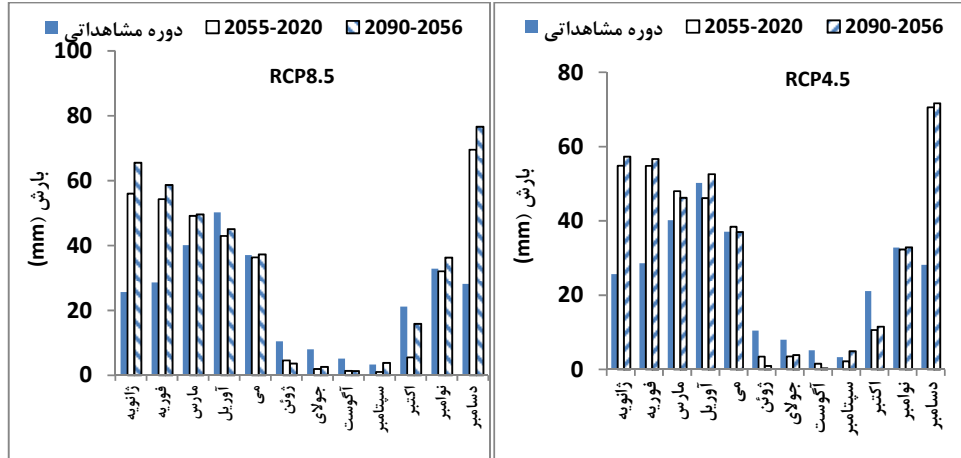
نتایج نشان داد که در ایستگاه کرج براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر میزان بارش بیشتر از دوره مشاهده‌ای و در دیگر ماه‌های سال کمتر از دوره مشاهده‌ای رخ خواهد داد (شکل ۲). در سناریوی RCP4.5 علاوه بر ماه‌های ذکر شده، در ماه سپتامبر نیز مقدار بارش بیشتر از دوره مشاهده‌ای رخ خواهد داد. میزان تغییرات بارش در سناریوی RCP4.5 کمتر از سناریوی RCP8.5 مشاهده می‌شود (شکل ۲). بیشترین تغییرات افزایش بارش در ماه‌های ژانویه، مارس و دسامبر رخ خواهد داد. میانگین تغییرات بارش سالانه براساس سناریوی RCP8.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب $-۰/۹۹$ و $-۲/۴$ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره مشاهده‌ای خواهد بود، براساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب $+۰/۸۹$ و $+۲/۱$ میلی‌متر افزایش در بارش سالانه رخ خواهد داد. افزایش بارش در آینده

دور بیشتر از آینده میانی مشاهده می‌شود. این مقدار افزایش بارش بسیار ناچیز خواهد بود.

در ایستگاه زنجان براساس سناریوی RCP8.5 در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر میزان بارش بیشتر از دوره پایه یا مشاهده‌ای رخ خواهد داد (شکل ۳). در سناریوی RCP4.5 علاوه بر ماه‌های مذکور در سناریوی RCP8.5، در ماه‌های آوریل و می نیز افزایش بارش رخ خواهد داد (شکل ۳). در ماه‌های فصل گرم مقدار بارش دوره آینده کمتر از دوره پایه خواهد بود. در هر دو سناریو، بیشترین مقدار افزایش بارش دوره آینده در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه مشاهده می‌شود. میانگین تغییرات بارش سالانه براساس سناریوی RCP8.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب $۵/۳$ و $۸/۷$ میلی‌متر افزایش نسبت به دوره پایه یا مشاهده‌ای خواهد بود. براساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب $۶/۲$ و $۷/۷$ میلی‌متر افزایش بارش سالانه رخ خواهد داد. افزایش بارش در دوره آینده دور بیشتر از آینده میانی خواهد بود.



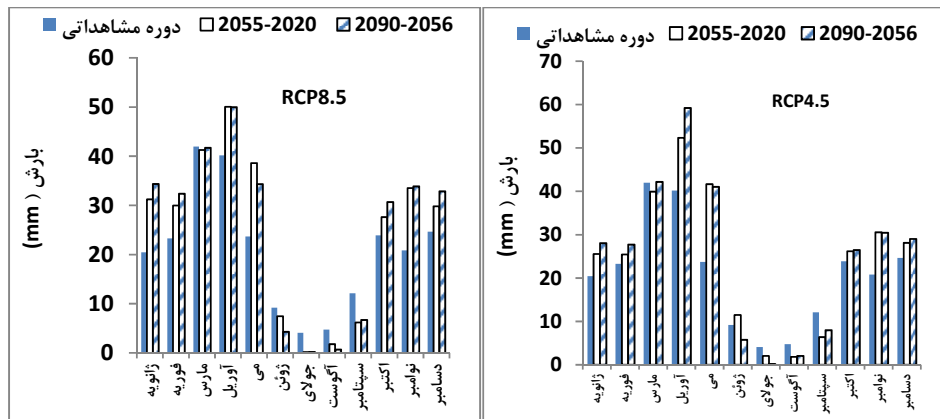
شکل ۲. وضعیت تغییرات بارش ایستگاه کرج تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5.



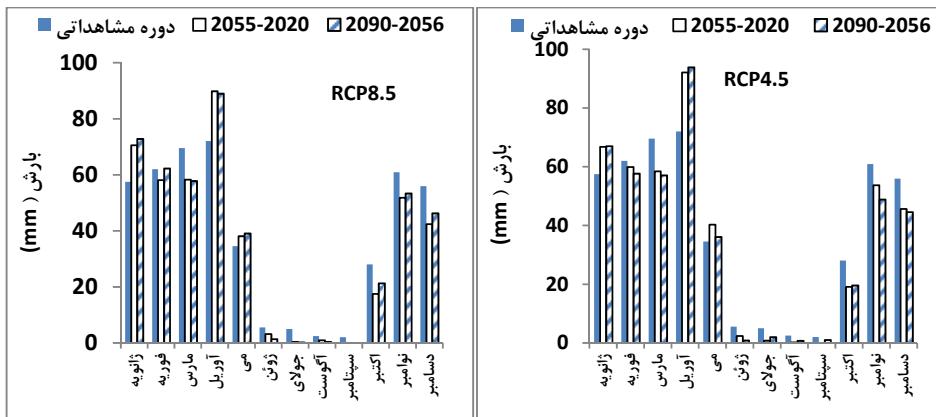
شکل ۳. وضعیت تغییرات بارش ایستگاه زنجان تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

خواهد داد. در ایستگاه سقز براساس سناریوهای مورد مطالعه، فقط در ماه‌های ژانویه، آوریل و می میزان بارش بیشتر از دوره پایه رخ خواهد داد (شکل ۵). براساس هر دو سناریوی مورد مطالعه، در بیشتر ماه‌های سال مقدار بارش دوره آینده کمتر از دوره پایه خواهد بود. بیشترین مقدار افزایش بارش دوره آینده در ماه آوریل مشاهده می‌شود. میانگین تغییرات بارش سالانه براساس سناریوی RCP8.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۲- و ۰/۹۹- میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره پایه خواهد بود. براساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۱/۳- و ۲/۲- میلی‌متر کاهش بارش رخ خواهد داد.

