

ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش منطقه اراک

امیر مرادی نژاد^{۱*}، سعید خسروبیگی^۲^{۱*} - استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی^۲ - دکتری آبخیزداری و رئیس بخش فنی و مهندسی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی

ایمیل نویسنده مسئول: amir_۲۴۶۱۹@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۳۰/۰۲/۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۰۶/۰۴/۱۴۰۳

چکیده

تغییر اقلیم و تغییر پارامترهای دما و بارش در حال حاضر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان تبدیل شده است. این تغییرات باعث خشکسالی و یا سیلاب‌های شدید، کوتاه و بلند مدت در آینده می‌شوند. لذا یکی از راه‌کارهای کاهش تأثیرات ناشی از تغییر اقلیم، ارزیابی تأثیرات آن بر بارندگی و دما در هر منطقه است. در این تحقیق داده‌های دمای حداقل روزانه و دمای حداکثر روزانه و مقادیر بارش روزانه ایستگاه اراک در طی سال-های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ میلادی به‌عنوان داده‌های دوره پایه از آب منطقه‌ای اراک تهیه شد. داده‌های مدل جهانی CanESM۲ تحت سناریوهای RCP۲,۶, RCP۴,۵ و RCP۸,۵ همراه با داده‌های مشاهداتی مربوط به مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی (NCEP) از سایت این مرکز دانلود شد. به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی مدل‌های CanESM۲ و HadGEM۲-ES از مدل LARS-WG استفاده شد. جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی منطقه از سناریوهای جدید RCP استفاده و تغییرات پارامترهای اقلیمی بارش و دما برای دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۸۰) شبیه‌سازی شد. بر اساس نتایج مدل تحت سناریوی RCP۸,۵ مدل LARS-WG در هر سه دوره کاهش بارش را نشان می‌دهد که این نتیجه با این فرض که ادامه اثر گرم شدن کره زمین منجر به کاهش بارندگی خواهد شد، هماهنگ است. بر اساس نتایج، مدل LARS-WG در هر سه سناریو و هر سه دوره، افزایش دمای حداقل را پیش‌بینی کرده است. در مورد دمای حداکثر سالانه نتایج مدل LARS-WG در هر سه سناریو و هر سه دوره نسبت به دوره پایه افزایش داشته است. همچنین نتایج نشان داد که، بیشترین تغییرات دمای حداکثر مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ (از ۲۳/۱۲ در دوره اول تا ۲۶/۵۱ درجه سانتی‌گراد در دوره سوم)، بیشترین تغییرات دمای حداقل مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ (از ۸/۷۱ در دوره اول تا ۱۱/۶۰ در دوره سوم) و بیشترین تغییرات بارش مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ است.

کلمات کلیدی: "اراک"، "بارش"، "دما"، "تغییر اقلیم"، "مدل LARS-WG".

۱- مقدمه

گسترده‌ای در وضعیت آب و هوایی شده است که به این تغییرات آب و هوایی، تغییر اقلیم گفته می‌شود (Babaeian et al., ۲۰۱۰). در یک تعریف کلی می‌توان تغییر اقلیم را تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به میانگین بلند مدت آن تعریف نمود. تغییرات اقلیم چرخه هیدرولوژیکی و توزیع زمانی و مکانی منابع آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zhou et al., ۲۰۱۱). این تغییرات به نوبه خود ممکن است منجر به فرسایش خاک همراه با سایر مشکلات زیست‌محیطی شود (Shrestha & Wang, ۲۰۱۸; Wen et al., ۲۰۱۸). تأثیر تغییر اقلیم به‌صورت بالا آمدن سطح دریاها، تغییر رواناب‌های سطحی، تغییر بارندگی و درجه حرارت، تغییر در میزان تبخیر و تعرق، وقوع خشکسالی و بارش‌های شدید نیز نمود پیدا می‌کند (et al., ۲۰۱۳). تئوری‌های مورد استفاده در مدل‌های آب و هوایی به پنج گروه تقسیم می‌شوند: مدل‌های آماری-احتمالی، توازن انرژی، یک‌بعدی تابش همرفتی، دوبعدی دینامیکی- آماری گردش عمومی جو (GCMs) و سه‌بعدی گردش عمومی جو که خود به سه مدل گردش عمومی جو، گردش عمومی اقیانوسی و مدل مزدوج تقسیم می‌شوند (Fraraj Zadeh & Ghasemifar, ۲۰۱۹). مدل‌های گردش عمومی جو، شرایط توپوگرافی، پوشش سطح و شرایط اقلیمی یکسانی برای یک شبکه با ابعاد چندین کیلومتر در نظر می‌گیرند، در شرایطی که شرایط واقعی در زمین می‌تواند کاملاً متفاوت باشد (Babaeian et al., ۲۰۱۰). روش‌های مختلف دینامیکی و آماری برای ریزمقیاس‌سازی متغیرهای اقلیمی وجود دارد. یکی از مدل-

اقلیم را به‌راحتی می‌توان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در زندگی انسان و حیات جوامع انسانی قلمداد نمود. گرم شدن آب و هوای کره زمین و تغییر اقلیم در حال حاضر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی جهان تبدیل شده است. مدت‌هاست که تغییر در خصوصیات هواشناسی مناطق مختلف دنیا برای محققین و پژوهشگران به اثبات رسیده است. کم شدن نزولات جوی، کاهش جریان‌های سطحی و تغییر در تولید و عملکرد محصولات کشاورزی در بسیاری از مناطق دنیا قابل لمس است. کشور ما نیز با مسائل متعددی در این رابطه روبروست. تغییر اقلیم تأثیر قابل توجهی بر منابع آب و محیط زیست دارد که به نوبه خود در کشاورزی، جامعه و اقتصاد منعکس می‌شود. در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعات آفتابی و بارش با شبیه‌سازی اقلیم توسط مدل HADCM۳ و ریزمقیاس‌سازی توسط LARS-WG در دوره پایه (۱۹۹۳ تا ۲۰۱۷) ایستگاه سینوپتیک اراک بررسی گردید. تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر چرخه هیدرولوژیک است که بخش‌های مختلف زندگی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین تجزیه و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه به‌منظور مدیریت منابع آبی بسیار اهمیت دارد (Shrestha & Htu, ۲۰۱۶). یکی از دلایل اصلی تغییرات اقلیمی، افزایش گرمایش جهانی ناشی از اثرات گلخانه‌ای می‌باشد. با صنعتی شدن کشورها میزان تولید گازهای گلخانه‌ای افزایش یافته و این امر منجر به افزایش دمای کره زمین و ایجاد تغییرات

