

چشم‌انداز تغییرات بارش در شمال غرب ایران با استفاده از

مدل‌های گردش کلی جو تحت سناریوهای اقلیمی

شادیه حیدری تاشه‌کبود- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری

عباس مفیدی- استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

اکبر حیدری تاشه‌کبود^۱- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۵/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۸

چکیده

یکی از چالش‌های اساسی مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب کشور، نبود اطلاعات کافی از وضعیت وقوع منطقه‌ای بارش‌ها در آینده، به‌ویژه در پایان قرن بیست و یکم است. لذا در این پژوهش به بررسی چشم‌انداز تغییرات بلندمدت بارش در شمال غرب کشور پرداخته شد. بدین منظور از داده‌های ۵ مدل گردش کلی جو تحت دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه (RCP4.5 و RCP8.5) با کاربست مدل ریزگردانی LARS-WG6 بهره گرفته شد و تغییرات بارش در طول سه دوره زمانی مختلف (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۷۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) مورد بررسی قرار گرفت. جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG، داده‌های مشاهداتی و داده‌های خروجی مدل‌ها با استفاده از آزمون‌های F و T و همچنین شاخص‌های MAE، MSE، RMSE و R² مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از کارایی مناسب مدل‌ها برای منطقه مورد مطالعه است. بررسی بارش‌ها در شمال غرب کشور نشان داد که میزان بارش در بیشتر مدل‌ها به‌ویژه مدل‌های EC-EARTH و MIROC5، در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱، نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. در مقابل، در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تمامی مدل‌ها به‌استثنای HadGEM2 کاهش بارش را بر روی منطقه نشان می‌دهند. بر اساس شرایط متوسط، انتظار می‌رود میزان بارش در سطح منطقه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ به میزان ۰/۳ درصد افزایش و در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ به ترتیب به میزان ۰/۷ و ۱/۴ درصد کاهش را نسبت به دوره پایه تجربه نماید. بیشترین تغییرات کاهشی و افزایشی بارش نیز در مجموع بر اساس سناریو RCP8.5 شده است. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش و استفاده از مدل‌های مختلف نشان داد که

بررسی چشم‌انداز تغییرات بلندمدت بارش به دلیل پیچیدگی فرآیند بارش تنها با استفاده از یک مدل GCM و یک سناریو، عدم قطعیت‌های زیادی خواهد داشت و لازم است از سناریوها و مدل‌های گردش کلی جو و ریزگردانی‌های مختلف استفاده نمود.

کلیدواژه‌ها: بارش، تغییر اقلیم، شمال غرب، گردش کلی جو، RCP, LARS-WG6

۱- مقدمه

هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱ گزارش داد به دلیل روند افزایش گرمایش جهانی، اقلیم اکثر مناطق دنیا تغییر کرده است (Dracup & Vicuna, 2005).

این پدیده به علت افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است (Dettinger et al., 2004). بسیاری از مخاطرات طبیعی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در ارتباط با تغییر اقلیم قابل توجه هستند. در بین عناصر اقلیمی، دما و بارش به دلیل تأثیر گسترده بر سایر عوامل و به‌خصوص تأثیراتی که بر فعالیت‌های انسان‌ها دارند از اهمیت خاصی برخوردارند، به‌طوری‌که تقریباً بیشترین نمود تغییرات اقلیمی در سطح کره زمین بر روی این دو پارامتر متمرکز شده است (طباطبایی و حسینی، ۱۳۸۲). طبق گزارش‌های IPCC، تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژیکی مناطق در چند دهه اخیر در سطح جهان شده به‌گونه‌ای که بارندگی و جریان‌های سطحی در عرض‌های جغرافیایی بالا و میانی بیشتر و در عرض‌های پایین کمتر شده و احتمال مواجهه با رخدادهای فرین اقلیمی مانند بارش‌های سنگین و خشکسالی افزایش یافته است (Lane et al., 1999).

از آنجاکه افزایش این احتمال برای دوره‌های آتی می‌تواند آثار زیانباری را برای جوامع بشری در پی داشته باشد در سال‌های اخیر تحقیق در مورد این موضوع در سطح جهان مدنظر قرار گرفته است. بررسی تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های راهبردی آینده‌ی مدیریت منابع آب باشد، بدون توجه به این واقعیت که اقلیم در حال تغییر است، نمی‌توان برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌ای را در زمینه بهره‌برداری از منابع آب انجام داد (هاردی، ۲۰۰۳: ۲۴۷).

با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران دیده می‌شود که این منطقه در اطراف مدار ۳۰ درجه شمالی در قلمرو و نفوذ پرفشار جنب حاره قرار گرفته و فرونشینی هوا برقرار و گرمایش بی‌دررو حاصل می‌شود و رطوبت نسبی کاهش می‌یابد (سلیقه، ۱۳۹۵)، و همین امر موجب کمبود و نوسان ریزش‌های جوی سالانه و با تبخیر و تعرق پتانسیل (نیازآبی بالقوه) زیاد، افزایش دمای هوا، واداشت تابشی و ساعات آفتابی مواجه شده است که اقلیم اکثر ایران، خشک و نیمه‌خشک است (قائم‌ی و همکاران، ۱۳۹۵)، به‌طوری‌که متوسط بارندگی سالانه آن حدود یک سوم متوسط بارندگی خشکی‌ها و کمتر از یک سوم متوسط بارندگی کره‌ی زمین است و از سوی دیگر میزان تبخیر آن حدود سه برابر تبخیر خشکی‌های زمین است (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰)؛ بنابراین با توجه به اهمیت در این‌گونه

اقلیم‌ها لازم است این پارامتر در مناطق مختلف به‌طور دقیقی برآورده شود. از طرفی با پیش‌بینی به‌موقع بارندگی امکان مقابله با خشک‌سالی و کاهش خسارت ناشی از آن نیز مهیا می‌شود. در سال‌های اخیر، تحقیقات وسیعی در زمینه پیش‌بینی‌های میان‌مدت و بلندمدت (ماهانه، فصلی و نیز دوره‌های اقلیمی ۳۰ ساله) بارندگی در نقاط مختلف جهان انجام شده است. مدل‌های گردش کلی جو (GCMs) مهم‌ترین مدل‌های اقلیمی و ابزارهای قدرتمندی در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم هستند که مؤلفه‌های مختلف سامانه اقلیمی یعنی جو، اقیانوس، سطح زمین و یخ-دریا را شبیه‌سازی نموده و به نمایش می‌گذارند (Fowler et al., 2007).

اگرچه مدل‌های بزرگ مقیاس اقلیمی نتایج با ارزش و مهمی را در مقیاس‌های بزرگ به نمایش می‌گذارند، اما نمی‌توانند در آشکارسازی بخش بزرگی از پیچیدگی‌های سامانه اقلیم زمین نقش بازی نمایند، و همچنین ذاتاً قادر نیستند از منظر دینامیکی رفتار برخی پدیده‌های خرد مقیاس، میان مقیاس و محلی را به شکل مطلوبی به نمایش بگذارند (Sharma et al., 2007; Wigley et al., 1990)؛ لذا ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم در مقیاس محلی نیازمند رویکردی است تا شکاف بین متغیرهای اقلیمی بزرگ‌مقیاس و متغیرهای اقلیمی و جوی با مقیاس محلی را پر نماید که در این مورد، رویکرد اساسی همان تکنیک‌های ریزگردانی هستند (Wilby et al., 2002).

در این راستا هاشمی و همکاران (۲۰۰۹) به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM برای شبیه‌سازی بارش‌های شدید جزیره جنوبی نيوزلند پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی بارش‌های شدید دارند. (ضرغامی و همکاران، ۲۰۱۱) به بررسی تغییرات اقلیمی در استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل HadCM3 و روش ریزگردانی آماری ANN و LARS-WG پرداختند. نتایج حاکی از کاهش بارش و افزایش دما و تغییر اقلیم استان از نیمه‌خشک به خشک است (Osman et al., 2014). بارش مناطق مرکزی عراق را بر اساس خروجی ۷ مدل اقلیمی شبیه‌سازی نموده و با استفاده از مدل LARS-WG برای سه دوره زمانی مختلف ریزگردانی و پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که دوره‌های دسامبر-فوریه و سپتامبر-نوامبر بارش از روند افزایشی و در ماه‌های مارس، آوریل و می بارش از روند کاهشی در منطقه برخوردار است (Sarkar et al., 2015).

