

## پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر بارش استان آذربایجان شرقی سئودا فخمی<sup>۱</sup>، بتول زینالی<sup>۲\*</sup>، برومند صلاحی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: zeynali.b@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۸

### چکیده

در این پژوهش به پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر بارش ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان شرقی شامل ایستگاه‌های اهر، مراغه، میانه، جلفا، سراب و تبریز که دارای داده‌ی آمار مشترک ۲۹ ساله از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ بودند، با استفاده از مدل LARS-WG<sup>۱</sup> مورد مطالعه قرار گرفتند. در این تحقیق کارایی مدل LARW-WG برای تولید و شبیه‌سازی داده‌های روزانه دما، بارش و ساعت آفتابی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای آماری MAE، RMSE و R<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از مدل وجود ندارد و مدل کارایی لازم جهت تولید داده‌های روزانه داراست لذا پس از اطمینان از توانایی مدل، با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadGEM<sup>۲</sup> تحت سناریوهای RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در دو دوره آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ به پیش‌بینی تغییرات بارش منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. نتایج پیش‌بینی تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه استان آذربایجان شرقی در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نشان داد که براساس RCP ۲,۶، در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه طی ۲۰ سال آینده بارش افزایش یافته اما طبق RCP 4.5 و RCP 8.5 فقط در ایستگاه جلفا شاهد افزایش بارش خواهیم بود و در بقیه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه بارش به میزان قابل توجهی کاهش خواهد یافت.

### کلمات کلیدی

"تغییرات اقلیمی"، "مدل HadGEM<sup>۲</sup>"، "سناریوهای RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵"، "استان آذربایجان شرقی"

### ۱- مقدمه

تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین نگرانی‌های قرن حاضر و آینده است. آثار خطرناک تغییرات اقلیمی بر حیات بشر، تقریباً تمامی جوانب زندگی را در بر خواهد گرفت. خشکسالی، بالا آمدن سطح آب دریاها، طوفان‌های سهمگین، کاهش منابع آب شیرین، گرم شدن هوا، آتش‌سوزی جنگل‌ها و بیابان‌زایی از جمله این آثار هستند (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مشکلات اکولوژیکی قرن ۲۱ است. با توجه به گزارش پنجم هیئت بین‌دول تغییرات آب و هوایی، این تغییرات جهانی به احتمال بسیار زیاد ناشی از عوامل انسانی است. بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. پیش‌بینی کمیت و کیفیت تحولات اقلیمی یکی از مسائل پیچیده‌ای است که ذهن اقلیم‌شناسان را به خود مشغول کرده است. اکنون به مدد دستیابی به فن‌آوری‌های نوین و در اختیار داشتن سری‌های متعدد داده‌های لازم از متغیرهای اقلیمی و به یاری دانش درک روابط بین این متغیرها، گام‌های اساسی در درک و پیش‌بینی روندهای اقلیمی پدیدار شده است، به نحوی که اکنون مدل‌های کامپیوتری همگی در حیطه توانایی خود به مسائل پیش‌بینی اقلیم و عوامل مؤثر بر تغییر

اقلیم پاسخ می‌دهند (داروند و همکاران، ۱۴۰۰). در حال حاضر، قابل‌اعتمادترین و توسعه‌یافته‌ترین ابزار برای بررسی تغییرات آب‌وهوا و تأثیرات آن، مدل گردش عمومی سه‌بعدی اقیانوس-اتمسفر (AOGCM)<sup>۱</sup> است. مدل AOGCM بر اساس قوانین فیزیکی است. این روابط در یک شبکه سه‌بعدی در سراسر جهان حل می‌شود. مدل‌های ارائه‌شده پارامترهای آب و هوایی را در آینده (تا سال ۲۰۹۹) برای دوره‌های مختلف انتشار نشان می‌دهد. با استفاده از این روش‌ها با متغیرهای مختلف اقلیمی، می‌توان اثرات تغییر اقلیم بر تغییرپذیری و سازگاری گیاهان را بررسی کرد (دلقدنی، ۱۳۹۵). این پژوهش درصدد آن است تا اثرات تغییرات اقلیمی بر بارش استان آذربایجان شرقی را با استفاده از مدل LARS-WG بررسی نماید تا با برآورد میزان این تغییرات بتوان گام مهمی در برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای برداشت تغییرات اقلیمی طی سالیان اخیر به چالشی مهم برای دنیا تبدیل شده است. با توجه به ارزیابی گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۱</sup> (IPCC)، میانگین سالانه دمای جهانی در دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۸۸۰ به میزان ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. افزایش دمای کره زمین به‌طور مستقیم باعث تغییر در فراوانی رخدادهایی نظیر خشکسالی، سیل و طوفان خواهد شد و لذا مدیریت صحیح و کارآمد منابع آب