با تغییر الگوی زمانی مواجه خواهند شد. Zohrevandi et al., (۲۰۲۰) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تابش در شش ایستگاه سینوپتیک منتخب غرب ایران در استان‌های کردستان، کرمانشاه و همدان، با استفاده از مدل HADCM3 و ریزمقیاس‌ساز LARS-WG تحت سناریوهای مختلف پرداختند. معیارهای ارزیابی مدل LARS-WG را برای شبیه‌سازی منطقه مناسب تشخیص داد. نتایج بیانگر کاهش بارش، افزایش دمای حداقل و حداکثر و افزایش تابش بلندمدت نسبت به دوره پایه بود. Kounani et al., (۲۰۲۱) در تحقیقی با هدف ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز رحیم‌آباد لاهور لرستان، از مدل گردش عمومی جو HADCM3 و دو مدل ریزمقیاس‌سازی آماری-LARS-WG و SDSM طبق سه سناریو A1، B2 و B1 استفاده کردند. بدین منظور پارامترهای اقلیمی دوره پایه ارزیابی و پارامترهای اقلیمی آینده شبیه‌سازی شدند. نتایج هر دو مدل بیانگر کاهش بارش و افزایش دما بود، اما SDSM تغییرات بیشتری را نسبت به مدل LARS-WG نشان داد. Heshmati et al., (۲۰۲۱) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی کرمانشاه با استفاده از مدل LARS-WG در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره آتی پرداختند. نتایج نشان داد مدل LARS-WG از عملکرد خوبی در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی آینده برخوردار است. سناریوها بیانگر افزایش متوسط دمای حداقل و حداکثر و تغییر الگوی بارش منطقه، در بازه زمانی آینده بودند. Darvand et al., (۲۰۲۱) اثرات تغییر اقلیم بر بیابان‌زایی منطقه بافت استان کرمان را با مدل HADCM3 تحت سه سناریو A1B، A2، B1 مورد بررسی قرار دادند. جهت حصول به دقت مکانی و زمانی مورد نیاز، از مدل ریزمقیاس‌ساز LARS-WG استفاده نمودند. نتایج بیانگر افزایش دما در تمام فصل‌ها، در منطقه بود. افزایش دما و کاهش بارندگی سبب افزایش خشکسالی شده، زمینه را برای بیابان‌زایی فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

– مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)^۱

با رشد صنعت و تکنولوژی غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر افزایش خواهد یافت که منجر به تغییر الگوهای اقلیمی شده و همچنین فرآیندهای هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Laukkonen et al., ۲۰۰۹). در حال حاضر مدل‌های گردش عمومی جو، یکی از معتبرترین روش‌ها جهت تولید سناریوهای اقلیمی می‌باشند. این مدل‌ها، شامل مدل‌های چرخش عمومی جو، مدل چرخش عمومی اقیانوسی و مدل‌های چرخش عمومی مزدوج (جوی-اقیانوس‌ها) هستند. استفاده از این مدل‌ها به منظور بازسازی اقلیم سال‌های گذشته و یا پیش‌بینی اقلیم آینده، آنها را به مدل‌های جهانی اقلیم^۲ معروف نموده است. مدل‌های گردش عمومی جو سه بعدی هستند و پارامترهای اقلیمی را در شبکه‌های مشخص و در مقیاس جهانی شبیه‌سازی می‌نمایند.

های آماری ریزمقیاس‌کننده خروجی مدل‌های GCM است که با استفاده از توزیع نیمه تجربی دوره‌های خشک و مرطوب را شبیه‌سازی می‌کند (Goudarzi et al., ۲۰۱۵). تاکنون تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام شده است. (Qian et al., ۲۰۰۴) دو مدل آب و هوایی LARS-WG و AAF-WG را مقایسه کردند. AAF-WG در شبیه‌سازی دما عملکرد بهتری داشت، ولی پیش‌بینی آن برای بارش روزانه، مشابه با LARS-WG بود. Babaeian et al., (۲۰۱۰) به ارزیابی تغییرات اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G توسط مدل LARS-WG پرداختند. نتایج حاکی از کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور، افزایش آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین به میزان ۱۳ و ۳۹ درصد و افزایش میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد، با بیشترین افزایش دما در ماه‌های سرد سال بود. بررسی نتایج شمال شرق کشور حاکی از جابه‌جایی الگوی بارش به سمت انتهای فصل سرد سال بود. Hashmi et al., (۲۰۱۱) مدل رگرسیون چندگانه SDSM و مولد مصنوعی LARS-WG را در ریزمقیاس‌سازی بارش‌های حدی مقایسه نمودند. نتایج مؤید توانایی شبیه‌سازی مناسب هر دو مدل بود. Chisanga et al., (۲۰۱۷) برای شبیه‌سازی اقلیم از مدل‌های HadCM3 و BCCR-BCM2 و ریزمقیاس‌ساز LARS-WG استفاده کردند. مدل با استفاده از داده‌های دوره پایه (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) واسنجی گردید و داده‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر دمای کوه ماکولو زامبیا، برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۵۵، در سناریوهای B1 و A1B شبیه‌سازی شدند. نتایج نشانگر دقت خوب مدل‌سازی و امکان استفاده از LARS-WG با اطمینان بالا، برای تولید داده‌ها تحت سناریوهای اقلیمی بود. Mirgol et al., (۲۰۲۱) به بررسی روند تغییرات خشکسالی حوزه ارومیه در شرایط تغییر اقلیم، با استفاده از پنج مدل گردش عمومی جو و ریزمقیاس‌ساز LARS-WG پرداختند. شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI محاسبه شده نشان داد که SPEI تعداد وقایع خشکسالی بیشتری نسبت به SPI پیش‌بینی کرده، عملکرد بهتری در ارزیابی خشکسالی حوضه دارد. Ahmed et al., (۲۰۱۹) به بررسی و انتخاب ۳۶ مدل تجمیعی گردش عمومی جو برای شبیه‌سازی بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر، با استفاده از معیارهای ارزیابی مکانی، به‌منظور کاهش عدم قطعیت مدل‌سازی پرداختند. Panahi and Khorramabadi (۲۰۱۹) به ارزیابی دقت داده‌های CSIRO و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تحت سناریوهای مختلف اقلیمی پرداختند. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG با دقت بالا قادر به پیش‌بینی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر است، اما در شبیه‌سازی بارش نسبت به سایر متغیرها دقت کمتری نشان میدهد. Jahangir et al., (۲۰۲۰) به شبیه‌سازی اقلیم آینده شیراز با استفاده از مدل HADCM3 و ریزمقیاس‌ساز LARS-WG پرداختند. بدین منظور داده‌های مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی ایستگاه شیراز در دوره ۴۶ ساله (۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵) استفاده گردید. شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی حوضه تحت دو سناریوی A2 و A1B انجام شد. نتایج نشان داد برخی مناطق با خشکسالی و در مقابل برخی مناطق با افزایش بارندگی همراه