به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از ۷ مدل GCM و ریزگردانی LARS-WG در منطقه کوچ-گجرات هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره‌های آتی میزان بارش بین ۹ تا ۲۷ درصد کاهش می‌یابد (Hyun Cha et al., 2016).

به پیش‌بینی تغییرات بارش تابستانه در کره با استفاده از مدل HadGEM2 و چهار سناریوی RCP پرداختند. نتایج نشان داد میزان بارش کاهش و شدت آن افزایش می‌یابد (Leong Tan et al., 2017).

به ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی با استفاده از پنج مدل GCM بر منابع آب حوضه رودخانه کلانتان در مالزی پرداختند. نتایج افزایش بارندگی ماهانه در فصل مرطوب و کاهش بارندگی در فصل خشک را نشان داد (Ferreira et al., 2016).

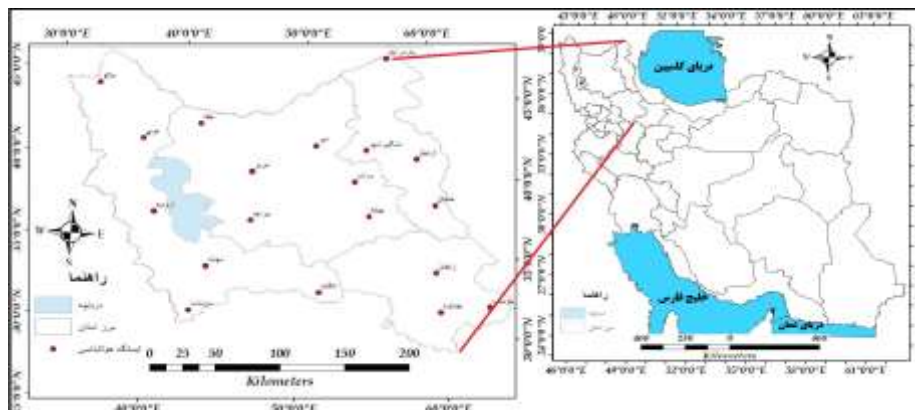
al., 2018). اثرات تغییرات آب و هوایی بر بارش‌های تابستانی در جنوب شرقی ایالات متحده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج افزایش قابل ملاحظه بارش به دلیل افزایش دما و شار بخار آب را نشان داد (خلیلی‌ا قدم و همکاران، ۱۳۹۱). به ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سنندج پرداختند. نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و همچنین تابش است اما در شبیه‌سازی بارش خطای بیشتری را نسبت به سایر پارامترهای جوی نشان می‌دهد؛ و همچنین (ثانی خوانی و همکاران، ۱۳۹۲)، (رسولی و همکاران، ۱۳۹۳)، (طائی و همکاران، ۱۳۹۴)، (حسینی و احمدی، ۱۳۹۵)، (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۶)، (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷) با استفاده از مدل ریزگردانی LARS-WG تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در دوره زمانی مختلف در حوضه مختلف ایران پرداختند. با توجه به اثرات قابل ملاحظه تغییرات اقلیمی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی، چون: منابع آب موجود و آب در دسترس برای کشاورزی، شرب، صنعت، زندگی جانوری در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و نیروی برقایی، دبی و رواناب و غیره، بررسی اثرات منطقه‌ای تغییرات اقلیم بر روی پارامترهای هیدرولوژیکی از قبیل، دما و بارش ضروری می‌نماید که در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت بررسی پدیده‌های جوی تحت سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت شده گردش کلی جو-اقیانوس (AOGCM) می‌باشند (اسپنانی و همکاران، ۱۳۹۱).

لذا در این پژوهش به چشم اندازه تغییرات بارش آینده در شمال غرب کشور در سه دوره زمانی مختلف (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱) با استفاده از روش ریزگردانی آماری LARS-WG و خروجی ۵ مدل گردش کلی جو تحت سناریوهای RCP پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه ما در این پژوهش شمال غرب کشور است که از ۴۴ تا ۵۰ درجه شرقی و ۳۶ درجه تا ۳۹ درجه شمالی شامل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل و زنجان را در بر می‌گیرد. در این تحقیق از داده‌های بارش روزانه ۱۹ ایستگاه سینوپتیک در شمال غرب ایران که دارای دوره آماری مشترک ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۰) بودند، جهت ارزیابی خروجی مدل‌های مورد بررسی انتخاب شدند (شکل ۱). متوسط بارش منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) برابر با ۳۳۴/۴ میلی‌متر است که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های جلفا با ۲۰۶/۵ میلی‌متر و سردشت با ۸۳۰ میلی‌متر است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در این پژوهش ۲-۲

۲-۲- مدل LARS-WG

این مدل یک مدل تصادفی با استفاده از توزیع نیمه تجربی برای تولید داده‌های آب و هوایی به وسیله تکنیک‌های ریزگردانی آماری است (Wilks & Wilby, 1999). این مدل در مقایسه با سایر مدل‌های اقلیمی، به دلیل تکرار محاسبات، به داده‌های ورودی کمتری نیاز دارد و همچنین به جهت سادگی و کارایی، دارای کاربرد بیشتری است (Dibike & Coulibaly, 2005). مدل LARS-WG، به عنوان یک مدل ریزگردانی، با وجود آن که، در انجام فرآیند شبیه سازی و در رابطه با داده‌های ورودی و خروجی، از پیچیدگی کمتری برخوردار است، در عین حال، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دارد (Semonov & Stratonovitch, 2010). اولین نسخه آن توسط (Racsko et al., 1991) ارائه شد. سپس توسط (Semonov et al., 1998) در مرکز تحقیقات لانگ اشتون بازنگری و توسعه داده شد. دلیل اصلی تولید این مدل غلبه بر نقاط ضعف زنجیره مارکف بود (Semonov & Stratonovitch, 2010). نسخه ششم این مدل (LARS-WG6) در سال ۲۰۱۸ جهت ریزگردانی داده‌های گزارش پنجم (CIMP5) به روزرسانی و منتشر گردید؛ که در این پژوهش جهت ریزگردانی داده‌های خروجی ۵ مدل گردش کلی جو، تحت دو سناریوی واداشت تابشی (RCP ۴.۵ و RCP 8.5) مورد استفاده قرار گرفت. سناریوهای مذکور تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو توسط زمین می‌باشد. واداشت مثبت (ورودی بیشتر انرژی تابشی خورشید) موجب افزایش و واداشت منفی (برون رفت بیشتر انرژی) موجب کاهش دما از سامانه اقلیمی می‌گردد. واداشت تابشی که می‌تواند مهم‌ترین علت تغییر اقلیم باشد، برای ارزیابی و مقایسه هر یک از عوامل طبیعی و انسانی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷). جهت اجرای مدل LARS-WG از داده‌های روزانه دمای حداقل و دمای حداکثر و بارش روزانه در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۸۰) استفاده شد که به عنوان مبنای تغییر اقلیم گذشته و برای شبیه‌سازی اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفت. جهت تولید داده‌های مصنوعی، مدل

از داده‌های روزانه بلندمدت مربوط به ایستگاه به صورت ورودی برای انجام مقایسه استفاده می‌نماید. در صورت تطابق این دو دسته داده، مدل قادر به تولید سری‌های زمانی مربوط به دوره‌های آینده می‌باشد. به منظور صحت-سنجی و اطمینان از توانمندی مدل، مدل را برای دوره آماری پایه اجرا نموده تا یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه ایجاد شوند. سپس به منظور ارزیابی عملکرد مدل، خروجی‌های یادشده با داده‌های مشاهداتی (داده‌های ایستگاه-های هواشناسی) به کمک آزمون‌های آماری (T-test جهت بررسی میانگین بارش ماهانه و F-test جهت ارزیابی واریانس ماهانه بارش)، مقایسه می‌شوند. تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های خروجی مدل LARS-WG نشان می‌دهد که مدل، می‌تواند سناریوهای انتشار واداشت تابشی انتخابی و خروجی مدل‌های گردش کلی جو را به داده‌های دوره پایه اعمال و تغییرات را شبیه‌سازی نماید (آقاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱). در این پژوهش علاوه بر آزمون‌های آماری، جهت بررسی عملکرد مدل LARS-WG از معیارهای ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شده است که روابط مربوط آن‌ها در ادامه آورده شده است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_o^2 \sum_{i=1}^N X_s^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |X_o - X_s|}{N} \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_o - X_s)^2 \quad (4)$$

در روابط فوق X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها است. پس از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل، داده‌های دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۵۱-۲۰۷۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) با استفاده از داده‌های ۵ مدل گردش کلی جو (جدول ۱) تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 تولید شد. پس از تولید داده‌ها برای دوره‌های آینده خروجی‌های بارش به صورت دوره‌ای محاسبه می‌شود. سپس تغییرات آن‌ها نسبت به دوره‌ی پایه محاسبه و نمودارها و نقشه‌های مربوط به آن‌ها ترسیم شده است.