<sup>۱</sup> Atmosphere- Ocean General Circulation Model

به‌ویژه در نواحی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که بیش‌تر تحت تأثیر این پدیده هستند، الزامی است (روشنی و حمیدی، ۱۴۰۰) تغییر اقلیم به پدیده‌های اطلاق می‌شود که سبب تغییر دما، بارش و یا فراسنج‌های دیگر جوی می‌شود، به طوری که اقلیم و سیستم‌های آب و هوایی تغییر کند. مدل‌های گردش عمومی ابزاری جهت شبیه‌سازی رفتار سیستم اقلیمی در زمان و مکان هستند که هدف نهایی آن‌ها شناخت فرآیندهای اصلی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی موجود در اقلیم است. با شناخت سیستم اقلیمی امکان دستیابی به تصویر واضحی از اقلیم گذشته از طریق مقایسه با مشاهدات تجربی و پیش‌بینی اقلیم آینده فراهم خواهد شد. همچنین می‌توان از این مدل‌ها جهت شبیه‌سازی اقلیم در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی نیز استفاده کرد. طی سال‌های اخیر رژیم بارشی و دمایی کشور ایران تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است و این تغییرات باعث مشکلات عدیده‌ای در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی، صنعتی، اقتصادی، بهداشتی، فرهنگی و... شده است که این مسأله مهم و ضروری بودن بررسی و پیش‌بینی تغییر اقلیم را آشکار می‌سازد (محمدی همکاران، ۱۴۰۰). امروزه یکی از دغدغه‌های اساسی اقلیم‌شناسان، اندیشمندان و پژوهشگران در زمینه‌ی این تغییرپذیری‌ها به یک علم جوی تبدیل شده است. هدف اصلی از به کار بردن این‌گونه مدل‌ها، محاسبه شاخص‌های سه‌بعدی اقلیمی در شبکه‌های مشخص شده می‌باشد. در یک نگاه کلی، مدل‌های اقلیمی بر اساس ساختار و نوع عملکرد به مدل‌های توازن انرژی، مدل‌های تابشی همرفتی، مدل‌های دوبعدی آماری-دینامیکی و مدل‌های گردش عمومی جوی قابل تقسیم‌بندی هستند. همچنین از مدل‌های گردش عمومی جوی، در مقیاس‌های کوچک‌تر قابلیت استفاده را ندارند؛ به همین دلیل است که به ریزمقیاس نمایی نیازمند داریم (نصیری و یارمرادی، ۱۳۹۵). با توجه به اثرات وسیع تغییر اقلیم بر زندگی انسان و مسائل اقتصادی-اجتماعی، اطلاع از چگونگی بروز چنین تغییراتی در برنامه ریزی‌های محیطی بسیار مؤثر خواهد بود. لذا در این پژوهش به بررسی تغییرات بارش، به عنوان عنصر اصلی تشکیل دهنده ساختار اقلیم، در دوره آماری و پیش‌بینی این تغییرات در استان آذربایجان شرقی (منطقه مورد مطالعه) با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی LARS-WG پرداخته شد. اقلیم یک عامل مهم زیست محیطی است که تغییرات آن مهمترین تهدید برای توسعه پایدار است. تغییرات اقلیمی که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی است، در دهه‌های اخیر منجر به تغییر در بخش‌های مختلف اکوسیستم شده است. بنابراین مطالعه روند تغییرات متغیرهای جوی مانند دما و بارش بسیار مهم است تا اثر