^۱. General Circulation Model

^۲. Global Climate Models

- سناریوهای انتشار

مطالعات ارزیابی اثرات تغییرات اقلیم، ریزمقیاس شوند. فرآیند ریزمقیاس‌نمایی به منظور ارزیابی و پیش‌بینی وضعیت اقلیم، بین متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی ارتباط برقرار می‌کند. روش‌های کلی ریزمقیاس‌نمایی به دو دسته روش‌های دینامیکی و آماری تقسیم می‌شوند (Beecham et al., ۲۰۱۴). مدل‌های دینامیکی دقت فضایی مناسبی دارند و دارای مبانی فیزیکی مشخصی هستند اما از لحاظ محاسباتی پیچیده هستند. در حالی که مدل‌های آماری از روش‌های متداول آماری همچون روش‌های رگرسیونی، روش‌های مبتنی بر الگوهای آب و هوایی و روش‌های تولید سری‌های زمانی آب‌وهوایی استفاده می‌کنند (Chen et al., ۲۰۱۲). مدل‌های آماری به متغیرهای کمتری احتیاج داشته و در مقایسه با مدل‌های دینامیکی از لحاظ محاسباتی ساده و کم هزینه بوده ولی فرض پایه‌ای این مدل‌ها (معتبر بودن رابطه به‌دست آمده برای اقلیم امروز در دوره‌های آینده) قابل تأیید نیست. در روش‌های آماری، با برقراری روابط تجربی بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته، متغیرهای اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شوند (Fowler et al., ۲۰۰۷)

- شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی منطقه در دوره پایه

جهت شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در ابتدا داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک اراک شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی روزانه در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۰ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. همچنین داده‌های مدل جهانی CanESM۲ تحت سناریوهای RCP۲,۶، RCP۴,۵ و RCP۸,۵ همراه با داده‌های مشاهداتی مربوط به مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی (NCEP) از سایت این مرکز^۴ دانلود شد. به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های خروجی مدل‌های CanESM۲ و HadGEM۲-ES از مدل LARS-WG استفاده شد. مدل LARS-WG نیز از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری است. این مدل یکی از معروف‌ترین مدل‌های تولید داده‌های هواشناسی است که برای تولید داده‌های روزانه دمای حداکثر و حداقل، بارش و ساعات آفتابی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود (Salehnia et al., ۲۰۱۴). در این پژوهش از نسخه ۶ این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل HadGEM۲-ES استفاده شد. در مدل LARS-WG پس از دریافت داده‌های مشاهداتی روزانه (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی)، مشخصه‌های آماری داده‌ها استخراج شدند. سپس به منظور اطمینان از توانایی مدل، یک سری داده مصنوعی در دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۵) تولید و با داده‌های مشاهداتی مقایسه شد. به منظور واسنجی و اطمینان از صحت عملکرد مدل LARS-WG، متغیرهای شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱). نتایج بیان‌گر آن است که مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر و دقت مناسبی ($R^2=0/99$) برخوردار بوده است. همچنین دقت مدل در شبیه‌سازی بارش ($R^2=0/98$) قابل قبول است.

مهم‌ترین ورودی مدل‌های گردش عمومی جو، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آینده است. از طرفی تعیین میزان انتشار این گازها به طور قطعی امکان‌پذیر نیست، از این رو سناریوهای مختلف انتشار ارائه شده است. هدف از مشخص کردن این سناریوها پیش‌بینی آب و هوای منطقه نیست بلکه برای تعیین عوامل موثر بر تغییر اقلیم به کار می‌روند (Morid and Massah Bavani, ۲۰۱۰). اولین سناریوهای انتشار تحت عنوان IS۹۲ در سال ۱۹۹۲ توسط IPCC ارائه شد. در سال ۱۹۹۶ سری دوم سناریوهای انتشار (SRES۱) که در چهار شاخه اصلی سناریوهای A۱, A۲, B۱, B۲ قرار می‌گیرند، تدوین شدند. هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در پنجمین گزارش ارزیابی در سال ۲۰۱۴ سناریوهای جدید RCP^۲ را به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای منتشر نمود که چهار نوع هستند و بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها تا سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند (Harvey et al., ۱۹۹۷). در این مطالعه از سناریوهای جدید RCP جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی منطقه استفاده شد. سناریوهای معرفی شده به شرح ذیل است: سناریو RCP۲,۶: این سناریو نشان‌دهنده کمترین میزان واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای است. بر اساس این سناریو، گازهای گلخانه‌ای به اندازه قابل توجهی کاهش می‌یابد و واداشت تابشی به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد (Van Vuuren, ۲۰۰۷). سناریو RCP۴,۵: در این سناریو میزان افزایش دی اکسیدکربن کمتر شده و واداشت تابشی ناشی از آن، قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت باقی می‌ماند (et al., ۲۰۰۹). سناریو RCP۶: در سناریوهای RCP۶ واداشت تابشی و میزان افزایش CO_۲ کاهش می‌یابد. همچنین در این سناریو بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل به‌کارگیری فناوری‌های جدید و اجرای سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای، میزان واداشت تابشی در مقدار ۶ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند (Hijioka et al., ۲۰۰۸). سناریو RCP۸,۵: بدون هیچ‌گونه فعالیتی در جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای و مقابله با اثرات تغییر اقلیم، اقلیم کره زمین در خط سیر سناریوی RCP۸,۵ پیش خواهد رفت. در صورت ادامه این روند میزان واداشت تابشی به ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید و میزان CO_۲ همچنان روند افزایشی خواهد داشت (Riahi et al., ۲۰۰۷).

- ریزمقیاس‌نمایی^۳

مدل‌های گردش عمومی جو معتبرترین ابزار برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در آینده هستند. یکی از بزرگترین مشکلات این مدل‌ها، بزرگ مقیاس بودن و قدرت تفکیک مکانی کم آنهاست. در صورتی که خروجی این مدل‌ها مستقیماً به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرارگیرد، باعث افزایش عدم قطعیت می‌شود. لذا باید خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس جوی قبل از استفاده در

۱. Special Report on Emmission Scenarios

۲. Representative Concentration Pathways

۳. Downscaling

۴. <https://www.climate-scenarios.canada.ca>

جدول ۱- عملکرد مدل LARS-WG طی دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی.