جدول ۱- مدل‌های جهانی مورد استفاده در این مطالعه

ردیف	نام مدل	مرکز تحقیقاتی	شبکه بندی (طول×عرض)
۱	EC-EARTH	مرکز اروپایی پیش‌بینی وضع جو	1.125° × 1.121°
۲	GFDL-CM3	آزمایشگاه ژئوفیزیک و دینامیک سیالات ایالات متحده	2.5° × 2°
۳	HadGEM2-EC	مرکز هادلی، سازمان هواشناسی انگلستان	1.875° × 1.25°
۴	MIROC5	موسسه تحقیقات جوی و اقیانوسی دانشگاه توکیو	1.41° × 1.39°
۵	MPI-ESM-MR	موسسه ماکس پلانک هواشناسی آلمان	1.875° × 1.85°

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی مدل LARS-WG

به منظور واسنجی و اطمینان از صحت مدل LARS-WG، ابتدا مدل برای دوره آماری پایه اجرا گردید. سپس خروجی مدل، در قالب بارش ماهانه و انحراف معیار آن با استفاده از آزمون‌های T و F با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید؛ که نتایج حاصل از آن‌ها فقط برای ایستگاه‌های تبریز و ارومیه (به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های مطالعاتی) در جدول (۲) آورده شده است. در این جدول آزمون T جهت بررسی میانگین بارش ماهانه و آزمون F جهت ارزیابی واریانس ماهانه بارش کاربرد دارد و نتایج حاصل بیانگر آن است که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ در بیشتر ماه‌های سال وجود ندارد.

جدول ۲- ارزیابی آماری بارش خروجی مدل LARS-WG در مقایسه با داده‌های مشاهداتی

ماه	ایستگاه ارومیه				ایستگاه تبریز			
	F-test	p-values	T-test	p-values	F-test	p-values	T-test	p-values
J	۱/۳۷۹	۰/۳۶۵	-۱/۰۲۳	۰/۳۱	۱/۳۷۲	۰/۳۵	-۰/۴۱۵	۰/۶۷۹
F	۱/۴۶۷	۰/۲۸	-۰/۰۹۲	۰/۹۲۷	۱/۸۲۴	۰/۰۷۸	۰/۰۸۳	۰/۹۳۴
M	۱/۴۰۳	۰/۳۴	-۰/۸۲۲	۰/۴۱۴	۱/۱۴۷	۰/۶۸۱	۱/۵۵۲	۰/۱۲۵
A	۱/۰۴۳	۰/۸۹۱	-۰/۳۶۲	۰/۸۱۹	۱/۶۸۸	۰/۱۲۴	۰/۰۷۳	۰/۹۴۲
M	۲/۳۸۷	۰/۰۱۱**	۰/۵۴۴	۰/۵۸۸	۱/۴۶۴	۰/۲۶۱	۰/۲۹۱	۰/۸۷۲
J	۱/۰۵۹	۰/۸۸۱	۰/۰۹۱	۰/۹۲۸	۱/۵۰۷	۰/۲۲۸	۰/۶۹۷	۰/۴۸۸
J	۱/۲۶	۰/۴۹۳	-۰/۱۳۴	۰/۸۹۴	۱/۲۰۷	۰/۵۷۵	۰/۳۷۴	۰/۷۰۹
A	۲/۲۹	۰/۰۲۱**	-۰/۸۳۳	۰/۴۶۶	۲/۱۷۹	۰/۰۳*	-۱/۰۸۵	۰/۲۸۲
S	۱/۶۳۳	۰/۱۶۷	-۱/۸۳۶	۰/۰۸۷	۱/۱۹۶	۰/۵۹۳	-۰/۶۸	۰/۴۹۹
O	۱/۸۴۳	۰/۰۷۳	-۰/۵۱۳	۰/۶۱	۲/۰۷۲	۰/۰۳۳**	۰/۷۰۳	۰/۴۸۵
N	۱/۲۴۲	۰/۵۲	-۰/۵۳۱	۰/۵۹۷	۱/۰۰۲	۰/۹۹۲	-۲/۴۹۷	۰/۰۱۵**
D	۱/۹۴۷	۰/۰۵۱	-۰/۱۹۵	۰/۸۴۶	۲/۳۴۸	۰/۰۱۳**	-۱/۵۹۷	۰/۱۱۵

* با سطح معناداری خطای ۵ درصد

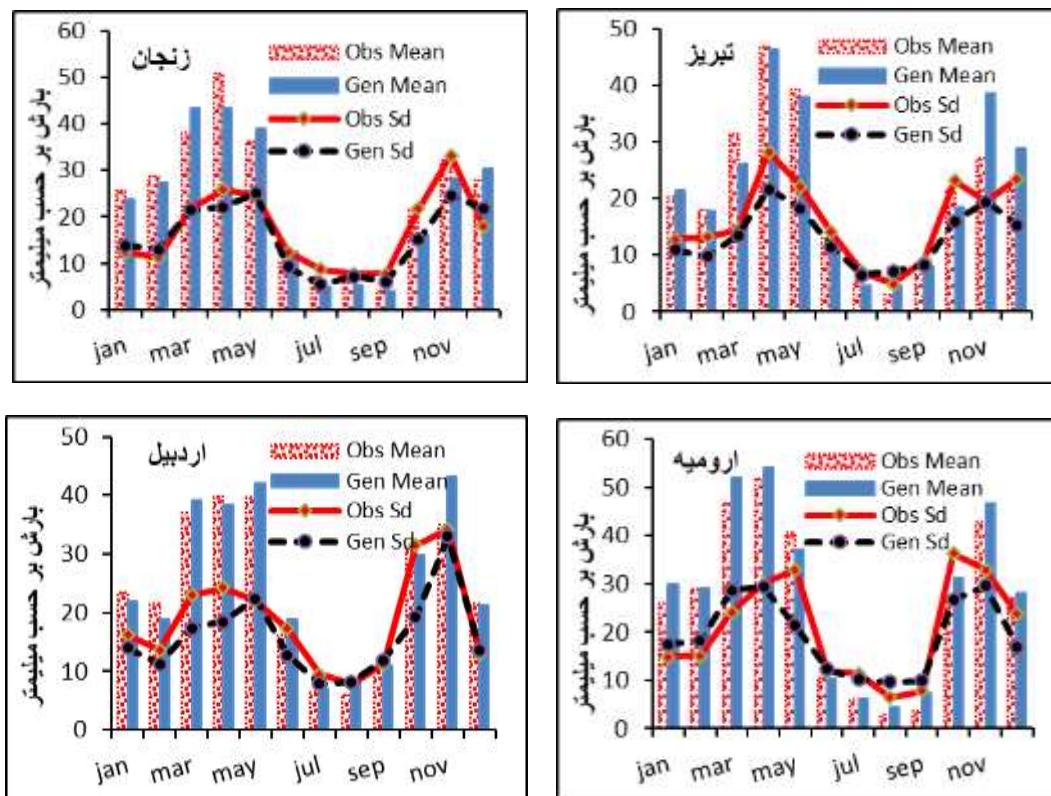
** با سطح معناداری خطای ۱ درصد

همچنین جهت اطمینان از صحت واسنجی مدل در ایستگاه‌های مختلف از شاخص‌های خطاسنجی RMSE، MAE و MSE و همچنین ضریب تبیین (R^2) استفاده شد که نتایج حاکی از دقت مناسب مدل در شبیه‌سازی بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. همچنین مقادیر همبستگی پیرسون بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند.