تغییرات آب و هوا بر منابع مختلف در دوره‌های آینده مشخص شود. پدیده تغییر اقلیم و ارتباط تغییرات جهانی با تغییرات منطقه‌ای و محلی متغیرهای دما، بارش، رطوبت و ابرناکی که طیف وسیع‌تری از پدیده تغییر اقلیم را پوشش می‌دهند و همچنین با توجه به متفاوت بودن روند تغییر اقلیم در نقاط مختلف جهان، بررسی روند درازمدت مهم‌ترین پارامترهای اقلیم یعنی دما و بارندگی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۷) از انقلاب صنعتی و به تبع آن پیشرفت تکنولوژی، انسان توانایی بهره‌برداری بیشتری به دست آورد و در رابطه خود با محیط دچار عدم تعادل شد. لذا استفاده از سوخت‌های فسیلی، افزایش وسایل نقلیه و غیره باعث انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای گردید. از طرف دیگر تخریب جنگل‌ها و منابع طبیعی توان محیط را در پالایش گازهای گلخانه‌های جو پایین آورده است. پس انسان از دو جنبه متفاوت به تخریب کره خاکی پرداخته است. تغییرات دما موضوعی است که امروزه مطالعات بی‌شماری را به خود اختصاص داده است؛ و با توجه به اینکه افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو نه تنها باعث گرمایش جهانی می‌شود بلکه موجب افزایش تبخیر-تعرق گردیده که پیامد آن افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی، تنش رطوبتی و در نهایت کاهش امنیت غذایی می‌گردد (عسگری زاده، ۱۳۹۵) بیش از حد سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و افزایش جمعیت جهان و به تبع آن گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی برای تأمین نیازهای جمعیت کره زمین، موجب شد تا پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین بوجود آید که بارزترین آن افزایش دمای متوسط کره زمین، افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی نظیر سیل، توفان‌های حاره‌ای، امواج گرمایی و غیره می‌باشد (عیدی، ۱۳۹۴: ۵). بارش یکی از متغیرترین عناصر اقلیمی است که تغییرات آن می‌تواند تبعات منفی محیطی، اجتماعی، اقتصادی و حتی فرهنگی برای جوامع بشری داشته باشد. بنابراین آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم بر بارش در حوضه مورد مطالعه و بررسی شدت تغییرات اتفاقات رخ داده، از اهمیت بخصوصی در مطالعات تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه برخوردار است؛ و روند پیش رو و تحت تأثیر اقلیم در منطقه مورد مطالعه انگیزه اصلی نگارش این پژوهش بوده است.

## ۲- پیشینه پژوهش

چن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) میزان دما و بارش را برای منطقه سودان با هفت مدل گردش عمومی جو بر اساس سناریوی A۲ و با استفاده از مدل LARS-WG پیش‌بینی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد بین بیش‌ترین و کم‌ترین دمای همه مدل‌های گردش عمومی جو نوعی هماهنگی در کلیه ایستگاه‌ها وجود دارد؛ ولی درباره بارش بیان‌کننده یک عدم قطعیت زیاد در مدل گردش عمومی جو است.