MAE	RMSE	ENs	R ²	متغیر اقلیمی	مدل
۰.۱۷	۰.۲۰	۰.۹۹	۰.۹۹	واسنجی	LARS-WG*
۰.۱۴	۰.۱۸	۰.۹۹	۰.۹۹	واسنجی	
۱.۶۸	۲.۴۱	۰.۹۸	۰.۹۸	واسنجی	

*: مدل ۶. LARS-WG قابلیت تفکیک داده‌های دوره پایه به دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی را نداشته و ارزیابی‌ها را برای کل دوره پایه انجام می‌دهد.

نتایج و بحث

تغییرات دمای حداکثر مربوط به سناریوی RCP ۸.۵ (از ۲۳/۱۲ در دوره اول تا ۲۶/۵۱ درجه سانتی‌گراد در دوره سوم)، بیشترین تغییرات دمای حداقل مربوط به سناریوی RCP ۸.۵ (از ۸/۷۱ در دوره اول تا ۱۱/۶۰ در دوره سوم) و بیشترین تغییرات بارش مربوط به سناریوی RCP ۸.۵ است.

- متغیرهای پیش‌بینی شده در مقیاس روزانه

در جدول (۲) نتایج حاصل از پیش‌بینی میانگین داده‌های روزانه به‌وسیله مدل LARS-WG را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل، بیشترین

جدول ۲- مقایسه میانگین داده‌های روزانه توسط مدل LARS-WG در ۳ دوره زمانی از ۲۰۲۱ تا ۲۰۸۰.

		دمای حداکثر			دمای حداقل			بارش		مدل	سناریو
۲۰۶۱-	۲۰۴۱-	۲۰۲۱-	۲۰۶۱-	۲۰۴۱-	۲۰۲۱-	۲۰۶۱-	۲۰۴۱-	۲۰۲۱-	۲۰۶۱-		
۲۰۸۰	۲۰۶۰	۲۰۴۰	۲۰۸۰	۲۰۶۰	۲۰۴۰	۲۰۸۰	۲۰۶۰	۲۰۴۰			
۳۰۵.۵۰	۲۷۱.۱۹	۲۹۴.۵۵	۲۳.۰۴	۲۳.۴۸	۲۲.۸۲	۸.۷۲	۸.۸۰	۸.۶۳	LARS-WG	RCP ۲,۶	
۳۰۲.۹۵	۳۱۱.۳۴	۲۷۵.۲۱	۲۴.۷۱	۲۳.۵۹	۲۲.۸۰	۹.۸۲	۹.۱۷	۸.۲۴	LARS-WG	RCP ۴.۵	
۲۷۳.۷۵	۲۷۸.۸۶	۲۵۳.۳۱	۲۶.۵۱	۲۴.۴۴	۲۳.۱۲	۱۱.۶۰	۹.۹۶	۸.۷۱۱	LARS-WG	RCP ۸.۵	

است. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG مقادیر این متغیر را طی سه دوره و تحت هر سه سناریو در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن بیش‌تر از دوره پایه پیش‌بینی نموده و در ماه‌های جولای تا دسامبر پیش‌بینی دمای حداقل نسبت به دوره پایه توسط مدل LARS-WG بیش‌برآورد بوده است.

- میانگین متغیرهای پیش‌بینی شده در مقیاس ماهانه

- دمای حداقل

مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG برای دوره‌های پایه و آینده در جدول (۳) ارائه شده

مطالعات علوم محیط زیست، دوره نهم، شماره ۴، فصل زمستان سال ۱۴۰۳، صفحه ۹۵۳۴-۹۵۲۴

جدول ۳- مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره پایه و داده های پیش بینی شده مدل LARS-WG.

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
-	پایه	-۶.۲۷	-۴.۴۵	-۰.۸۷	۶.۸۳	۱۰.۶۶	۱۵.۳۳	۱۸.۹۹	۱۸.۱۸	۱۲.۸۲	۷.۲۳	۱.۹۴	-۲.۸۲
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	-۳.۸۰	-۲.۴۳	۲.۶۴	۸.۳۰	۱۲.۳۸	۱۶.۸۹	۲۰.۷۳	۲۰.۰۹	۱۵.۲۶	۹.۱۲	۴.۱۳	-۰.۴۱
RCP ۲,۶	۲۰۴۱-۲۰۶۰	-۳.۹۷	-۲.۴۸	۲.۸۲	۸.۴۹	۱۲.۴۸	۱۷.۰۷	۲۱.۰۱	۲۰.۴۶	۱۵.۷۱	۹.۵۳	۴.۲۸	-۰.۴۸
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	-۳.۹۶	-۲.۴۳	۲.۸۷	۸.۶۷	۱۲.۶۵	۱۷.۰۷	۲۰.۸۱	۲۰.۱۴	۱۵.۴۰	۹.۲۵	۴.۰۷	-۰.۶۲
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	-۴.۴۴	-۲.۸۲	۲.۳۶	۷.۹۱	۱۱.۹۶	۱۶.۵۶	۲۰.۴۷	۱۹.۹۴	۱۵.۱۱	۸.۸۳	۳.۵۶	-۱.۱۵
RCP ۴,۵	۲۰۴۱-۲۰۶۰	-۳.۶۵	-۲.۱۷	۳.۰۳	۸.۶۱	۱۲.۸۴	۱۷.۶۲	۲۱.۶۷	۲۰.۹۶	۱۶.۰۱	۹.۸۳	۴.۷۰	-۰.۰۷
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	-۳	-۱.۶۰	۳.۴۸	۹.۲۳	۱۳.۲۹	۱۷.۹۴	۲۲.۰۸	۲۱.۷۸	۱۷.۱۵	۱۰.۹۳	۵.۴۳	-۰.۴۴
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	-۴.۲۳	-۲.۸۲	۲.۶۰	۸.۵۰	۱۲.۴۳	۱۷.۰۲	۲۱.۱۱	۲۰.۵۱	۱۵.۵۵	۹.۴۲	۴.۳۱	-۰.۵۸
RCP ۸,۵	۲۰۴۱-۲۰۶۰	-۳.۰۵	-۱.۸۰	۳.۲۸	۹.۱۱	۱۳.۴۹	۱۸.۵۰	۲۲.۷۷	۲۲.۱۱	۱۷.۱۰	۱۰.۸۴	۵.۶۲	-۰.۷۳
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	-۱.۸۵	-۰.۶۷	۴.۸۱	۱۰.۸۹	۱۵.۱۴	۲۰.۰۲	۲۴.۲۷	۲۳.۹۴	۱۹.۱۶	۱۲.۹۶	۷.۵۰	۲.۲۰

۴.۸۱

- دمای حداکثر

است. بر اساس نتایج حاصل، در سه دوره مورد نظر تحت هر سه سناریو از ماه ژانویه تا جولای دمای حداکثر افزایش خواهد یافت. همچنین از ماه اگوست تا دسامبر نتایج مدل LARS-WG افزایش دما را نشان داده است.