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از شاخص سنجش خطا

ایستگاه	RMSE	MSE	MAE	R^2	ایستگاه	RMSE	MSE	MAE	R^2
اهر	۲/۳۴	۵/۴۷	۱/۹۶	۰/۹۷	خوی	۲/۵۵	۶/۵	۲/۰۱	۰/۹۷
اردبیل	۲/۹۳	۸/۶۱	۲/۲۴	۰/۹۵	زنجان	۳/۶۲	۱۳/۰۸	۲/۹۵	۰/۹۴
ارومیه	۳/۰۳	۹/۲۱	۲/۵۲	۰/۹۸	سراب	۳/۰۹	۹/۵۶	۲/۴۴	۰/۹۳
پارس‌آباد	۳/۱۹	۱۰/۱۸	۲/۵۷	۰/۸۸	سردشت	۶/۲۹	۳۹/۶۲	۴	۰/۹۹
تیریز	۴/۴۷	۱۹/۹۹	۳/۰۴	۰/۸۹	ماکو	۳/۶۳	۱۳/۲۱	۳/۱۸	۰/۹۴
تکاب	۳/۸۶	۱۴/۸۸	۲/۸	۰/۹۶	مراغه	۴/۱	۱۳/۷۸	۳/۱۸	۰/۹۵
جلفا	۱/۹۹	۳/۵۵	۱/۵۱	۰/۹۷	مشکین‌شهر	۲/۳۹	۵/۷۲	۱/۹۴	۰/۹۸
خدابنده	۳/۸۸	۱۵/۰۳	۳/۱۲	۰/۹۷	مهاباد	۵/۴۳	۲۹/۵۴	۴/۱۲	۰/۹۵
خرمدره	۳/۷۹	۱۴/۳۳	۲/۴۹	۰/۹۶	میانه	۴/۵۴	۲۰/۶۱	۳/۰۴	۰/۹
خلخال	۴/۶۲	۲۱/۳۶	۳/۲	۰/۹۳					

شکل (۳) نتایج ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در شبیه‌سازی بارش ماهانه در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) برای ایستگاه‌های واقع در مراکز استانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی و همچنین انحراف استاندارد آن‌ها اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند که حاکی از عملکرد مناسب مدل LARS-WG جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی بارش در منطقه مورد مطالعه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین تطابق و کمترین انحراف استاندارد مربوط به ماه‌ها و ایستگاه‌های کم بارش است و با افزایش تغییرات بارش دقت مدل در شبیه‌سازی نیز کاهش می‌یابد و بیشترین خطاها نیز مربوط به ماه‌ها و ایستگاه‌های پر بارش و دارای تغییرات بیشتر است.



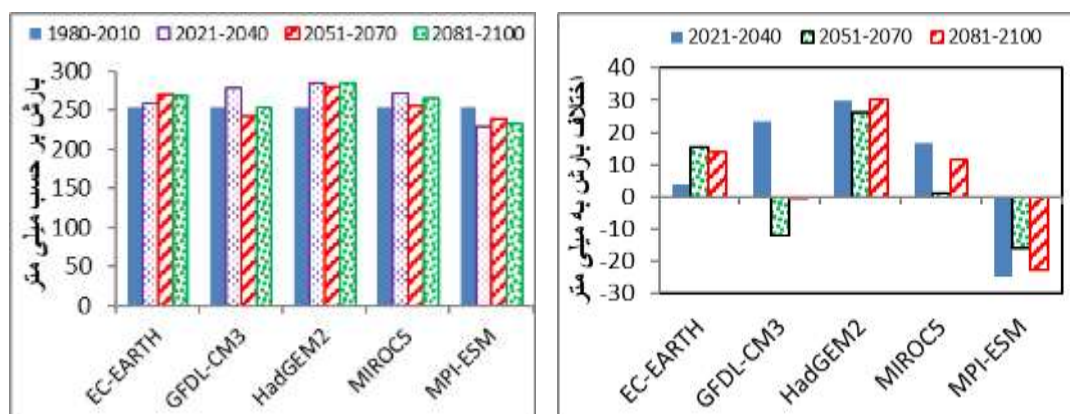
شکل ۳- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش و انحراف استاندارد آن‌ها به صورت ماهانه

۲-۳- چشم انداز تغییرات بارش در شمال غرب ایران

پس از ارزیابی مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن عملکرد آن، به بررسی چشم انداز تغییرات بارش با استفاده از مدل‌های GCM تحت دو سناریوی RCP در دوره‌های مختلف پرداخته شد. در این بخش به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌ها فقط نتایج مربوط به ایستگاه تبریز بر اساس سناریوی RCP4.5 و همچنین سایر تغییرات در ادامه به صورت نقشه بررسی شده است.

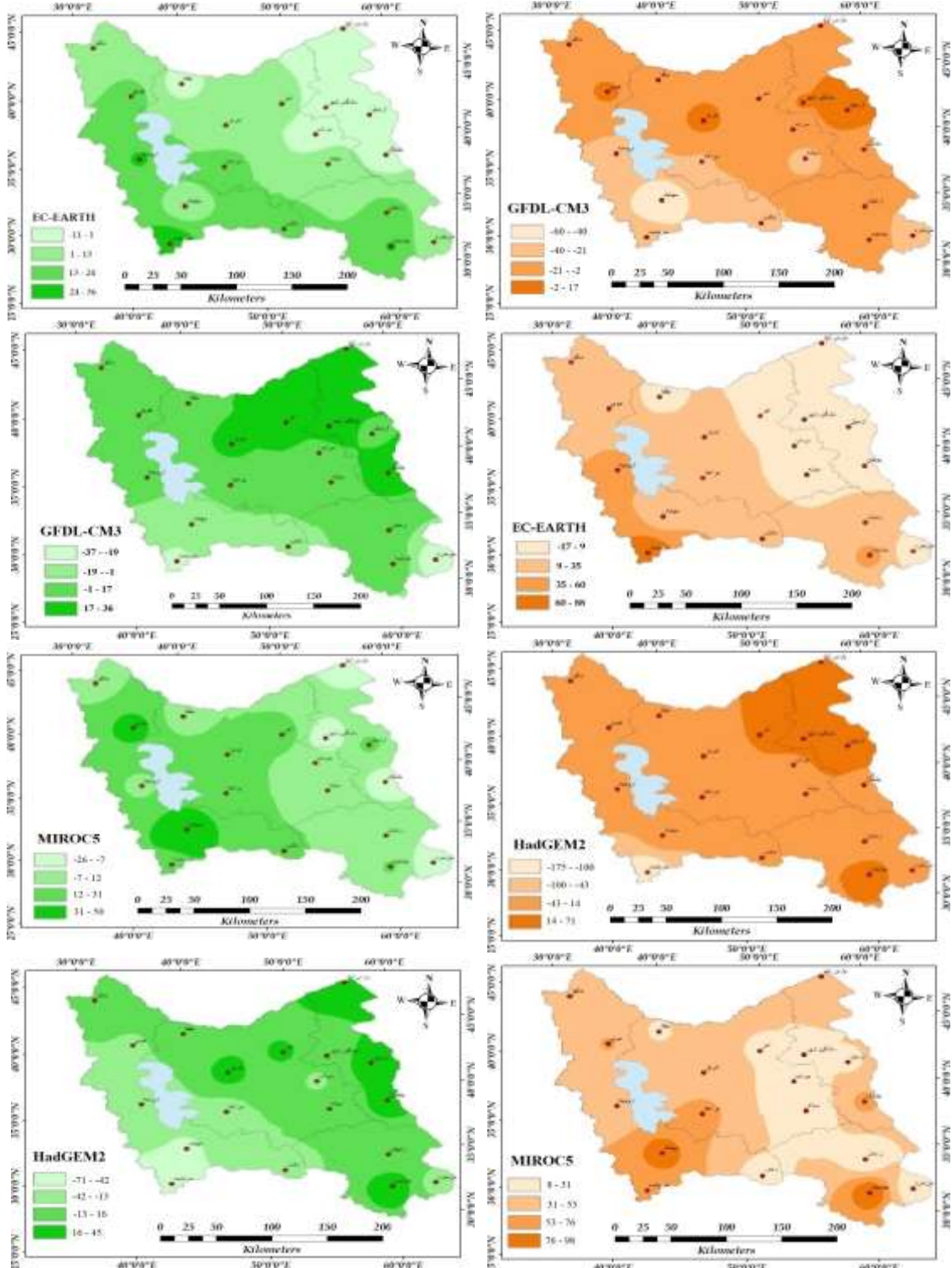
با در نظر گرفتن نتایج، میزان بارش در ایستگاه تبریز در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) بر اساس خروجی‌های تمامی مدل‌های مورد بررسی به غیر از MPI-ESM نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. در دوره (۲۰۵۱-۲۰۷۰) بر اساس سه مدل EC-EARTH، HadGEM2 و MIROC5 مقدار بارش افزایش خواهد یافت که میزان آن به ترتیب برای مدل‌های مذکور برابر با ۲۶، ۱۵/۳ و ۱/۴ میلی‌متر نسبت به دوره پایه می‌باشد و بر اساس سایر مدل‌ها میزان بارش کاهش خواهد یافت. این وضعیت در دوره (۲۰۸۱-۲۱۰۰) نیز ادامه دارد و بر اساس سه مدل مذکور میزان بارش در این دوره نیز افزایش پیدا خواهد کرد و بر اساس دو مدل دیگر کاهش خواهد یافت. بر اساس نتایج حاصل