<sup>۱</sup> Chen

۱۹۹۲-۲۰۱۲ می‌باشد در مطالعه فوق با استفاده از خروجی دو مدل اقلیمی  $Hadcm^3$  و  $BCM^2$  تحت سناریوهای  $A1B$  وقوع آغاز و پایان یخبندان‌های زودرس و دیررس و متوسط و شدید بررسی شده‌اند نتایج حاصل از پردازش مدل  $LARS-WG$  نشانگر گرم‌تر شدن این ایستگاه در سال‌های آینده می‌باشد و همچنین شروع یخبندان باگذشت زمان به سمت فروردین‌ماه میل می‌کند. جلودارلو (۱۳۹۷) به پیش بینی تغییرات کمی منابع آب دشت اردبیل تحت تاثیر تنش های اقلیمی مبتنی بر بارش با استفاده از مدل  $LARS-WG$  پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد بارش در فصل تابستان به شدت کاهش خواهد یافت. با این حال افزایش بارش در ماه‌های زمستان و دو ماهه اول سال مشاهده خواهد شد. همچنین بر اساس یافته‌های این پژوهش، تراز آب زیرزمینی در تمام ماه‌های سال در سه دوره آبی طبق هر سه سناریوی  $RCP$  نسبت به متوسط دوره پایه کاهش خواهد یافت. صبحی و همکاران (۱۳۹۸) جهت بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات اقلیمی منطقه سمیرم از روش نا پارامتریک آزمون من-کندال و همچنین مدل گردش عمومی جو  $HadCM^3$  و همچنین سناریوهای تغییر اقلیم  $A1B$ ،  $B1$  و  $A2$  استفاده کردند. نتایج حاصل از کار این محققین نشان داد که متغیرهای دمایی (دمای کمینه و بیشینه) برای ۶ ایستگاه در فصل‌های پاییز و زمستان روند افزایشی تعیین نمود. فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی با استفاده از مدل  $SDSM$  تحت سناریوهای مختلف در ایستگاه هواشناسی یزد پرداختند. نتایج به دست آمده حاکی از افزایش دما در تمام ماه‌ها و فصول سال و کاهش بارندگی در اکثر آن‌ها است که این مسئله مؤید این مطلب است که در منطقه مورد مطالعه، اقلیم در حال تغییر است. روشنی و حمیدی (۱۴۰۰) به پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش در ایستگاه ساری با استفاده از سه مدل  $NESM^3$ ،  $ACCESS-CM^2$  و  $HadGEM^3-GC^31-LL$  نتایج نشان داد که میانگین تغییرات دما از  $1/16$  تا  $4/09$  درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و میانگین مقدار بارش سالانه نیز حدود ۲۴ تا ۳۶ درصد افزایش می‌یابد. داروند و همکاران (۱۴۰۰) اثرات تغییر اقلیم بر بیابان زایی در شهرستان بافت استان کرمان با استفاده از مدل  $HadCM^3$ ، تحت سه سناریوی  $A1B$ ،  $A2$  و مورد بررسی قرار دادند. نامبردگان به این نتیجه رسیدند که، با افزایش دما و کاهش بارندگی، منطقه بیش تر به سمت خشک سالی می‌رود و زمینه برای بیابان زایی در آینده فراهم می‌شود. محمدی همکاران (۱۴۰۰) به پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیمی بر دما و بارش با استفاده از مدل  $HadCM^3$  در شهرستان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که طبق مدل شبیه‌سازی شده، بارش روند کاهشی و دما روند افزایشی را در منطقه مورد مطالعه خواهد داشت. عرب سلغار و همکاران (۱۴۰۱) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی با استفاده کردن از مدل‌های گردش عمومی جو با مدل‌های  $SDSM$  و  $LARS-WG$  در حوضه آبریز دز پرداختند. نتایج حاصل از پیش‌بینی نشان داد که در دوره‌های آبی میزان بارش در سطح حوضه بین  $6/3$  تا  $15/7$  درصد نسبت به دوره پایه تغییر خواهد