در ایستگاه تبریز براساس هر دو سناریوی مورد مطالعه در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، می، اکتبر، نوامبر و دسامبر میزان بارش بیشتر از دوره مشاهده‌ای یا پایه رخ خواهد داد (شکل ۴). بیشترین تغییر در مقدار بارش دوره آینده در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل و می مشاهده می‌شود. در هر دو سناریو در ماه‌های مارس، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر در آینده کاهش بارش نسبت به دوره پایه رخ خواهد داد. میانگین تغییرات بارش سالانه نسبت به دوره پایه براساس سناریوی RCP8.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۴ و ۴/۳ میلی‌متر افزایش خواهد بود. براساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۳/۵ و ۴/۲ میلی‌متر افزایش بارش سالانه رخ خواهد داد.



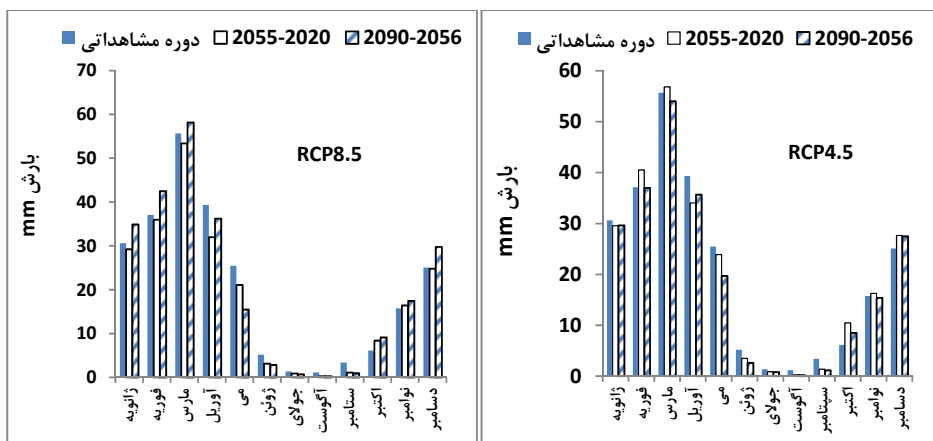
شکل ۴. وضعیت تغییرات بارش ایستگاه تبریز تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوی RCP8.5



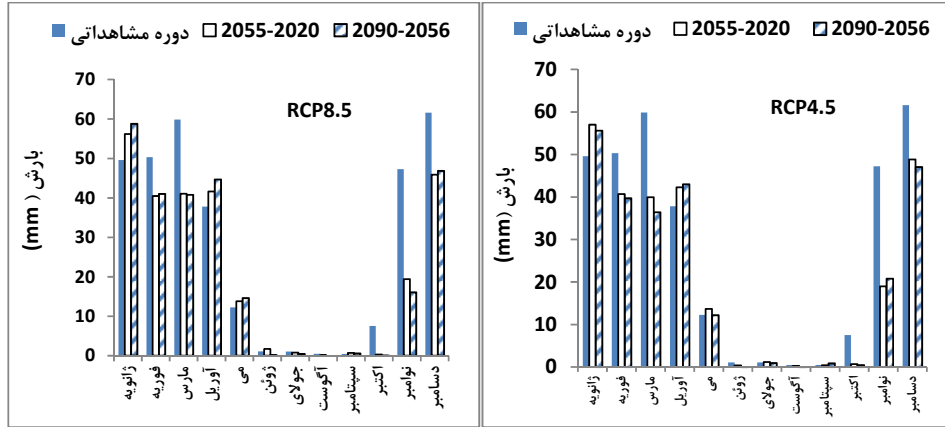
شکل ۵. وضعیت تغییرات بارش ایستگاه سقر تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

در ایستگاه مشهد براساس سناریوی RCP8.5 در ماه‌های ژانویه، فوریه، اکتبر، نوامبر و دسامبر میزان بارش به صورت ناچیز بیشتر از دوره پایه رخ خواهد داد (شکل ۶). براساس سناریوی RCP4.5 در ماه‌های فوریه و مارس در دوره میانی و در ماه‌های اکتبر و دسامبر در هر دو دوره آینده، مقدار بارش به صورت ناچیزی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت (شکل ۴-۱۱۲). میانگین تغییرات بارش سالانه براساس سناریوی RCP8.5 برای دوره‌های (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۵/۶- و ۵/۴- میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره پایه خواهد بود، براساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۵/۴- و ۶- میلی‌متر افزایش بارش رخ خواهد داد.

در ایستگاه مشهد براساس سناریوی RCP8.5 در ماه‌های ژانویه، فوریه، اکتبر، نوامبر و دسامبر میزان بارش به صورت ناچیز بیشتر از دوره پایه رخ خواهد داد (شکل ۶). براساس سناریوی RCP4.5 در ماه‌های فوریه و مارس در دوره میانی و در ماه‌های اکتبر و دسامبر در هر دو دوره آینده، مقدار بارش به صورت ناچیزی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت (شکل ۴-۱۱۲). میانگین تغییرات بارش سالانه براساس سناریوی RCP8.5 برای دوره‌های (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۵۶-۲۰۹۰) به ترتیب ۵/۶- و ۵/۴- میلی‌متر کاهش و افزایش بارش نسبت به دوره پایه خواهد بود. این تغییرات در دوره آینده میانی بیشتر از آینده دور رخ خواهد داد. براساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و



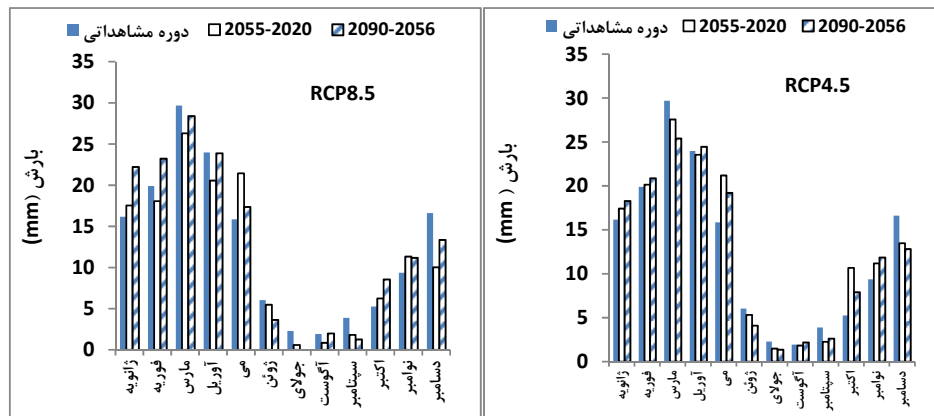
شکل ۶. وضعیت تغییرات بارش ایستگاه مشهد تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5



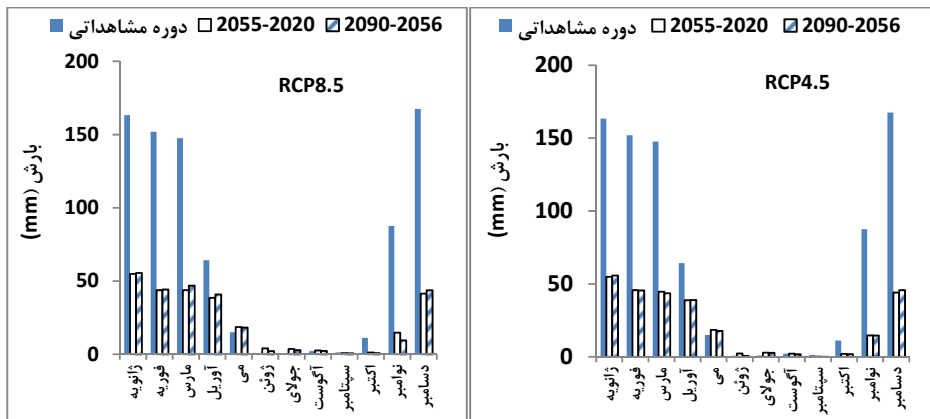
شکل ۷. وضعیت تغییرات بارش ایستگاه شهرکرد تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5