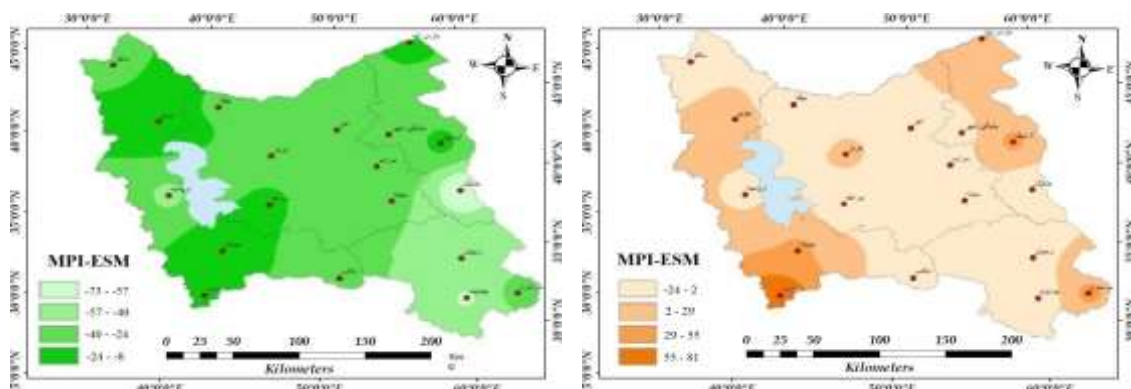
از بیشتر مدل‌ها و همچنین متوسط مدل‌های مورد بررسی در مجموع انتظار می‌رود میزان بارش در آینده افزایش یابد (شکل ۴).



شکل ۴- وضعیت تغییرات بارش در دوره‌های آینده بر اساس مدل‌های مورد بررسی در ایستگاه تبریز

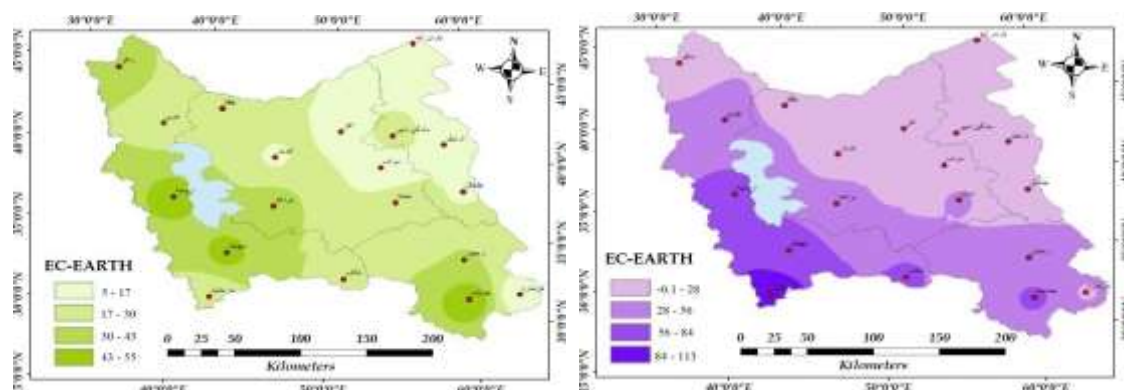
چشم انداز تغییرات بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه به تفکیک مدل‌ها و سناریوهای مورد بررسی نشان می‌دهد که در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های HadGEM2، GFDL-CM3 و MPI-ESM میزان بارش در سطح منطقه به ترتیب به میزان ۴/۶، ۱/۹ و ۹/۴ درصد کاهش خواهد یافت که بیشترین تغییرات نیز بر اساس سناریوی RCP4.5 برآورد شده است. همچنین بیشترین تغییرات کاهش‌ی مربوط به نواحی شمال شرق و بخشی از غرب منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های خلخال، خداآبند و ارومیه است. بر اساس نتایج حاصل از مدل‌های EC-EARTH و MIROC5 نیز میزان بارش بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی افزایش خواهد یافت که بیشترین میزان تغییرات آن مربوط به سناریو RCP 8.5 و به ترتیب مدل‌های مذکور به‌طور متوسط برابر با ۵/۲ و ۱۲ درصد افزایش در سطح منطقه است. بیشترین تغییرات افزایشی نیز مربوط به نواحی جنوب غربی منطقه به‌ویژه ایستگاه‌های مهاباد و سردشت می‌باشد (شکل ۵).