نتایج حاصل از بررسی دمای حداکثر ماهانه پیش بینی شده به وسیله مدل LARS-WG در مقایسه با دوره پایه در جدول (۴) نشان داده شده

جدول ۴- مقایسه میانگین ماهانه دمای حداکثر دوره پایه و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل LARS-WG.

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
-	پایه	۴.۳۵	۶.۶۸	۱۲.۷۳	۱۹.۷۸	۲۵.۱۴	۳۱.۹۹	۳۵.۱۸	۳۴.۷۲	۳۰.۳۹	۲۲.۶۴	۱۴.۵۱	۷.۵۵
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۶.۲۷	۸.۴۹	۱۴.۵۸	۲۲.۱۰	۲۸.۰۷	۳۴.۰۳	۳۷.۲۴	۳۷.۲۷	۳۳.۱۷	۲۵	۱۶.۹۰	۹.۷۵
RCP ۲,۶	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۶.۶۹	۸.۷۹	۱۵.۱۵	۲۲.۷۰	۲۸.۶۲	۳۴.۸۱	۳۸.۲۳	۳۸.۰۳	۳۳.۹۵	۲۵.۸۶	۱۷.۷۱	۱۰.۴۴
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۶.۶۱	۸.۷۵	۱۴.۸۰	۲۲.۱۹	۲۸	۳۴.۱۱	۳۷.۷۲	۳۷.۶۴	۳۳.۴۷	۲۵.۲۳	۱۷.۱۱	۱۰.۰۵
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۵.۸۴	۸.۱۵	۱۴.۷۸	۲۲.۳۹	۲۸.۰۵	۳۴.۰۲	۳۷.۵۷	۳۷.۴۴	۳۳.۲۵	۲۵.۰۵	۱۶.۸۱	۹.۴۸
RCP ۴,۵	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۶.۲۳	۸.۴۷	۱۵.۰۱	۲۲.۶۴	۲۸.۶۹	۳۵.۰۸	۳۸.۸۸	۳۸.۶۶	۳۴.۳۳	۲۶.۱۶	۱۷.۸۸	۱۰.۲۳
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۷.۹۶	۱۰.۱۳	۱۶.۰۸	۲۳.۳۲	۲۹.۳۳	۳۵.۸۷	۳۹.۸۰	۳۹.۸۳	۳۵.۷۲	۲۷.۲۳	۱۸.۸۵	۱۱.۴۵
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۶.۵۱	۸.۷۸	۱۵.۱۸	۲۲.۵۱	۲۸.۱۲	۳۴.۱۰	۳۷.۶۳	۳۷.۶۴	۳۳.۴۴	۲۵.۳۴	۱۷.۳۱	۱۰.۱۴
RCP ۸,۵	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۷.۴۷	۹.۴۷	۱۵.۵۸	۲۳.۰۹	۲۹.۵۴	۳۶.۲۱	۳۹.۸۹	۳۹.۴۸	۳۴.۹۷	۲۶.۶۹	۱۸.۶۰	۱۱.۲۸
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۹.۴۳	۱۱.۴۵	۱۷.۸۵	۲۵.۵۲	۳۱.۴۳	۳۷.۶۷	۴۱.۵۰	۴۱.۵۳	۳۷.۴۷	۲۹.۲۵	۲۰.۸۴	۱۳.۳۰

- بارش

پیش بینی های میانگین ماهانه بارش توسط مدل LARS-WG در مقایسه با دوره پایه برای هر سه سناریوی مورد مطالعه در جدول (۵) آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود در سناریوی RCP ۲,۶

و RCP۴,۵ در هر سه دوره، مقدار بارش شبیه‌سازی شده در ماه‌های آوریل و دسامبر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین تحت شرایط سناریو RCP۸,۵ در هر سه دوره، مدل در ماه آوریل مدل LARS-WG افزایش بارش را در این ماه پیش‌بینی می‌کند.

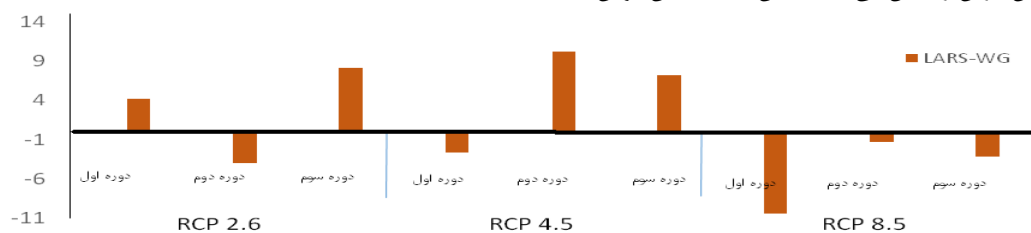
جدول ۵- مقایسه میانگین ماهانه بارش در دوره پایه و پیش بینی شده توسط مدل LARS-WG

سناریو	دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
-	پایه	۳۹.۵۱	۳۶	۵۴.۶۵	۴۰.۸۴	۲۴.۹۶	۱.۱۵	۰.۴۵	۰.۸۷	۰.۲۳	۱۳.۸۰	۲۹	۴۱.۱۱
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۳۲.۸۴	۳۵.۹۱	۶۸.۷۷	۴۷.۸۶	۲۴.۴۷	۳.۱۳	۰.۲۲	۰.۱۹	۰.۳۰	۹.۷۲	۲۳.۲۵	۴۷.۷۹
RCP ۲,۶	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۳۱.۱۰	۳۳.۸	۶۱.۲۳	۴۷.۰۷	۲۳.۳۴	۲.۶۵	۰.۱۷	۰.۱۷	۰.۳۰	۸.۷۰	۲۰.۹۲	۴۵.۲۸
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۳۰.۷۳	۳۴.۸۷	۶۹.۹۳	۵۶.۲۷	۲۹.۹۳	۳.۳۲	۰.۱۹	۰.۱۸	۰.۳۳	۱۰.۴۶	۲۴.۷۱	۴۶.۷۷
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۳۴.۳۰	۳۵.۰۵	۵۶.۶۷	۴۱.۳۱	۲۴.۰۳	۲.۹۲	۰.۱۷	۰.۱۷	۰.۳۰	۹.۲۲	۲۲.۲۷	۴۸.۶۵
RCP۴,۵	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۴۰.۰۱	۴۱.۷۹	۶۵.۷۵	۴۸.۷۶	۲۵.۲۴	۲.۹۰	۰.۱۷	۰.۱۶	۰.۳۰	۹.۸۰	۲۴.۴۴	۵۵.۱۹
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۳۳.۴۳	۳۷.۷۱	۶۸.۱۳	۵۳.۳۹	۲۷.۲۸	۲.۶۱	۰.۱۳	۰.۱۳	۰.۲۴	۹.۴۶	۲۴.۲۲	۴۸.۵۱
	۲۰۲۱-۲۰۴۰	۲۶.۹۵	۲۸.۶۰	۵۲.۴۰	۴۴.۵۰	۲۵.۳۸	۳.۲۲	۰.۲۳	۰.۲۰	۰.۳۰	۹.۰۱	۲۰.۹۷	۴۰.۶۳
RCP ۸,۵	۲۰۴۱-۲۰۶۰	۳۲.۹۴	۳۵.۸۲	۶۲.۲۶	۴۸.۱۹	۲۴.۰۲	۲.۷۱	۰.۱۵	۰.۱۳	۰.۲۴	۸.۵۳	۲۱.۳۴	۴۵.۷۹
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	۳۱.۶۸	۳۶.۷۵	۶۳.۵۵	۴۷.۱۰	۲۳.۷۵	۲.۸۷	۰.۱۶	۰.۱۳	۰.۲۱	۸.۰۲	۱۹.۸۶	۴۲.۷۲