افزایش بارش رخ خواهد داد. در ایستگاه یاسوج براساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در تمام ماه‌های سال کاهش شدیدی در مقدار بارش دوره آینده نسبت به دوره پایه یا مشاهداتی رخ خواهد داد. کاهش مقدار بارش دوره آینده در ماه‌های مرطوب دسامبر تا فوریه بیشتر از دیگر ماه‌های سال رخ خواهد داد (شکل ۹). میانگین تغییرات بارش سالانه براساس سناریوی RCP8.5 برای دوره‌های (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۴۵- و ۴۵- میلی‌متر کاهش بارش سالانه نسبت به دوره پایه خواهد بود، براساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۴۳- و ۴۲- میلی‌متر کاهش بارش رخ خواهد داد.

در ایستگاه شاهرود براساس سناریوی RCP8.5 در ماه‌های ژانویه، فوریه، می، اکتبر و نوامبر میزان بارش بیشتر از دوره پایه رخ خواهد داد (شکل ۸). در دیگر ماه‌های سال مقدار بارش از دوره پایه کمتر خواهد بود. براساس سناریوی RCP4.5 در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، می، اکتبر و نوامبر میزان بارش بیشتر از دوره پایه رخ خواهد داد (شکل ۴-۱۱۶). مقدار بارش در دیگر ماه‌های سال کمتر از دوره پایه کمتر رخ خواهد داد. میانگین تغییرات بارش سالانه براساس سناریوی RCP8.5 برای دوره‌های (۲۰۵۵-۲۰۲۰) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۰/۸۹- و ۰/۳۴- میلی‌متر کاهش و افزایش بارش نسبت به دوره پایه خواهد بود، براساس سناریوی RCP4.5 برای دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۵۵) و (۲۰۹۰-۲۰۵۶) به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۱۷ میلی‌متر



شکل ۸. وضعیت تغییرات بارش ایستگاه شاهرود تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5



شکل ۹. وضعیت تغییرات بارش ایستگاه یاسوج تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5

احتمال زیاد پهنه‌های پربارش در مناطق غرب و جنوب غرب ایران به سمت عرض‌های بالاتر جابه‌جا خواهد شد.

۴-۵. وضعیت تغییرات بارش فصل زمستان براساس

سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

نتایج توزیع مکانی بارش فصل زمستان مناطق سردسیر در دوره پایه و آینده در شکل (۱۰) مشخص شده است. در دوره مشاهده‌ای یا پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۵) بارش‌ها در مناطق سردسیر و مرتفع ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی، از ۲۸ تا ۳۵۷ میلی‌متر متغیر می‌باشند. در این فصل از سال مناطق پربارش عمدتاً، محدوده غرب و جنوب غرب ایران را پوشش می‌دهند. مناطق کم‌بارش نیز ارتفاعات عرض‌های جنوبی در استان کرمان و یزد و ارتفاعات جنوبی خراسان رضوی و البرز را شامل می‌شود. به‌طور بارش از در دوره پایه از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاهش می‌یابد.

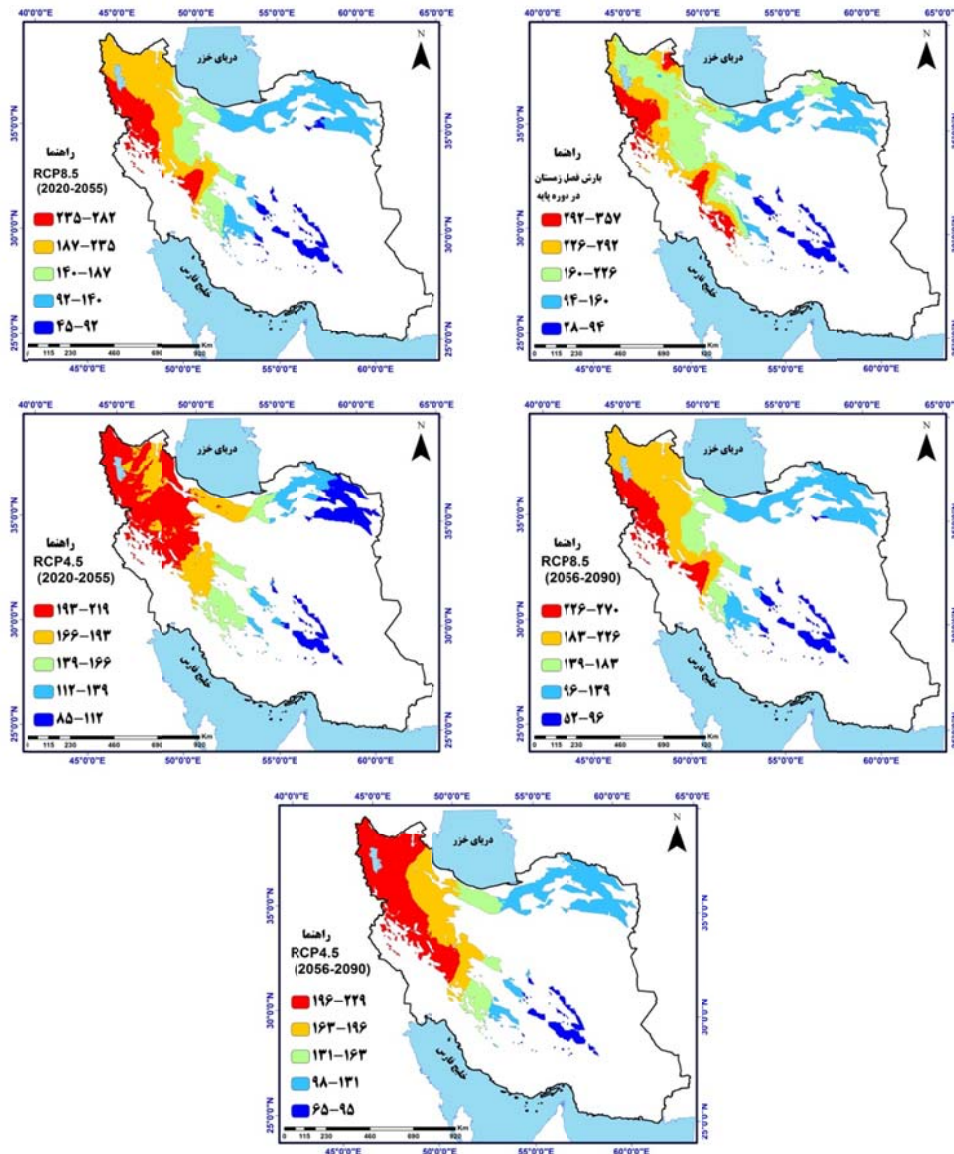
در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP8.5، مقدار بارش کاهش خواهد یافت، به‌طوری‌که حد بالای بارش در مناطق پربارش به ۲۸۲ میلی‌متر کاهش می‌یابد که برابر با ۷۵ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره پایه است. در این دوره جابه‌جایی کمی در کانون‌های پربارش در غرب و جنوب غرب به سمت عرض‌های بالاتر رخ خواهد. در دوره آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) حد بالای بارش به ۲۷۰ کاهش خواهد یافت. در این دوره از