لوزپ<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به مقایسه دو روش ریزمقیاس‌نمایی آماری  $SDSM$  و  $LARS-WG$  پرداخت. در این تحقیق، دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۹۰ به عنوان دوره مبنای انتخاب شد و داده‌های سناریوی  $A2$  مدل  $HadCM^3$  برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ با استفاده از مدل‌های  $SDSM$  و  $LARS-WG$  کوچک مقیاس گردید. تحلیل‌های عدم قطعیت میانگین و واریانس دو مدل در تمام ماه‌های سال به داده‌های مشاهداتی خیلی نزدیک بود و شبیه‌سازی‌های هر دو مدل از داده‌های دمای حداقل و حداکثر به داده‌های مشاهداتی بسیار نزدیک بود اما عدم قطعیت واریانس‌ها نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی  $LARS-WG$  برای بارش کمی بهتر است. بیول<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی عملکرد محصول تحت شرایط تغییر اقلیم در شمال غربی اوهایو پرداختند. پارامترهای اقلیمی توسط سه مدل ترکیبی اصلاح شدهی  $MM^5I + RCM^3 + GFDL, CCRM + CGCM^3$  و  $HadCM^3$  تحت سناریوی - برای دوره آبی  $A2$   $4171$  پیش‌بینی شدند. نتایج نشان داد که در هر سه مدل خشکی فصل رشد به دلیل بالا رفتن دما و تابش‌های خورشید افزایش خواهد یافت. گولاچا و مولونگا<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) با ارزیابی دما و بارندگی حوضه آبریز تانزانیا با استفاده از  $GCM$  و ریزمقیاس‌نمایی آماری  $SDSM$  به این نتیجه رسیدند که میانگین حداکثر و حداقل دمای ماهانه یک روند افزایشی از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ دارد. آرسیسو<sup>۴</sup> و همکاران، (۲۰۱۸) به بررسی روند تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب آدیس آبابا با استفاده از سناریوهای  $RCP4.5$  و  $RCP8.5$  تحت مدل  $HadGEM^2-AO$  پرداختند و نتایج نشانگر افزایش بارندگی و دما با تغییرات شدید در بارندگی در فصل بارانی در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۲۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بودند که این امر حاکی از سطح دشواری در استفاده و مدیریت منابع آب و نیز برنامه‌ریزی و مدیریت اراضی می‌باشد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی  $LARS-WG$  و  $SDSM$  در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نامبردگان به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی دما نسبت به بارش دارند و در شبیه‌سازی ماهانه پارامترهای دما و بارش، مدل  $SDSM$  موفق تر عمل نموده و دارای عدم قطعیت کمتری است؛ و از سویی دیگر نیز دارای فرآیند شبیه‌سازی وقت گیر و پیچیده‌ای است. در حالی که مدل  $LARS-WG$  در شبیه‌سازی دوره‌ای بارش از کارایی بهتری برخوردار است و دارای سادگی و سرعت عملکرد بیشتری نسبت به مدل  $SDSM$  است. در مجموع بر اساس نتایج حاصل هیچ‌کدام از مدل‌ها برتری مطلق بر یکدیگر ندارند و علی‌رغم تفاوت‌هایی در شبیه‌سازی، می‌توانند در بررسی‌های تغییرات اقلیمی مفید واقع شوند. صلاحی و همکاران (۱۳۹۶) در پیش‌بینی تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان‌های سبک و سنگین استان کرمانشاه بر اساس برون‌دهای مدل اقلیمی  $Bcm^2$  و  $Hadcm^3$  با بهره‌گیری از ریز گردان  $LARS-WG$  داده‌های ورودی مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش درمقیاس روزانه طی دوره زمانی

<sup>۲</sup> Gulacha and Mulonga<sup>۳</sup> Arciso<sup>۱</sup> Lopez<sup>۲</sup> Biol

همچنین نتایج حاکی از آن بود که ایستگاه کوهدشت نسبت به دو ایستگاه دیگر کاهش بارش و افزایش دمای بیشتری خواهد داشت. همچنین شدیدترین تغییرات بین سه سناریو مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه و برای همه پارامترهای مورد بررسی بوده است.

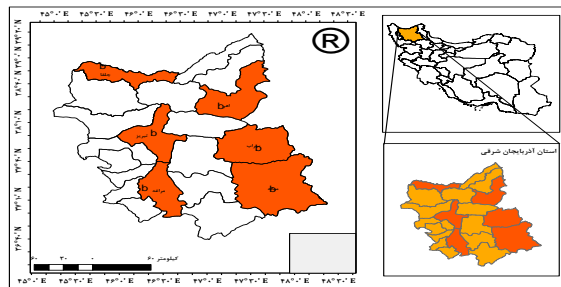
بود. بیشترین تغییرات کاهش و افزایش نیز به ترتیب مربوط به نواحی شرقی و جنوب غربی حوضه خواهد بود. حیدری (۱۴۰۱) به پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADGEM2 پرداخت. نانبرده به این نتیجه رسید که، شرایط اقلیمی استان لرستان در ۲۰ سال آتی تفاوت چشمگیری با شرایط کنونی آب و هوایی خواهد داشت.