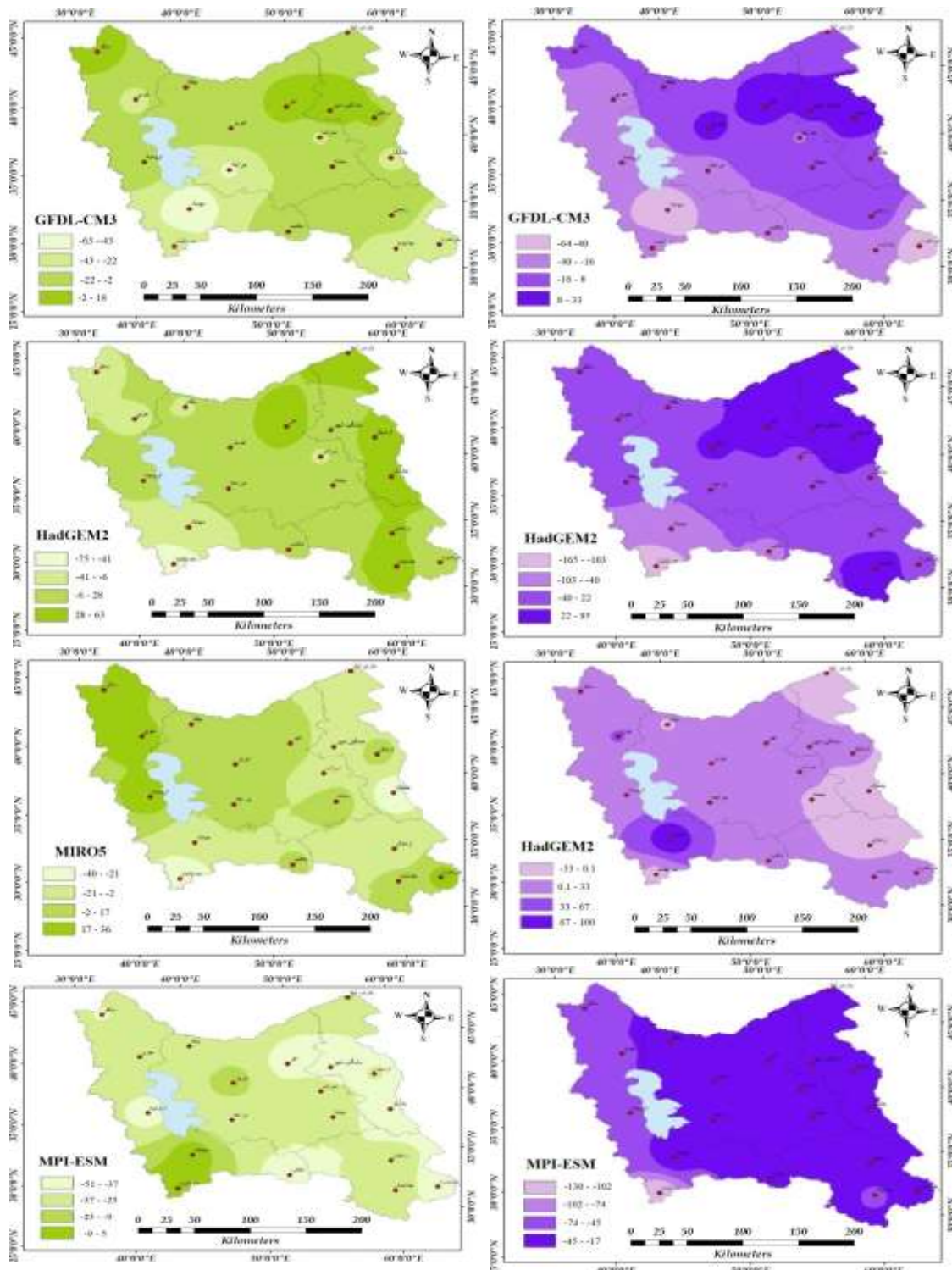




شکل ۵- تغییرات بارش بر حسب میلی‌متر برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه. سمت راست RCP8.5 و سمت چپ RCP4.5

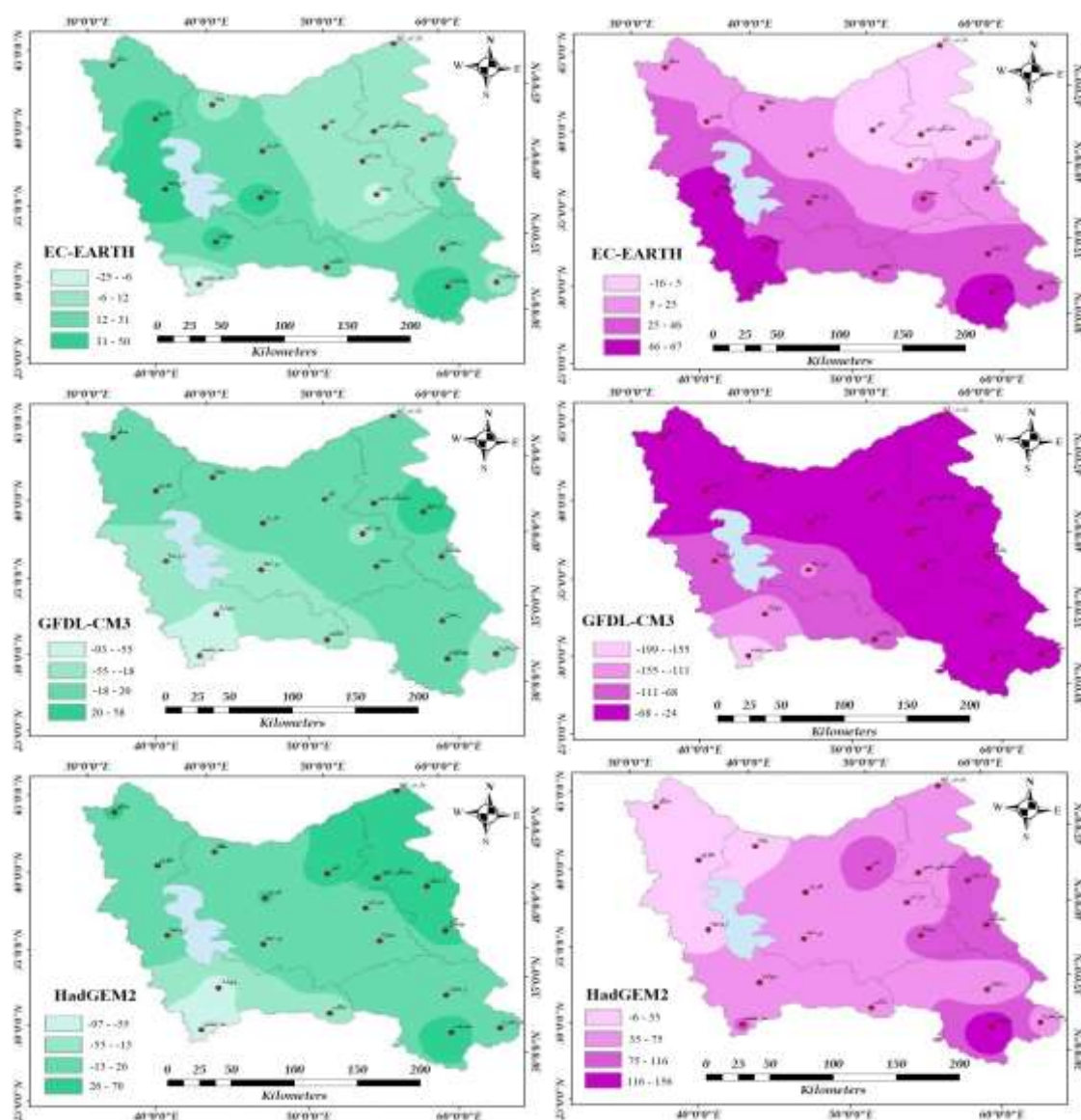
نتایج حاصل از تغییرات بارش در دوره (۲۰۵۱-۲۰۷۰) نیز نشان می‌دهد که بر اساس مدل‌های GFDL-CM3، HadGEM2 و MPI-ESM میزان بارش به ترتیب به میزان ۵/۲، ۰/۳ و ۱۱/۸ درصد در سطح منطقه مورد مطالعه کاهش خواهد یافت. بیشترین تغییرات کاهش بر اساس سناریوی RCP8.5 و مدل MPI-ESM برآورد شده است که میزان آن برابر با ۱۶ تا ۱۳۰ میلی‌متر کاهش در سطح منطقه است که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های پارس‌آباد و سردشت است. در این دوره نیز بر اساس مدل‌های EC-EARTH و MIROC5 میزان بارش در منطقه افزایش خواهد یافت که این افزایش به ترتیب برابر با ۱۰/۱ و ۳ درصد به‌طور متوسط در سطح منطقه خواهد بود. بیشترین تغییرات افزایشی بارش نیز بر اساس سناریو RCP 8.5 برآورد شده است. بر اساس نتایج کمترین و بیشترین تغییرات بارش در این دوره مربوط به نواحی شمال شرقی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه خواهد بود (شکل ۶).