نتایج نشان داد که در مناطق سردسیر ایران تغییرات زمانی بارش در طول سال برای دوره آینده یکسان نخواهد بود. به‌طوری‌که در بیشتر مناطق سردسیر ایران، در ماه‌های سرد سال به‌خصوص فصول پاییز و زمستان، مقدار بارش نسبت به دوره مشاهده‌ای یا پایه افزایش ناچیزی نشان خواهد داشت. در منطقه جنوب غربی برای مناطق زاگرس مرتفع به نمایندگی ایستگاه شهرکرد و یاسوج، از نظر زمانی در بیشتر ماه‌های سال حتی ماه‌های سرد سال، مقدار بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه کاهش چشم‌گیری را خواهد داشت. براساس سناریوهای واداشت تابشی و مدل مذکور، در فصول زمستان و پاییز به‌طور قوی‌تر و فصل بهار به‌طور جزئی‌تر، مقدار بارش نسبت به دوره پایه در سطح بسیار ناچیزی به‌طور متوسط تا ۲۰-۱۰ میلی‌متر افزایش خواهد داشت و این میزان افزایش در دهه‌های پایانی قرن حاضر یا دوره آینده دور (۲۰۹۰-۲۰۵۶) بیشتر رخ خواهد داد. این افزایش ناچیز در میزان بارش در دهه-های آینده با توجه به بالارفتن میزان دما و افزایش میزان تبخیر-تعرق پتانسیل، نمی‌تواند ثبات داشته باشد. در ایستگاه‌های واقع در عرض‌های بالا برای مناطقی مانند زنجان و تبریز، در دوره آینده با افزایش جزئی در مقدار بارش مواجه خواهند شد. در مناطق مرطوب و پربارش غرب و جنوب غرب ایران به‌طور نمونه ایستگاه‌های سقز، شهرکرد و یاسوج، تغییرات کاهشی شدیدتری در دوره آینده رخ خواهد داد. با توجه به نتایج حاصل شده، با

بود که نسبت به سناریوی بدبینانه افزایش بارش در نواحی کم‌بارش را نشان خواهد داد. در دوره آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار بارش از ۶۵ تا ۲۲۹ میلی‌متر متغیر خواهد بود. کانون عمده بارش در نواحی بادگیر زاگرس از منطقه جنوب غرب تا شمال غرب را شامل می‌شود. به‌طور کل بارش در فصل زمستان در دوره آینده تا افق ۲۰۹۰ براساس هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه کاهش خواهد یافت و کانون نواحی پربارش به سمت عرض‌های بالاتر جابه‌جا خواهد شد.

عرض‌های جنوبی بر وسعت مناطق کم‌بارش افزوده خواهد شد و کانون مناطق پربارش به عرض‌های بالاتر در شمال غرب جابه‌جا خواهد شد.

در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP4.5، توزیع بارش‌ها متفاوت‌تر از سناریوی RCP8.5 خواهد بود. در این دوره براساس سناریوی خوش‌بینانه یا حد وسط، عمده بارش‌ها به مقدار ۱۹۳-۲۱۹، عمدتاً مناطق شمال غرب و غرب کشور را پوشش خواهد داد. مقدار بارش در نواحی کم‌بارش بین ۸۵-۱۱۲ میلی‌متر خواهد



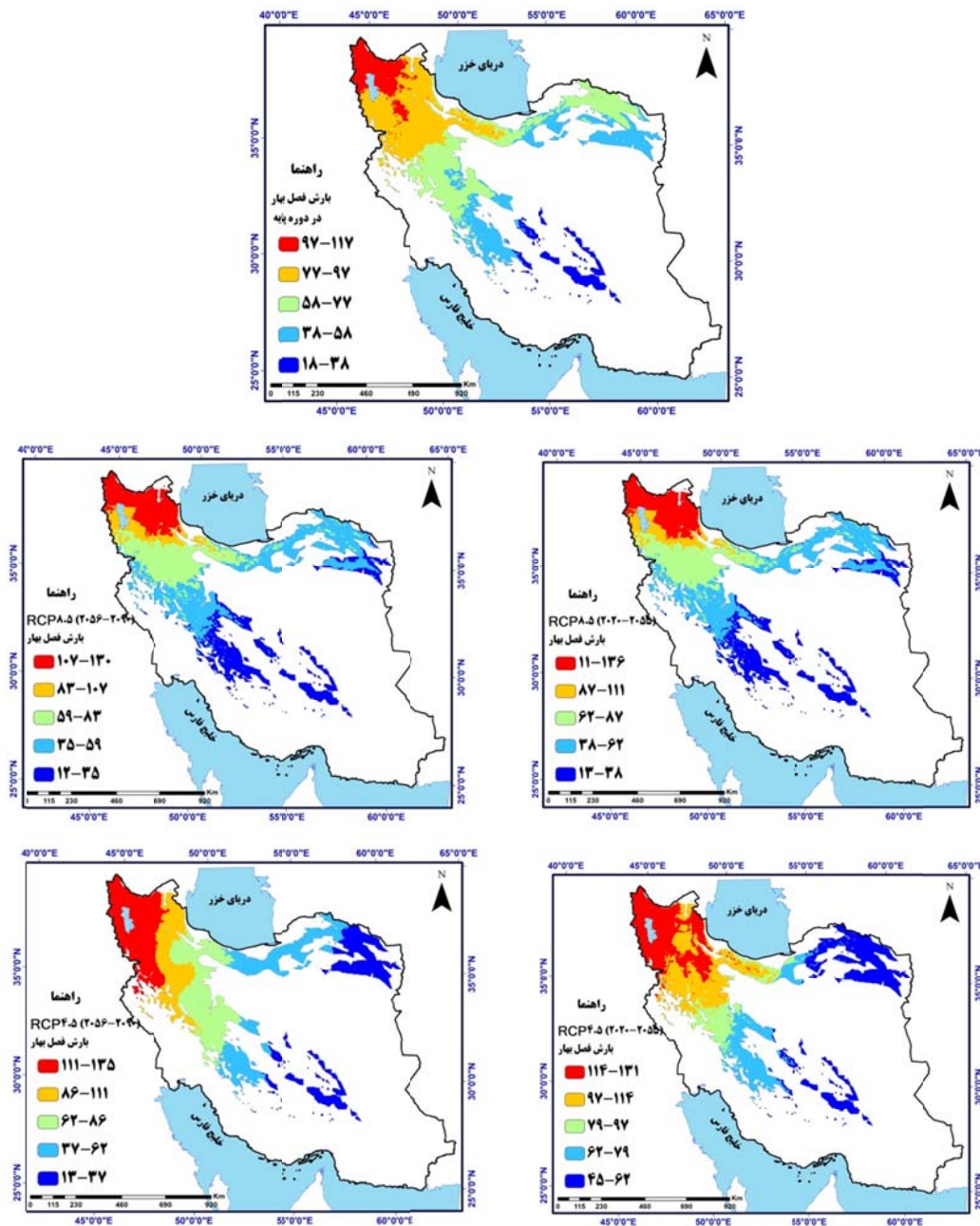
شکل ۱۰. الگوی تغییرات بارش فصل زمستان براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 (بر حسب mm). برای اطلاعات به راهنمای نقشه توجه شود.