### ۳- روش انجام تحقیق

#### • محدوده مورد مطالعه

ارمنستان و جمهوری خودمختار نخجوان همسایه است که مرز مشترک این استان با کشورهای فوق را رود ارس تشکیل می‌دهد، از طرف غرب و جنوب غربی با استان آذربایجان غربی همسایه است که بخش عمده‌ای از مرز مشترک را دریاچه ارومیه تشکیل می‌دهد، همچنین از جنوب شرق با استان زنجان و از شرق با استان اردبیل دارای مرز مشترک می‌باشد (بهشتی‌زاده، ۱۳۹۱)

استان آذربایجان شرقی (منطقه مورد مطالعه) در محدوده بین ۴۵ درجه و ۰۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این استان با مساحتی بالغ بر ۴۵۴۹۱ کیلومتر مربع حدود ۲/۸ درصد مساحت کل کشور را داراست و از لحاظ وسعت در بین استان‌های کل کشور در رتبه دهم قرار دارد. استان آذربایجان شرقی از شمال با کشورهای آذربایجان،



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

#### • مواد و روش تحقیق

توسط مدل LARS-WG نسبت به دوره پایه ۲۰۱۴-۱۹۸۵ در مقیاس ایستگاه‌های مورد مطالعه ریزگردانی شده و در راستای کاهش عدم قطعیت میانگین نمایه‌های محاسبه شده برای مدل فوق به دست آمده است. در پژوهش حاضر برای آن که به نتیجه‌های مناسبی و مطلوبی در مورد مطالعه تاثیرات سناریوهای تغییرات اقلیمی بر بارش استان آذربایجان شرقی دست‌یافت جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل‌های CMIP۵ در نرم‌افزار LARS-WG۶ که یکی از مشهورترین مهمترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است استفاده شده است. این مدل جهت تولید مقادیر، بارش دمای بیشینه، دمای کمینه و ساعت آفتابی در یک ایستگاه، در خصوص شرایط اقلیم پایه و همچنین آینده بکار رفته است. به همین دلیل با مطالعه‌ای که بر روی ایستگاه‌های گوناگون منطقه مورد مطالعه انجام شده است. داده‌های دمایی و بارش روزانه ۶ ایستگاه استان آذربایجان شرقی شامل ایستگاه‌های، جلفا، اهر، سراب، تبریز، میانه و مراغه جهت ریزمقیاس‌نمایی و همچنین پیش‌بینی دما و بارش در طول سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفتند. سپس در

روش پژوهش در این مطالعه متکی بر مدل LARS WG است. بعد از مرتب‌سازی، پردازش و داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، در نهایت مدل مورد مطالعه در تحقیق حاضر برای دوره پایه اجرا شد. در مرحله بعدی نیز با استفاده از میانگین خطای مطلق (MAE)، آماره ضریب تعیین ( $R^2$ )، و همین‌طور جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) اقدام به ارزیابی داده‌های تولیدشده از این مدل و داده‌های واقعی موجود در دوره پایه گردید. پس از بررسی نتایج مرحله اطمینان و ارزیابی از قابلیت مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با در نظر قرار دادن مقادیر پایین شاخص‌های خطا سنجی و مقادیر بالای ضریب تعیین محاسبه شده، در این پژوهش از نسخه جدید LARS WG۶ استفاده می‌شود. داده‌های مورد نیاز شامل حداقل دما، حداکثر دما، بارش و ساعت آفتابی از ایستگاه سینوپتیک استان آذربایجان شرقی جمع‌آوری و به‌عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل گردش عمومی جو CMIP۵، مربوط به دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ است که تحت سناریوهای RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵

هواشناس کشور اخذ گردید. جدول (۱) ویژگی‌های ایستگاه‌های موردبررسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تحقیق حاضر برای اجرای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۲۹ ساله ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۳ (۲۰۱۴-۱۹۸۵) به عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز شامل بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر و ساعت آفتابی از سازمان