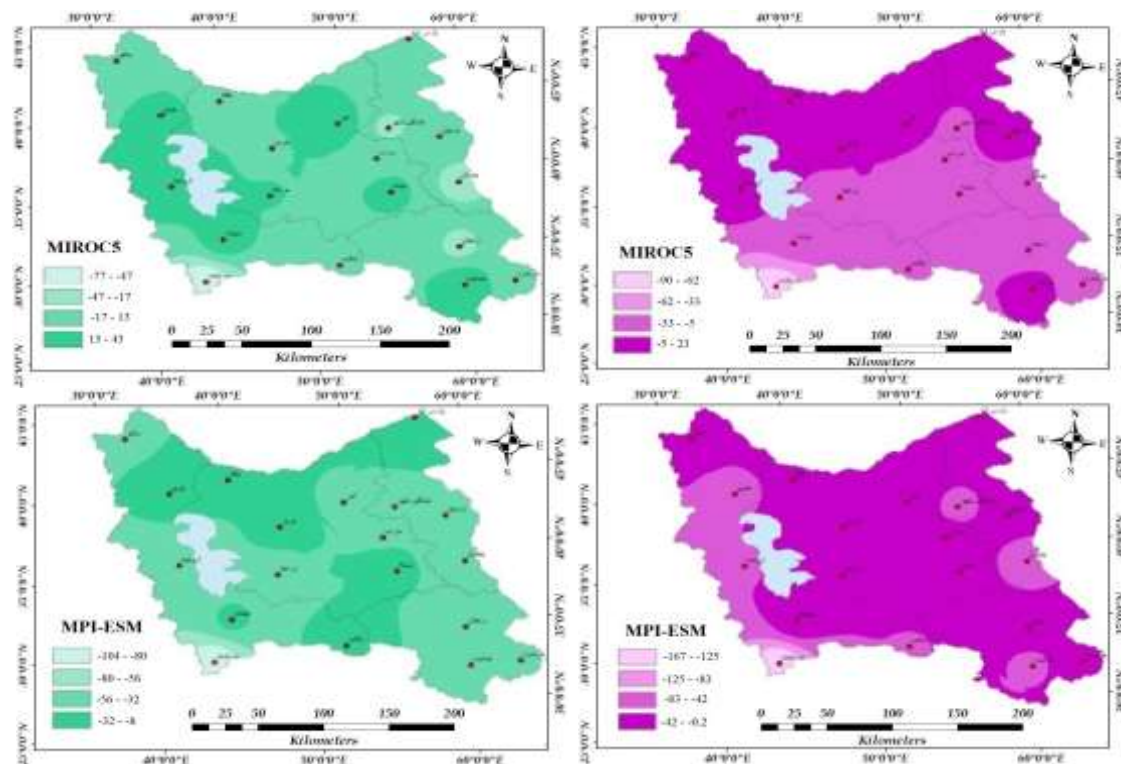




شکل ۶- تغییرات بارش بر حسب میلی‌متر برای دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه. سمت راست RCP8.5 و سمت چپ RCP4.5

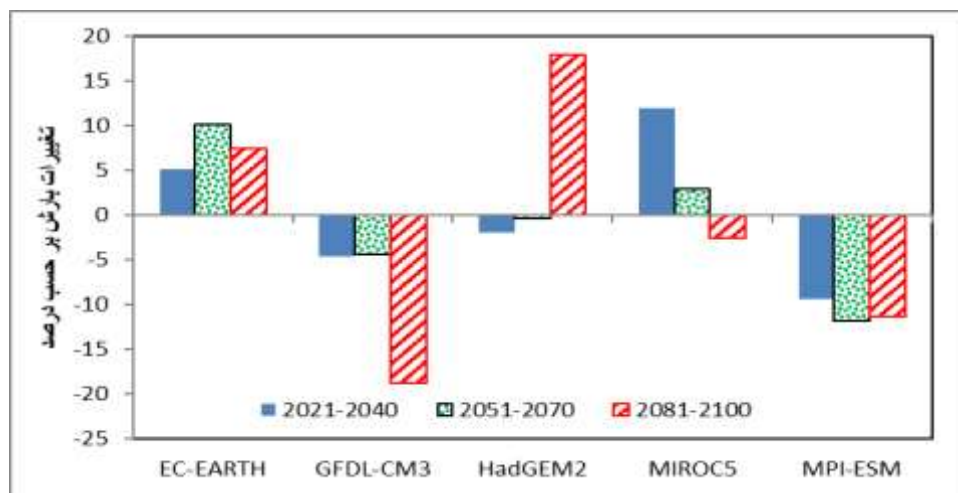
نتایج حاصل از تغییرات بارش در دوره (۲۰۸۱-۲۱۰۰) نیز نشان می‌دهد که بر اساس مدل‌های GFDL-CM3، MIROC5 و MPI-ESM تحت هر دو سناریوی مورد بررسی میزان بارش در سطح منطقه کاهش خواهد یافت که بیشترین میزان تغییرات آن مربوط به سناریوی RCP8.5 و به ترتیب مدل‌های مذکور برابر با ۱۸/۸، ۲/۶ و ۱۱/۳ درصد در سطح منطقه خواهد بود. بر اساس مدل‌های EC-EARTH و HadGEM2 نیز میزان بارش در منطقه افزایش پیدا خواهد کرد که این میزان به‌طور متوسط به ترتیب برابر با ۷/۵ و ۱۷/۹ درصد در سطح منطقه خواهد بود. بر اساس نتایج، کمترین و بیشترین تغییرات بارش در این دوره نیز مربوط به نواحی شمال شرقی و جنوب غربی منطقه می‌باشد (شکل ۷).





شکل ۷- تغییرات بارش بر حسب میلی‌متر برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه. نقشه‌های سمت راست RCP4.5 و سمت چپ RCP8.5

در مجموع بر اساس نتایج حاصل از بررسی مدل‌های مختلف، میزان بارش در دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰) افزایشی جزئی را تجربه خواهد نمود، که این میزان با در نظر گرفتن خروجی تمامی مدل‌ها به‌طور متوسط برابر با ۰/۳ درصد در سطح منطقه خواهد بود. در دو دوره بعدی (۲۰۵۱-۲۰۷۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) نیز انتظار می‌رود میزان بارش منطقه به‌طور متوسط به ترتیب ۰/۷ و ۱/۴ درصد کاهش پیدا کند (شکل ۸). همچنین بر اساس نتایج، بیشترین تغییرات کاهشی مربوط به نواحی شرقی منطقه مورد مطالعه و بیشترین تغییرات افزایشی مربوط به نواحی جنوب غربی منطقه مورد مطالعه است. بیشترین تغییرات کاهشی و افزایشی نیز بر اساس سناریو RCP8.5 مشهودتر از سناریوی RCP4.5 است.



شکل ۸- درصد متوسط تغییرات بارش در ۵ مدل برای دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه

۴- جمع‌بندی

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی جامعه بشری است که در سال‌های اخیر با توجه به مطرح شدن گرمایش جهانی، بحران در منابع آبی، تغییر اکوسیستم‌ها و همچنین مشکلات اجتماعی و اقتصادی ناشی از این تغییرات، توجه بسیاری از محافل جهانی را به خود جلب نموده است. دما و بارش از جمله بارزترین متغیرهای اقلیمی یک منطقه به شمار می‌آیند. به همین منظور در این پژوهش به بررسی چشم‌انداز تغییرات بلندمدت بارش در شمالغرب کشور با استفاده از خروجی‌های ۵ مدل گردش کلی جو تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 پرداخته شده است. جهت انجام ریزگردانی بر روی خروجی‌های مدل‌های فوق، از مدل LARS-WG6 استفاده شد و داده‌های بارش در سه دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۵۱-۲۰۷۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۰) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG با استفاده از آزمون‌های آماری و شاخص‌های خطاسنجی مختلف نشان داد که این مدل در بیشتر ماه‌ها و ایستگاه‌های مورد بررسی از دقت مناسبی جهت شبیه‌سازی بارش در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج حاصل از خروجی مدل‌های جهانی مختلف نیز نشان داد که میزان بارش در دوره‌های آبی در سطح منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل‌های EC-EARTH، GFDL-CM3، HadGEM2 و MPI-ESM کمتر از مقدار دوره پایه خواهد بود؛ با این وجود، مدل‌های EC-EARTH و MIROC5، میزان بارش را بیشتر از مقادیر دوره پایه و یا نزدیک به آن برآورد کردند (بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی) و این تفاوت نتایج در مدل‌های مختلف نشان می‌دهد که بررسی چشم‌انداز بارش بلندمدت تنها با استفاده از یک مدل GCM، عدم قطعیت‌های زیادی خواهد داشت که ناشی از پیچیدگی فرآیند بارش و توانایی‌ها و ویژگی‌هایی است که هر کدام از این مدل‌ها به نمایش می‌گذارند. در مجموع بر اساس نتایج حاصل،

میزان بارش در آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در شمال غرب کشور در مقایسه با دوره پایه، افزایش خواهد یافت. ولی چشم‌انداز بارش در آینده دور نشان می‌دهد که یک روند کاهشی بارش در میان ۵ مدل GCM به جز HadGEM2 وجود دارد؛ بنابراین، پیش بینی احتمال بارش در شمال غرب کشور در آینده نزدیک، افزایش نسبی بارش در مقایسه با دوره پایه و کاهش شدید بارش در آینده دور خواهد بود. نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات (Osman et al., 2014)، (Sarkar et al., 2015)، (Leong Tan et al., 2017)، (رسولی و همکاران، ۱۳۹۳)، (صلحی و همکاران، ۱۳۹۶) مطابقت دارد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، کشاورزی، انرژی و غیره استفاده نمود.