۴-۶. وضعیت تغییرات بارش فصل بهار براساس

سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

نتایج توزیع مکانی بارش فصل بهار مناطق سردسیر در دوره پایه و آینده در شکل (۱۱) مشخص شده است. در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۳) بارش‌ها از ۱۸ تا ۱۱۷ میلی‌متر در مناطق سردسیر و مرتفع متغیر می‌باشد. در این فصل مناطق

عمده پربارش در نوار شمال غربی در شمال استان‌های آذربایجان غربی و شرقی واقع شده است. نواحی کم‌بارش در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز و و عرض‌های جنوبی در ارتفاعات کرمان و یزد قرار دارد. در این فصل از شمال به جنوب و از غرب به شرق به‌شدت از مقدار بارش‌ها کاسته می‌شود.



شکل ۱۱. الگوی تغییرات بارش فصل بهار براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5. (بر حسب mm). برای اطلاعات به راهنمای نقشه توجه شود.

در فصل تابستان عمده بارش‌ها فقط در مناطق البرز مرکزی و نوار شمالی منطقه شمال غرب بیشتر رخ می‌دهد. با کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی مقدار بارش کاهش خواهد یافت.

در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP8.5، مقدار بارش فصل تابستان نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. در این دوره عمده بارش‌ها در نوار شمال غربی ایران رخ خواهد داد. مناطق شمال شرق و نیمه جنوبی و غربی کمترین بارش‌ها را به خود اختصاص خواهند داد. در دوره آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) براساس سناریوی RCP8.5، مقدار بارش با کاهش بیشتری همراه خواهد بود. به طوری که بارش‌ها بین ۱ تا ۱۱ میلی‌متر در مناطق سردسیر ایران متغیر خواهد بود و کانون عمده بارش‌ها گوشه شمال غربی ایران را پوشش خواهد داد.

در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP4.5، مقدار بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. کانون عمده بارش‌ها حاشیه دریای خزر و مناطق دامنه‌های جنوبی البرز غربی را پوشش می‌دهد. بارش‌ها در این دوره بین ۱/۸ تا ۳۷ میلی‌متر متغیر خواهد بود. بیشتر مناطق سردسیر در این دوره بین ۹-۱/۸ میلی‌متر بارش را دارا خواهند بود.

در دوره آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) براساس سناریوی RCP4.5، مقدار بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. در این دوره بارش‌ها بین ۱/۹ تا ۱۹ میلی‌متر در مناطق سردسیر متغیر خواهد بود. عمده بارش‌ها در نوار شمال غربی رخ خواهد داد. نیمه غربی و شمال شرقی و جنوبی، با کمترین بارش‌ها همراه خواهند بود. به طور کل در فصل تابستان در دوره آینده براساس سناریوهای واداشت تابشی، RCP مقدار بارش نسبت به دوره پایه با کاهش قابل توجهی تا افق ۲۰۹۰ همراه خواهد بود.

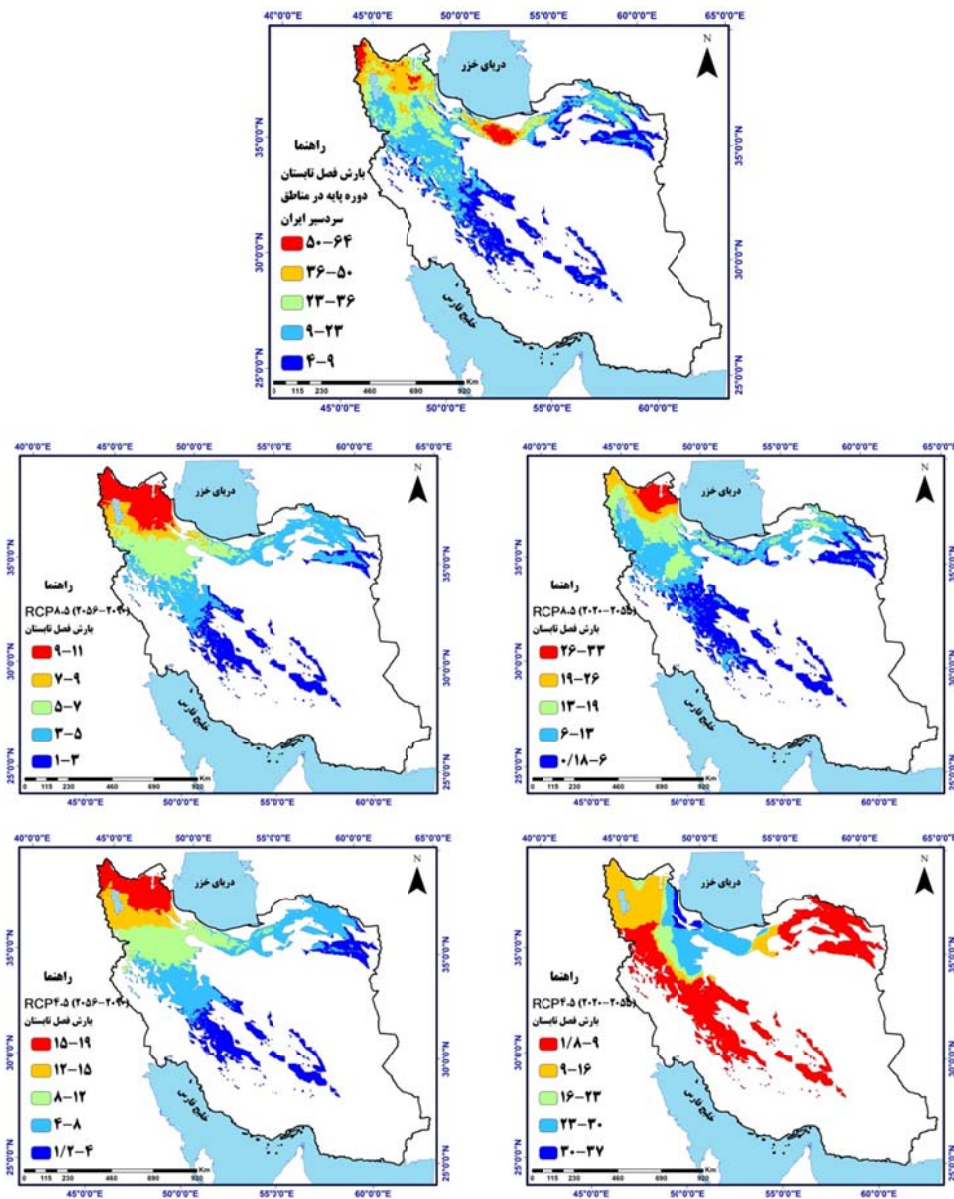
در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP8.5، مقدار بارش نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. در این دوره مقدار بارش تا ۱۳۶ میلی‌متر در مناطق پربارش افزایش خواهد یافت. عمده بارش‌ها در مناطق شمال غرب و غرب کشور رخ خواهد داد. در دوره آینده دور (۲۰۹۰-۲۰۵۶) مقدار بارش نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت اما نسبت به دوره آینده میانی کاهش خواهد داشت. از نظر توزیع مکانی تفاوت چندانی بین دوره آینده دور و میانی وجود ندارد.