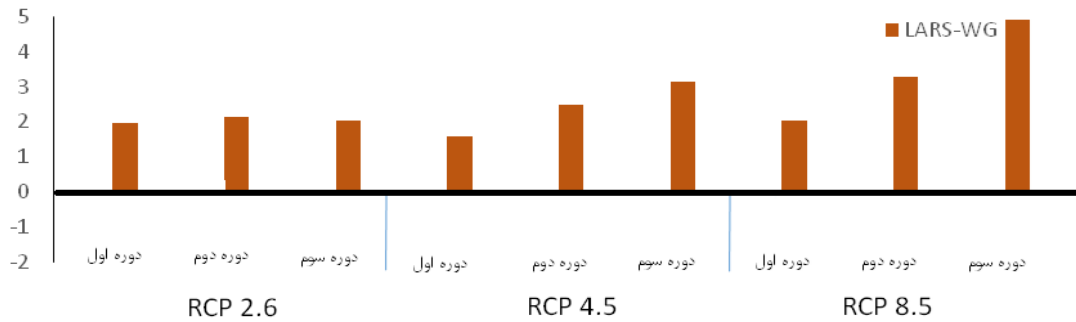
که ادامه اثر گرم شدن کره زمین منجر به کاهش بارندگی خواهد شد، هماهنگ است. تغییرات دمای حداقل سالانه در دوره‌ها و تحت سناریوهای RCP در شکل (۲) ارائه شده است. بر اساس نتایج مدل LARS-WG در هر سه سناریو و هر سه دوره، افزایش دمای حداقل را پیش‌بینی کرده است. در مورد دمای حداکثر سالانه (شکل ۳) نتایج مدل LARS-WG در هر سه سناریو و هر سه دوره نسبت به دوره پایه افزایش داشته است.

مقایسه متغیرهای پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در مقیاس سالانه

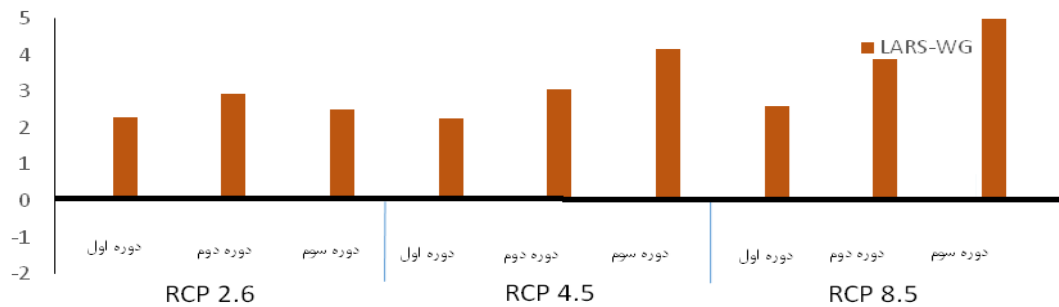
شکل (۱) درصد تغییرات میانگین سالانه بارش را تحت سناریوهای RCP۲,۶، RCP۴,۵ و RCP۸,۵ در سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (دوره اول)، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ (دوره دوم) و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ (دوره سوم) نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدل تحت سناریوی RCP۸,۵ مدل LARS-WG در هر سه دوره کاهش بارش را نشان می‌دهد که این نتیجه با این فرض



شکل ۱- درصد تغییرات میانگین سالانه بارش نسبت به دوره پایه



شکل ۲- تغییرات میانگین دمای حداقل نسبت به دوره پایه.



شکل ۳- تغییرات میانگین دمای حداکثر نسبت به دوره پایه.

دوره مورد مطالعه در این پژوهش در سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (دوره اول)، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ (دوره دوم) و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ (دوره سوم) بود. نتایج مدل-سازی در هر سه دوره کاهش بارش را نشان می‌دهد که این نتیجه با این فرض که ادامه اثر گرم شدن کره زمین منجر به کاهش بارندگی خواهد شد، هماهنگ است. تغییرات درجه حرارت حداقل و حداکثر نشان داد که در بیشتر مواقع افزایش دمای حداقل و حداکثر در آینده رخ خواهد داد. مقدار افزایش دمای حداکثر نسبت به دمای حداقل بیشتر بود به گونه‌ای که بیشترین افزایش دما در ماه فوریه به میزان ۱/۸۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه رخ می‌دهد. بررسی تغییرات میزان بارندگی نیز نشان داد که کمترین مقدار بارندگی دوره آبی را در ماه ژوئن به میزان ۰/۷ میلی متر مشاهده می‌شود. کاهش بارندگی از یک طرف و افزایش دما از طرف دیگر، می‌تواند گویای این مطلب باشد که افزایش تبخیر و تعرق و کاهش پوشش برف می‌تواند بیابان آبی را به سمت خشکی و کاهش ذخایر آبی پیش ببرد.