جدول ۱- ویژگی ایستگاه‌های تحت بررسی منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	طول (درجه-دقیقه)	عرض (درجه-دقیقه)	ارتفاع (متر)
اهر	۰۴ ° ۴۷	۲۶ ° ۳۸	۱۳۹۵/۵
جلفا	۰۴ ° ۴۵	۴۵ ° ۳۸	۷۳۶/۲
تبریز	۰۵ ° ۳۸	۱۷ ° ۴۶	۱۳۶۱
میانه	۰۵ ° ۳۸	۱۷ ° ۴۶	۱۱۱۰
سراب	۰۲۷ ° ۳۷	۴۲ ° ۴۶	۱۶۸۲
مراغه	۰۲۴ ° ۳۷	۱۶ ° ۴۶	۱۴۷۷/۷

می‌گیرد (شایگان‌فر، ۱۳۹۳). (۱۰۱). در مدل لارس ابتدا باید پارامترهای بارش، دمای حداقل و حداکثر و تابش را به صورت روزانه در دوره‌ی آماری حداقل ۲۰ تا ۳۰ سال از ایستگاه هواشناسی اخذ کرد، سپس باید داده‌ها را به صورت ژولوسی (JDAY) از ۳۶۵ یا ۳۶۶ روز درآورد. در صورتی که داده گمشده وجود داشته باشد باید عدد ۹۹- را وارد کنیم، خود مدل این عدد را شناسایی و تحلیل می‌کند. اگر تابش آفتاب در یک ایستگاهی موجود نباشد می‌توان از ساعات آفتابی استفاده کرد که مولد هوا به طور خودکار ساعات آفتابی را با استفاده از الگوریتم خاص به تابش خورشیدی تبدیل می‌کند.

۴.۵ در ماه مارس، آوریل و اکتبر و طبق سناریوی RCP ۸.۵ مارس، می، سپتامبر، اکتبر و نوامبر کاهش و در بقیه ماه‌های سال برای هر سه سناریو بارش روند افزایشی خواهد داشت. با توجه به تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه اهر جدول ۲، افزایش بارش به ترتیب طبق سناریوی RCP ۲.۶، RCP ۴.۵، RCP ۸.۵ و RCP ۱۶/۱۲، افزایش بارش بیشتر ۱۲/۷۶ میلی‌متر می‌باشد. سناریوی RCP ۴.۵، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۲.۶، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

#### • مدل LARS

همان طور که گفتیم مدل لارس یکی از مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد و در انجام این تحقیق از مدل HADM<sup>۳</sup> یکی از معروف-ترین مدل‌های لارس در تولید داده‌های تصادفی هواشناسی استفاده کرده ایم. در این مدل برای تولید مقادیر روزانه حداقل دما، حداکثر دما بارش و ساعت آفتابی در یک ایستگاه به کار می‌رود و هم قادر به بازسازی گذشته و پیش‌بینی اقلیم آینده نیز می‌باشد. تولید داده‌ها در مدل LARS-W را طی سه مرحله اصلی که شامل کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دهه‌های آینده صورت

#### ۴- نتایج

#### • پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه اهر برای افق

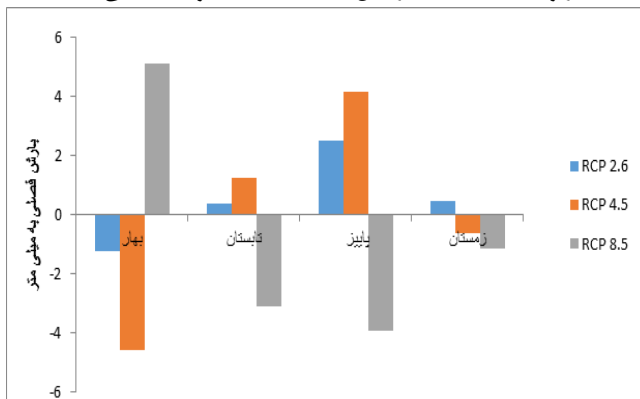
۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با مدل HadGEM<sup>۲</sup>