در دوره آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) براساس سناریوی RCP4.5، مقدار بارش نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. در این دوره مقدار بارش‌ها از ۴۵ تا ۱۳۱ میلی‌متر متغیر است. مناطق پربارش مناطق شمال غربی را پوشش خواهد داد. در دوره آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰) مقدار بارش نسبت به دوره پایه و دوره آینده میانی افزایش خواهد یافت. در این دوره حد بالای بارش به ۱۳۵ میلی‌متر خواهد رسید. توزیع مکانی بارش مشابه دوره آینده میانی خواهد بود. به طور کل در فصل بهار مقدار بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه در حالت بدبینانه ۱۹ میلی‌متر و در حالت خوش‌بینانه ۱۵ میلی‌متر افزایش خواهد یافت و عمده بارش‌ها در نواحی شمال غربی رخ خواهد داد.

۴-۷. وضعیت تغییرات بارش فصل تابستان براساس

سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5

نتایج توزیع مکانی بارش فصل تابستان مناطق سردسیر در دوره پایه و آینده در شکل (۱۲) مشخص شده است. نتایج نشان داد که در فصل تابستان ارتباط قابل‌قبولی و معنی‌داری بین مؤلفه‌های مکانی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) و بارش وجود دارد. در دوره پایه



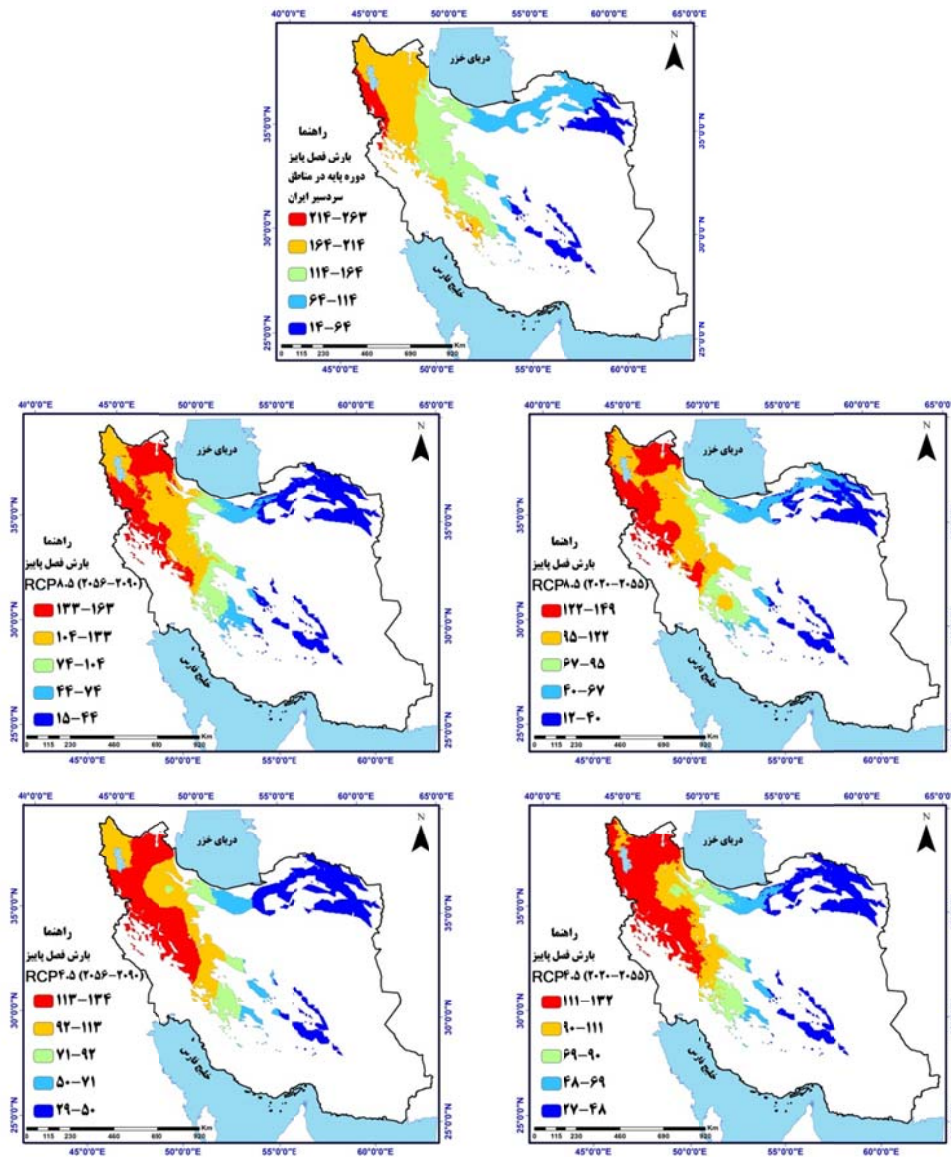
شکل ۱۲. الگوی تغییرات بارش فصل تابستان براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 (بر حسب mm). برای اطلاعات به راهنمای نقشه توجه شود.

این دوره عمده بارش‌ها در نوار غربی و جنوب غربی کشور در دامنه‌های غربی زاگرس رخ خواهد داد. مناطق شمال شرقی و عرض‌های جنوبی با کمترین بارش‌ها همراه خواهد بود. در دوره آینده دور براساس سناریوی RCP8.5، مقدار بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت، اما نسبت به دوره آینده میانی افزایش نشان خواهد داد. در دوره آینده دور نیز نوار غربی در مناطق رشته کوه زاگرس جزو پربارش‌ترین مناطق خواهند بود. براساس

۸-۴. وضعیت تغییرات بارش فصل پاییز براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نتایج توزیع مکانی بارش فصل پاییز در شکل (۱۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که بارش در فصل پاییز از ۱۴ تا ۲۶۳ میلی‌متر متغیر است. بیشترین بارش‌ها در نوار غربی و کمترین بارش‌ها در عرض‌های جنوبی و مناطق شمال شرق رخ می‌دهد. در این فصل در دوره آینده میانی مقدار بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. در

خواهد شد. مقدار کاهش بارش در فصل تابستان شدیدتر از دیگر فصول سال خواهد بود. فقط در فصل بهار مقدار بارش در دوره آینده نسبت به دوره مشاهده‌ای یا پایه در حالت بدبینانه ۱۹ میلی‌متر و در حالت خوش‌بینانه، ۱۵ میلی‌متر افزایش خواهد یافت و عمده بارش‌ها در نواحی شمال غربی رخ خواهد داد. از نظر مکانی فقط نوار غربی و شمال غربی از بارش بیشتری برخوردار خواهد بود و در دوره آینده دور بر وسعت مکانی کانون بارش‌ها در عرض‌های بالا و منطقه شمال غرب افزوده خواهد شد.

سناریوی RCP4.5، مقدار بارش در آینده میانی و هم در آینده دور، نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. مناطق نیمه غربی و دامنه‌های زاگرس غربی و جنوبی جزو پر بارش‌ترین مناطق محسوب می‌شوند. مناطق نیمه شرقی و جنوبی جزو کم‌بارش‌ترین نواحی محسوب می‌شوند. نتایج نهایی نشان داد که بارش در فصل زمستان، پاییز و تابستان در دوره آینده تا افق ۲۰۹۰ براساس هر دو الگوی واداشت تابشی حد بالا و متوسط، کاهش خواهد یافت و کانون نواحی پر بارش به سمت عرض‌های بالاتر جابه‌جا



شکل ۱۳. الگوی تغییرات بارش فصل پاییز براساس سناریو RCP4.5 و RCP8.5. (بر حسب mm). برای اطلاعات به راهنمای نقشه توجه شود.