همان‌طور که مشخص است دمای حداقل و دمای حداکثر شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG تحت هر سه سناریو افزایش می‌یابد تا به بیشترین مقدار در سناریو RCP۸٫۵ برسد که نشان‌دهنده تأثیر شدت غلظت انتشار دی اکسید کربن در جو و همچنین سایر گازهای گلخانه‌ای است. نتایج کلی مطالعات نشان داد که در مطالعات اثرات تغییرات اقلیم بر اساس تنها یک روش کاهش مقیاس باید جوانب احتیاط را در تفسیر نتایج رعایت نمود که این موافق با یافته‌های Chen و همکاران (۲۰۱۱) و Sarr و همکاران (۲۰۱۵) است. از این رو در مطالعات تغییر اقلیم هر نتیجه مختص همان منطقه بوده و ممکن است روش ریزمقیاس‌نمایی پیشنهادی مناسب حوضه‌ای دیگر نباشد چنانچه Goudarzi و همکاران (۲۰۱۵) روش ریزمقیاس‌نمایی CF را مناسب ندانسته‌اند.

نتیجه‌گیری

منابع

Abolghasemi, M. (۲۰۲۰). Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model (Case Study: Shiraz Station). *Environment and Water Engineering*, ۶(۱), ۶۹-۸۲. (In Persian).

Ahmed, K., Sachindra, D.A., Shahid, Sh., Demiral, M.C. & Chung, E.S. (۲۰۱۹). Selection of multi-model ensemble of general circulation models for the simulation of precipitation and maximum and minimum temperature based on spatial assessment metrics, *Hydrology and Earth System Sciences*, ۲۳, ۴۸۰۳-۴۸۲۴.

- Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M., Adab, H. & Malbisei, Sh. (۲۰۱۰). Climate Change Assessment over Iran During ۲۰۱۰-۲۰۳۹ by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model, Geography and Development, ۷(۱۶), ۱۳۵-۱۵۲. (In Persian).
- Chen, J., Brissette, F. P., Leconte, R. ۲۰۱۱. Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology. Journal of Hydrology. Volume ۴۰۱, Issues ۳-۴, ۳ May ۲۰۱۱, Pages ۱۹۰-۲۰۲.
- Chisanga, Ch.B., Phiri, E. & Chinene, V.R.N. (۲۰۱۷). Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature Using Long Ashton Research Station Weather Generator in Zambia: A Case of Mount Makulu Agriculture Research Station. American J of Climate Change, ۲۰۱۷, ۶, ۴۸۷-۵۱۲.
- Darvand, S., Eskandari Dameneh, H., Eskandari Damaneh, H. & Khosravi, H. (۲۰۲۱). Prediction of the change trend of temperature and rainfall in the future period and its impact on desertification. Water and Soil Management and Modeling, ۱(۱), ۵۳-۶۶.
- Farhadi Bansouleh, B., Asadi, A. & Hafezparast Mavadat, M. (۲۰۱۷). Changes in potential evapotranspiration of maize and barley under climate change situation in Kermanshah Province. Journal of Water and Soil Conservation, ۲۴(۳), ۱۸۵-۲۰۲. (In Persian).
- Fraj Zadeh, M. & Ghasemifar, A. (۲۰۱۹). Climate Change and its Impacts. Entekhab Pub. (In Persian).
- Fraj Zadeh, M., Madani Larijani, K., Massah Bavani, A. & Davtalab, R. (۲۰۱۴). Climate change effects on reliability of water delivery in downstream of Karkheh river basin and its adaptation strategies. Water and Soil Resources Conservation, ۲(۳), ۴۹-۶۳. (In Persian).
- Ghafouri, M.R. (۲۰۰۹). Assessment of fuzzy and conceptual methods in river runoff modeling. M.S. Thesis. Faculty of Earth Science, Shahroud University. (In Persian).
- Goodarzi, E., Dastorani, M. T., Massah Bavani, A. L., Talebi, A. ۲۰۱۵. Evaluation of the Change-Factor and LARSWG Methods of Downscaling for Simulation of Climatic Variables in the Future (Case study: Herat Azam Watershed, Yazd - Iran). EcoPersia Journal, ۳(۱). ۸۳۳-۸۴۶ p.
- Goudarzi, M., Khosravian, M. & Hejazi, S.A. (۲۰۱۵). Prediction of Climatic Parameters Using LARS-WG Model in Qare-su. Geographic Space, ۵۱, ۲۶۳-۲۷۹. (In Persian).
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y. & Melville, B.W. (۲۰۱۱). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, ۲۵: ۴۷۵-۴۸۴.
- Heshmati, S. & Ramezani Etedali, H. (۲۰۲۱). Drought Forecasting for Future Periods Using LARS-WG Model: The Case Study of Kermanshah City. Town and Country Planning, ۱۳(۲), ۶۴۷-۶۶۹. (In Persian).
- Ildoromi A, Nouri H. & Karami M. (۲۰۱۶). The Study of Drought and Climate Change in Period Future by Using General Circulation Atmosphere Model Case study: Gorgan roud - Ghrasou - IRAN. Arid Regions Geographic Studies ۲۰۱۶; ۷(۲۶), ۱۲۴-۱۱۱. (In Persian).
- IPCC, (۲۰۰۷). Climate Change ۲۰۰۷: Synthesis Report. Geneva: IPCC. ISBN ۲-۹۱۶۹-۱۲۲-۴.
- IPCC, (۲۰۱۴). Climate Change ۲۰۱۴: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, ۱۵۱ pp.
- Jahangir, M. H., Jahanpanah, M & Panahi, A. & Khorramabadi, F. (۲۰۱۹). Evaluation of CSIRO and LARS WG data accuracy in simulation of climatic variables of East Azerbaijan province. Climate Changes and Climate Disasters, ۱۵(۲), ۱۳۹-۱۶۳. (In Persian).

- Kounani, Z., Ildoromi, A., zenivand, H. & Nouri, H. (۲۰۲۱). Impact of climate change on runoff of Silakhor-Rahimabad Basin in Lorestan, Hydrogeomorphology, ۷(۲۵), ۱-۱۷. (In Persian).
- Mirgol, B., Nazari, M., Ramezani Etedali, H. & Zamanian, K. (۲۰۲۱). Past and future drought trends, duration, and frequency in the semi-arid Urmia Lake Basin under a changing climate. Meteorological Applications, ۲۸(۴), ۱-۱۹.
- Morid, S. and Massah Bavani, A.R. (۲۰۱۰). Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh Rud irrigation system, Iran. J. Irrig. Drain. ASCE. ۵۹: ۲۲۶-۲۳۸.
- N.Salehnia, N., Alizadeh, A. and Sayari, N. ۲۰۱۴. Comparison Of Two Downscaling Methods (LARS-WG and ASD) In Predicting. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. No. ۲, Vol. ۸, May – June. ۲۰۱۴, p. ۲۳۳-۲۴۵.
- National strategic plan on climate change, (۲۰۱۷). Human Environmental Assistance, Environmental Protection Organization, Hack Pub. (In Persian).
- Qian, B., Gameda, S., Hayhoe, H., Jong, R.D. & Bootsma., A. (۲۰۰۴). Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates. Climate Research, ۲۶: ۱۷۵-۱۹۱.
- Sarr, M.A., Seidoub, O., Tramblayc, Y., El Adlounid, S. ۲۰۱۵. Comparison of downscaling methods for mean and extreme precipitation in Senegal. Journal of Hydrology: Regional Studies ۴ (۲۰۱۵) ۳۶۹-۳۸۵.
- Zohrevandi, H, Khorshid Dost, A. M. & Sari Saraf, B. (۲۰۲۰). Prediction of Climate Change in Western of Iran using Downscaling of HadCM۳ Model under Different Scenarios. J. Spatial Analysis Environmental Hazards, ۷ (۱). ۴۹-۶۴. (In Persian).