کتابنامه

- اسپنانی، کیامرث؛ شهیدی، علی؛ رستمیان، رخساره؛ فرزانه، محمدرضا؛ ۱۳۹۱. بررسی تغییر اقلیم در دوره‌های آبی به کمک مدل SDSM (مطالعه موردی: حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی). چاپ در مجموعه مقالات اولین همایش ملی بیابان. تهران، ص ۱۱.
- آقاشاهی، محسن؛ اردستانی، مجتبی؛ نیک‌سخن، محمدحسین؛ طهماسبی، بهشته؛ ۱۳۹۱. معرفی و مقایسه مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریزمقیاس سازی پارامترهای زیست‌محیطی در مطالعات تغییر اقلیم. چاپ در مجموعه مقالات ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست. تهران، ص ۱۰.
- ثانی‌خانی، هادی؛ گوهردوست، محمدرضا؛ صادقی، مرتضی؛ ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز قره چای در استان مرکزی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. شماره ۱۳. ۲۲-۱۲.
- جهانبخش، سعید؛ موحد دانش، علی اصغر؛ مولوی، واحد؛ ۱۳۸۰. تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق برای ایستگاه هواشناسی تبریز. دانش کشاورزی. شماره ۲. ۶۵-۵۱.
- حسینی، سید اسعد؛ احمدی، حمزه؛ ۱۳۹۵. چشم‌انداز تغییرات دما با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی‌های مدل HadCM3. نشریه هواشناسی کشاورزی. شماره ۱. ۷۳-۶۸.
- خلیلی‌ا قدم، نبی؛ مساعدی، ابوالفضل؛ سلطانی، افشین؛ کامکار، بهنام؛ ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی پارامترهای جوی سنندج. پژوهش حفاظت آب و خاک. شماره ۴. ۱۲۲-۸۵.
- رسولی، علی اکبر؛ رضایی‌بنفشه، مجید؛ مساح‌بوانی، علیرضا؛ خورشیددوست، علی‌محمد؛ قرمزچشمه، باقر؛ ۱۳۹۳. بررسی اثر عوامل مرفو- اقلیمی بر دقت ریزمقیاس‌گردانی مدل LARS-WG. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. شماره ۲۴. ۱۸-۹.
- سلیقه، محمد؛ ۱۳۹۵. آب و هواشناسی سینوپتیک ایران. انتشارات سمت. ۱۲۴-۱۳۰.
- صلحی، برومند؛ گودرزی، مسعود؛ حسینی، سید اسعد؛ ۱۳۹۶. پیش‌بینی تغییر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. شماره ۳۷. ۵۷-۴۷.

- طائی سمیرمی، سیاوش؛ مرادی، حمیدرضا؛ خداقلی، مرتضی؛ ۱۳۹۴. پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریز مقیاس‌سازی LARS-WG و خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای مختلف. *مهندسی و مدیریت آبخیز*. شماره ۲. ۱۵۶-۱۴۵.
- طباطبایی، سید علی؛ حسینی، مهرداد؛ ۱۳۸۲. بررسی تغییر اقلیم در شهر سمنان بر اساس پارامترهای بارش ماهیانه و متوسط دمای ماهیانه. چاپ در مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم سازمان هواشناسی کشور. دانشگاه اصفهان. ص ۸.
- قائمی، هوشنگ؛ زرین، آذر؛ خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۹۵). *اقلیم شناسی مناطق خشک*. انتشارات سمت. ۶۲-۸۳.
- هوشیار، احمد؛ سبحانی، بهروز؛ حسینی، سید اسعد؛ ۱۳۹۷. چشم‌انداز تغییرات دماهای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل CanESM2. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. شماره ۶۳. ۳۲۵-۳۰۵.
- Dettinger MD, Cayan DR, Meyer M, Jeton AE., 2004. Simulated hydrologic responses to climate variations and change in the Merced, Carson, and American River basins, Sierra Nevada California. 1900-2099. *Climate Change* 62: 283-317. DOI: 10.1023/ B:CLIM.0000013683.13346.4.
- Dibike YB, Coulibaly P., 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay Watershed: Comparison of Ownscaling Methods and Hydrologic Models, *Journal of Hydrology*, 307: 145-163. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.10.012.
- Dracup JA, Vicuna S., 2005. An Overview of Hydrology and Water Resources Studies on Climate Change: the California Experience, *Proc. World Water and Environmental Resources Congress 2005: Impacts of Global Climate Change*. DOI: 10.1061/ 40792(173)483.
- Ferreira RN, Nissenbaum MR, Rickenbach THM., 2018. Climate change effects on summertime precipitation organization in the Southeast United States, *Atmospheric Research* 214: 348-363. DOI.org/10.1016/j.atmosres.2018.08.012.
- Fowler HJ, Blenkinsop S, Tebaldi C., 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling, *International Journal of Climatology* 27: 1547-1578. DOI: 10.1002/joc.1556.
- Hardy JT., 2003. *Climate Change: Causes, Effects and Solutions*. John Wiley & Sons, Ltd. 247 P. DOI:10.1002/joc.1225.
- Hashmi MZ, Shamseldin AY, Melville BW., 2009. Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach, 18th World IMACS. MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17.
- Racsko P, Szeidl L. Semenov M., 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*, 57: 27-41. DOI: 10.1016/0304-3800(91)90053-4.
- IPCC., 2007. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen M, Marquis KB, Averyt M, Tignor H, Miller L. (eds.), Summary for Policymakers, in: *Climate Change 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental*.
- Hyun Cha D, Kyou Lee D, Chun-Sil J, Gayoung K, Yonghan C, Myoung-Seok S, Joong-Bae A, Song-You H, Seung-Ki M, Seong-Chan P, Hyun-Suk K., 2016. Future changes in summer precipitation in regional climate simulations over the Korean Peninsula forced by multi-RCP

- scenarios of HadGEM2-AO, Asia-Pacific. *Journal of Atmospheric Sciences*, 52: 139-149. DOI: 10.1007/s13143-016-0015.
- Lane ME, Kirshen PH, Vogel RM., 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources, ASCE. *Journal Water Resour Planning and Manag* 125: 194-204. DOI: 10.1.1.711.8987.
- Leong Tan M, Latiffbrahim AB, Yusop Z, Chua V, WengChan N., 2017. Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research* 189:1-10. DOI: 10.1016/j.atmosres.2017.01.008.
- Osman Y, AL-Ansari N, Abdellatif M, Aljawad SB, Knutsson S., 2014. Expected future precipitation in central Iraq using Lars-WG stochastic weather generator, *Engineering* 6: 948-959. DOI:10.4236/eng.2014.613086.
- Panol TJ, Loret F., 1998. Climatic warning hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain, *Climate Change* 38: 345-357. DOI: 10.1.1.457.444
- Sarkar J, Chicholikar JR, Rathore LS., 2015. Predicting Future Changes in Temperature and Precipitation in Arid Climate of Kutch, Gujarat: Analyses Based on LARS-WG Model, research article, *Current science*, 109:2084-2093. DOI: 10.18520/v109/i11/2084-2093
- Semonov MA, Stratonovitch P., 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts, *Climate Research* 41: 1-14. DOI: 10.3354/cr00836
- Sharma D, Gupta AD, Babel MS., 2007. Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River Basin, Thailand. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1373-1390, DOI: 10.5194/hess-11-1373-2007
- Wigley TWL, Jones PD, Briffa KR, Smith G., 1990. Obtaining sub-grid scale information from coarse resolution general circulation model output, *Journal of Geophysics Research* 951: 1943-1953. DOI: 10.1029/JD095iD02p01943
- Wilby RL, Dawson CW, Barrow EM., 2002. SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *Environmental Modelling & Software* 17:147-159. DOI:10.1016/S1364-8152(01)00060-3
- Wilks DS, Wilby R., 1999. The weather generation game: a review of stochastic weather models, *Progress in Physical Geography* 23: 329-357. DOI: 10.1177/030913339902300302.
- Zarghami M, Abdi A, Babaeian I, Hassanzadeh Y, Kanani R., 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change* 78: 137-146. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2011.06.00