۵. نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر بارش فصلی مناطق سردسیر ایران براساس سناریوهای واداشت تابشی RCP، بررسی شد. نتایج نشان داد که براساس روش وزن‌دهی و اعمال شاخص‌های آماری بر برون‌داد مدل‌های CMIP5، برون‌داد مدل گردش کلی HadGEM2.ES در تصویرسازی تغییر اقلیم دوره آینده از توانایی و خطای شبیه‌سازی کمتری نسبت به دوره مشاهده‌ای یا پایه برخوردار می‌باشد. در واقع براساس معیارهای ارزیابی یا سنج‌های خطا سنجی، مدل مذکور انطباق بالاتری با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. عموماً مدل‌های گردش کلی در شبیه‌سازی یا تصویرسازی پارامتر دمای هوا از توانمندی بالاتری نسبت به بارش برخوردارند.

در الگوی ماهانه در مناطق سردسیر ایران در ماه‌های سرد سال به‌خصوص ماه‌های فصل پاییز و زمستان، پارامتر بارش نسبت به دوره پایه افزایش ناچیزی بین ۲۰-۱۰ میلی‌متر نشان خواهد داد. این افزایش ناچیز در میزان بارش در دهه‌های آینده براساس ساختار مدل‌ها، با توجه به بالارفتن میزان دما و افزایش میزان تبخیر-تعرق، نمی‌تواند ثبات داشته باشد. اما در الگوی سالانه و نرمال بلندمدت، مقدار بارش کمتر از دوره مشاهده‌ای رخ خواهد بود. به‌طوری‌که در آینده میانی (۲۰۲۰-۲۰۵۵) به‌طور متوسط در بین تمام ایستگاه‌های مناطق سردسیر، تا ۵۴ میلی‌متر برابر با ۲۰/۱ درصد و برای آینده دور (۲۰۵۶-۲۰۹۰)، به میزان ۴۷ میلی‌متر برابر با ۱۴/۷ درصد، مقدار بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. در فصول زمستان، پاییز و تابستان در دوره آینده تا افق ۲۰۹۰ براساس سناریوهای واداشت تابشی بارش کاهش خواهد یافت. مقدار کاهش بارش در فصل تابستان شدیدتر از دیگر فصول سال خواهد بود. فقط در فصل بهار مقدار بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش ناچیزی نشان خواهد داد. بیشترین تغییرات مکانی در توزیع بارش در مناطق سردسیر ایران در مناطق پربارش البرز میانی و

به‌خصوص مناطق زاگرس مرتفع رخ خواهد داد. کانون نواحی پربارش مناطق سردسیر عمدتاً به سمت عرض‌های بالاتر جابه‌جا خواهد شد. در واقع مناطق پربارش کوچک‌تر خواهد شد و بر گستره مناطق کم باران افزوده خواهد شد. بنابراین تغییر اقلیم بر توزیع زمانی-مکانی بارش مناطق سردسیر ایران تأثیر خواهد داشت و آینده‌ای با بارش کمتر و متغیر را نشان خواهد داد. مناطق سردسیر ایران، تغذیه‌کننده اصلی منابع آب شیرین برای مصارف مختلف و همچنین موتور محرکه انرژی برق‌آبی در ایران محسوب می‌شود، هرگونه تغییرات زمانی-مکانی و رفتار متغیر بارش فصلی در آینده، زنگ خطر برای منابع آبی این مناطق حیاتی در ایران خواهد بود. بنابراین مدیریت منابع آبی و اتخاذ برنامه‌های بلندمدت با هدف کاهش آثار سوء تغییرات آب‌وهوایی، حائز اهمیت می‌باشد.

نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، مطالعات آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۸) را تأیید می‌کند. آنها براساس مدل HadCM3 و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت عنوان گزارش چهارم، برای ماه‌های سرد سال تا ۲۰۶۹، افزایش بارش پیش‌بینی کردند. همچنین نتایج به‌دست آمده از تغییرات بارش در این مطالعه، با نتایج مطالعات حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۵) همخوانی دارد و در تأیید مطالعات آنها می‌باشد. آنها در ارزیابی تغییرات بارش جنوب شرق ایران، برای بارش در منطقه جنوب شرق براساس گزارش چهارم طی فصول سرد سال در تمامی ایستگاه‌ها روند افزایشی در مقدار بارش را مشخص کردند. همچنین نتایج این بخش همسو با مطالعات حافظ‌پرست و پورخیراله (۱۳۹۶) تغییرات افزایشی ناچیز در مقدار بارش در بیشتر ماه‌های سرد سال در دوره آینده را براساس برون‌داد مدل‌های گردش کلی و سناریوهای واداشت تابشی در دوره آینده، تأیید می‌کند. همچنین نتایج تغییرات بارش مبنی بر اینکه افزایش بارش دوره آینده خیلی ناچیز بوده و مقدار آن در آینده دور بیشتر است در تأیید نتایج مطالعات دل‌قندی و موذن زاده (۱۳۹۵)

تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۹(۱)، ۵۰-۲۳.
 ترکمان، م.، ۱۳۹۴، بررسی اثر گرمایش و تغییر اقلیم
 بر ویژگی‌های زراعی و تولید سبب زمینی در
 ایران، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه فردوسی،
 دانشکده کشاورزی، گروه اکولوژی گیاهان زراعی.
 مشهد.

تیرگر فخری، ف.، علیجانی، ب.، ضیایان فیروزآبادی،
 پ. و اکبری، م.، ۱۳۹۶، شبیه‌سازی رواناب ناشی از
 ذوب برف تحت سناریوهای تغییر اقلیمی در حوضه
 ارمند. اکوهیدرولوژی، ۴(۲)، ۳۶۸-۳۵۷.

حافظ‌پرست، م. و پورخیراله، ز.، ۱۳۹۶، پایش خشکسالی
 هواشناسی به‌منظور حفظ پایداری در سناریوهای
 واداشت تابشی منطقه مطالعاتی (حوضه آبریز سد
 دوبرج)، اکوهیدرولوژی، ۴(۴)، ۱۲۳۹-۱۲۲۷.

حمیدیان پور، م.، باعقیده، م. و عباسی نیا، م.،
 ۱۳۹۵، ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق
 ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی
 مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۹۹-
 ۲۰۱۱، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱)، ۱۲۳-
 ۱۰۷.

دانش فراز، ر. و رزاق پور، ه.، ۱۳۹۳، ارزیابی اثرات تغییر
 اقلیم بر تبخیر - تعرق پتانسیل در استان آذربایجان
 غربی، فصلنامه فضای اهر، ۱۴(۴۶)، ۲۱۱-۱۹۹.

دلقندی، م. و موذن زاده، ر.، ۱۳۹۵، بررسی تغییرات
 مکانی - زمانی بارش و دمای ایران تحت شرایط تغییر
 اقلیم با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM
 و سناریوهای انتشار، اکوهیدرولوژی، ۳(۳)، ۳۳۱-
 ۳۲۱.

عباسی، ف.، بابایان، ا.، حبیبی نوخندان، م.، گلی
 مختاری، ل.، ملبوسی، ش. و عسکری، ش.، ۱۳۸۹،
 ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در
 دهه‌های آینده، با کمک مدل - MAGICC
 SCENGEN، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۲،
 ۹۱-۱۰۹.

و همچنین کاهش بارش به‌طور کلی براساس مدل‌های
 CMIP5 برای آینده با نتایج مدل‌های آفاخانی افشار و
 همکاران (۱۳۹۵) را تأیید می‌کند.