Assessing the impact of climate change on temperature and precipitation parameters in Arak region

Amir Moradinejad^۱ ; Saeed Khosrobigi^۲

^۱Assist. Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Arak, Agricultural Research Education & Extension Organization (AREEO). Arak, Iran.

^۲Doctor of watershed management and head of the technical and engineering department of the General Directorate of Natural Resources of Markazi Province.

Abstract

Introduction: Environmental problems in the world are a manifestation of unsustainable and inconsistent development with the capacities of the earth. Climate change is among all the problems, due to the global impact on the scale of the earth and effects such as floods, storms, unusual rain showers, increasing intensity, duration and volume of droughts, heat waves, melting of polar ice, rising sea water levels and going under water, loss of coastal lands, increase in minimum and maximum temperature in most areas, increase in evaporation and transpiration and water requirement of crops and Baghi, more evaporation of surface water and reduction of available fresh water sources, reduction of precipitation, increase of erosion and dust storms have attracted the attention of countries more than before. Iran, as one of the countries influencing the increase of greenhouse gases, is trying to increase adaptation and reduce the risk of climate change risks in order to manage surface and underground water resources, agriculture and improve the level of food security, natural resources and biodiversity (biological resources) and health of the country. In this regard, it is necessary to establish the governance of climate change in the policies and executive measures of the country at different national, regional, provincial and local levels in such a way that adaptation to it is implemented as a part of the country's daily life and development environment and as a result of increasing the level of environmental resilience, social, economic and cultural, all classes will benefit from its results. Climate change is one of the important factors that will affect different parts of human life on the planet and will have harmful effects on environmental, economic, social and especially water resources. For a long time, the change in meteorological characteristics of different regions of the world has been proven for researchers. The reduction of precipitation, reduction of surface currents and changes in the production and performance of agricultural products can be felt in many regions of the world. Our country is also facing many issues in this regard. Climate change has a significant impact on water resources and environment, which in turn is reflected in agriculture, society and economy. The increase in the concentration of greenhouse gases in the last few decades and the resulting increased temperature have led to significant changes in meteorological elements. Global warming, climate change and changes in temperature and precipitation parameters have now become one of the most important environmental challenges in the world. The reason for this is that these changes will cause droughts or severe, short and long term floods in the future. Therefore, one of the ways to reduce the effects of climate change is to evaluate its effects on rainfall and temperature in each region.

Methodology: In order to simulate the climatic data, at first, the observational data of Arak synoptic station including minimum temperature, maximum temperature, precipitation and daily sunshine hours in the statistical period of ۱۹۸۰-۲۰۰۵ were obtained from the country's meteorological organization. Also, CanESM^۲ global model data under RCP۲,۶, RCP۴,۵ and RCP۸,۵ scenarios along with observational data related to National Center for Environmental Variables Prediction (NCEP) were downloaded from this center's website. In order to scale the output data of CanESM^۲ and HadGEM^۲-ES models, LARS-WG model was used. LARS-WG model is also one of the statistical exponential microscale models. This model is one of the most famous meteorological data generation models, which is used to generate daily data of maximum and minimum temperature, precipitation and sunny hours in a station under current and future climate conditions (Alizadeh et al., ۲۰۱۳). In this research, the ۳rd version of this model was used to scale the output of the HadGEM^۲-ES model.

In the LARS-WG model, after receiving the daily observation data (minimum temperature, maximum temperature, precipitation and sunny hours), the statistical characteristics of the data were extracted. Then, in order to ensure the ability of the model, a series of artificial data was produced in the base period (۱۹۸۰-۲۰۰۵) and compared with the observational data. In order to calibrate and ensure the accuracy of LARS-WG model performance, simulated variables and real data were evaluated. The results show that the LARS-WG model has a good accuracy ($R^2=0.99$) in simulating the minimum and maximum temperature. Also, the accuracy of the model in simulating precipitation ($R^2=0.98$) is acceptable.

Conclusion: Based on the results of the model under the RCP^{۸.۵} scenario, the LARS-WG model shows a decrease in rainfall in all three periods, which is consistent with the assumption that the continuation of global warming will lead to a decrease in rainfall. Based on the results, LARS-WG model has predicted minimum temperature increase in all three scenarios and all three periods. Regarding the annual maximum temperature, the results of the LARS-WG model have increased in all three scenarios and all three periods compared to the base period. The minimum temperature and the maximum temperature simulated by the LARS-WG model increase under all three scenarios to reach the maximum value in the RCP^{۸.۵} scenario, which indicates the effect of the intensity of carbon dioxide emission concentration in the atmosphere as well as other It is a greenhouse gas. Also, the results showed that the most changes in the maximum temperature related to the RCP^{۸.۵} scenario (from ۲۳.۱۲ in the first period to ۲۶.۵۱ degrees Celsius in the third period), the most changes in the minimum temperature related to the RCP^{۸.۵} scenario (from ۸.۷۱ in the first period to ۶.۱۱ in the third period) and the most precipitation changes are related to the RCP^{۸.۵} scenario. The period studied in this research was ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (first period), ۲۰۴۱-۲۰۶۰ (second period) and ۲۰۶۱-۲۰۸۰ (third period). The modeling results show a decrease in rainfall in all three periods, which is consistent with the assumption that the continuation of global warming will lead to a decrease in rainfall. The minimum and maximum temperature changes showed that in most cases, the minimum and maximum temperature will increase in the future. The maximum temperature increase was more than the minimum temperature, so that the highest temperature increase occurs in the month of February by ۱.۸۹ degrees Celsius compared to the base period. Examining the changes in the amount of rainfall also showed that the lowest amount of rainfall in the coming period will be observed in the month of June in the amount of ۰.۷, ۰.۷ mm. A decrease in rainfall on the one hand and an increase in temperature on the other hand can indicate that the increase in evaporation and transpiration and the decrease in snow cover can move the water balance towards land and reduce water reserves.

Keywords: Arak, precipitation, temperature, climate change, LARS-WG model.