مراجع

آفاخانی افشار، ا.، حسن زاده، ی.، بسالت پور، ع. ا. و
 پوررضا بیلندی، ر.، ۱۳۹۵، ارزیابی سالیانه مؤلفه‌های
 اقلیمی حوضه آبخیز کشف رود در دوره‌های آتی با
 استفاده از گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم،
 نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۶)،
 ۲۳۳-۲۱۷.

آشفته، پ. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۸، تأثیر عدم قطعیت
 تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره
 ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی، دانش آب و خاک، ۱(۲)، ۹۸-
 ۸۵.

احمدی، ح.، ۱۳۹۶، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی
 درخت سیب در ایران، پایان‌نامه دکتری، دانشکده
 جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری،
 گروه جغرافیا.

احمدی، ح.، فلاح قاله‌ری، غ. و گودرزی، م.، ۱۳۹۷،
 برآورد و تعیین الگوی فضایی نیاز آبی درخت سیب
 در ایران، فصلنامه اکوهیدرولوژی، ۵(۱)، ۱۶۰-۱۴۹.

بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر.، بیاتانی، ف. و فهیمی
 نژاد، ا.، ۱۳۹۵، کارایی روش‌های پس پردازش آماری
 در بهبود پیش‌بینی ماهانه بارش مدل MRI-CGCM3
 در خراسان رضوی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۲)،
 ۹۲-۸۳.

بابائیان، ا. و کوهی، م.، ۱۳۹۱، ارزیابی شاخص‌های اقلیم
 کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در
 ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. نشریه آب و
 خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶(۴)، ۹۶۷-۹۵۳.
 پرهیزکاری، ا.، محمودی، ا. و شوکت فدایی، م.، ۱۳۹۶،
 ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع در دسترس و
 تولیدات کشاورزی در حوضه آبخیز شاهرود. فصلنامه

- (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه)، فصلنامه اکوهیدرولوژی، ۲(۲)، ۱۸۹-۱۷۵.
- Alexander, L. V. and Arblaster, J. M., 2017, Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5, *Weather and Climate Extremes*, 15 (2017), 34-56.
- Dang, Z. and Chen, Y., 2018, Vulnerability assessment of spring wheat production to climate change in the inner Mongolia region of China. *Ecological Indicators*, 85, 67-78.
- Mo, X. G., Hu, S., Lin, Z. H., Liu, S. X. and Xia, J., 2017, Impacts of climate change on agricultural water resources and adaptation on the North China Plain. *Advances in Climate Change Research*, 8(2), 93-98.
- Nouri, M., Homaei, M., Bannayan, M., Hoogenboom, G., 2017, Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change. *Agricultural Water Management*, 186, 108-119.
- Peng, S., Ding, Y., Wen, Z., Chen, Y., Cao, Y. and Ren, J., 2017, Spatiotemporal change and trend analysis of potential evapotranspiration over the Loess Plateau of China during 2011-2100. *Agricultural and Forest Meteorology* 233, 183-194.
- Romm, J., 2015, *Climate change, what everyone needs to know*. Oxford, University Press.
- Shen, Y., Li, Sh., Chen, Y., Qi, Y. and Zhang, S., 2013, Estimation of regional irrigation water requirement and water supply risk in the arid region of Northwestern China 1989-2010, *Agricultural Water Management* 128, 55-64.
- Shrestha, S., Bach, T. V. and Pandey, V. P., 2016, Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental Science & Policy* 61, 1-13.
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J. and Meehl, G. A., 2012, An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498.
- Wang, B., Liu, D. L., Asseng, S., Macadam, I. and Yu, Q., 2015, Impact of climate change on wheat flowering time in eastern Australia. *Agriculture and forest Meteorology* 209-210, 11-21.
- Zhao, L., Xu, J., Powell, A. M. and Jiang, Z., 2015, Uncertainties of the global-to-regional temperature and precipitation simulations in CMIP5 models for past and future 100 years. *Theoretical and applied climatology*, 122(1-2), 259-270.
- گودرزی، م، صلاحی، ب. حسینی، س. ا.، ۱۳۹۴، بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی *Helicoverpa armigera* Hubner on pigeonpea during future climate change periods using MarkSim multimodel data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228, 130-138.

Projection of Climate Change Impacts on Seasonal Precipitation in Iranian Cold Regions Based on Radiative Forcing Scenarios (RCP)

Ahmadi, H.^{1*}, Fallah Ghalhari, Gh.² and Baaghideh, M.²

1. Ph.D. Graduated, Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
2. Associate Professor, Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

(Received: 8 May 2018, Accepted: 25 Sep 2018)

Summary

Climate change and its impacts stand as the most important challenge to the world. One of the fundamental issues that have emerged in recent decades is the limited water resources. Because of the high dependence on precipitation, water resources are heavily susceptible to damage from climate change. Projection the effects associated with climate change is a major part of strategic planning in the current century. Cold climate regions are the main reservoir and feeding source for surface and underground water and a vital supplier of hydroelectric power in Iran. Any change in the seasonal precipitation situation will have severe outcomes for the status of water resources in cold regions. The purpose of this study is to investigate the impacts of climate change on seasonal precipitation in cold regions of Iran based on the outputs of new CMIP5 models and radiative forcing (RCP) scenarios.

Alongside this, changes were first observed for the period 1980-2005. Afterwards, the data for the upcoming period up to the 2090 horizon were processed using the models BCC-CSM1.1, HadGEM2-ES, GFDL-CM3, MIROC-ESM and GISS-E2-R from the series of CMIP5 models of the MarksimGCM database based on the radiative forcing scenarios RCP8.5 and RCP4.5. The data were subsequently validated based on weighing method and RMSE, MAE, MBE and R2 evaluation criteria. The results of the processing were drawn on the digital elevation layer (DEM) of cold climate regions of Iran in the form of temporal-spatial seasonal precipitation distribution. The results showed that based on the weighing method and applying statistical indices on the output of CMIP5 models, the output of the HadGEM2.ES general circulation model is accompanied by fewer simulation errors in illustrating the climate change of the future period than the observation or baseline period. In fact, based on the evaluation criteria or errors, this model showed a higher compliance with observational data. In the monthly pattern in cold regions of Iran during the cold months, especially in the autumn and winter months, the precipitation parameter indicates a slight increase from 10-20 mm relative to the baseline period. This small increase in precipitation over the coming decades, based on the structure of the models, cannot be stable because of increasing temperature and evapotranspiration. However, in the annual and normal long-term pattern, the precipitation level will be less than the preceding period such that in the 2020-2055 period in the annual pattern, precipitation decreases by 54 mm, equivalent to 20.1% decrease. Seasonal precipitation will decrease in winter, autumn, and summer of the upcoming period up to the 2090 horizon, according to radiative forcing scenarios. Precipitation reduction in the summer will be more severe than in other seasons. Only in spring season will the amount of precipitation in the coming period increase slightly compared to the baseline period. Most of the spatial variations in precipitation distribution will occur in the cold climate regions of Iran in the high-altitude areas of the middle Alborz and especially in high Zagros regions.

The center of areas with maximum precipitation in cold regions will mainly move to higher latitudes. In fact, the regions with substantial precipitation will become smaller, whereas areas with low rainfall will be extended. Therefore, climate change will have an impact on the temporal-spatial distribution of precipitation in the cold climate regions of Iran and will face with a future with less and variable precipitations.

Keywords: Climate change, Cold region, CMIP5, RCP, Precipitation.

* Corresponding author:

hamzehahmadi2009@gmail.com