جدول ۲ و شکل ۲، مقادیر میانگین ماهانه و سالیانه متغیر بارش برای دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) نسبت به افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ و شکل ۲ می‌توان دریافت که بر اساس برآورد مدل، بارش بر اساس سناریوی RCP ۲.۶ در ماه‌های مارس، آوریل، آگوست، سپتامبر و اکتبر؛ بر اساس سناریوی RCP

جدول ۲- بارش شبیه‌سازی شده در دوره آبی و اختلاف آن با دوره پایه در ایستگاه اهر با مدل HadGEM2

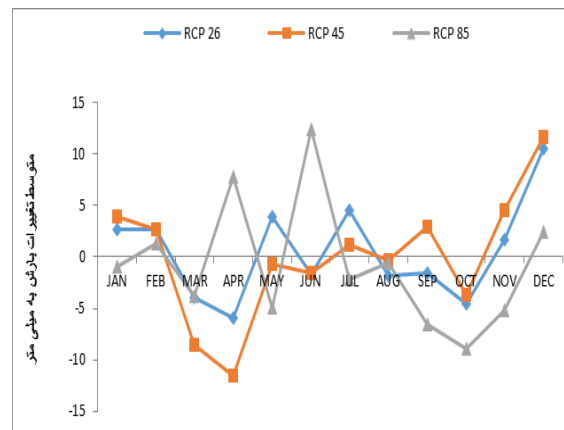
پارامتر	سناریو	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	میانگین سالانه
بارش	دوره پایه	۱۷/۰۲	۱۸/۹۱	۳۲/۷۴	۴۳/۲۲	۴۹/۳۸	۲۴/۰۵	۸/۲۲	۵/۸۸	۱۲/۲۹	۲۷/۴۸	۲۷/۵۸	۲۰/۳۲	۲۳/۹۳
	RCP ۲,۶	۱۹/۶۵۵	۲۱/۵۵	۲۸/۸۰۵	۳۷/۴	۵۳/۳۵۵	۲۲/۳۲۵	۱۲/۸۱	۴/۰۹	۱۰/۶۷	۲۲/۸۷۵	۲۹/۲۹۵	۳۰/۸	۲۴/۴۷
	RCP ۴,۵	۲۰/۹۷۵	۲۱/۶۴۵	۲۴/۲۲	۳۱/۸۲۵	۴۸/۶۳	۲۲/۴۹	۹/۳۶۵	۵/۵۵	۱۵/۲۶۵	۲۳/۸۲	۳۲/۰۹۵	۳۱/۹۳۵	۲۳/۹۸
	RCP ۸,۵	۱۶/۰۵	۲۰/۲۵	۲۸/۹۳	۵۱/۱۵	۴۴/۴۷	۳۶/۵	۶/۰۴	۵/۲۵	۵/۷۴	۱۸/۴۹	۲۲/۳۶	۲۲/۷۲	۲۳/۱۶
تغییرات	RCP ۲,۶	۲/۶۳	۲/۶۴	-۳/۹۴	-۵/۹۲	۳/۹۷	-۱/۷۳	۴/۵۹	-۱/۷۹	-۱/۶۲	-۴/۶۱	۱/۷۲	۱۰/۴۸	-۰/۵۴
	RCP ۴,۵	۳/۹۵	۲/۷۴	-۸/۵۲	-۱۱/۵	-۰/۷۵	-۱/۵۶	۱/۱۵	-۰/۳۳	۲/۹۸	-۲/۶۶	۴/۵۲	۱۱/۶۲	۱۶/۱۲
	RCP ۸,۵	-۰/۹۸	۱/۳۴	-۳/۸۱	۷/۸۳	-۴/۹۱	۱۲/۴۵	-۲/۱۸	-۰/۶۳	-۶/۵۵	-۸/۹۹	-۵/۲۲	۲/۴	۱۲/۷۶

شکل ۴، نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه اهر را در دوره آبی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ توسط مدل HadGEM2 با هر سه سناریو را نشان می‌دهد که بیانگر وجود چندین نقطه حوضی طبق سناریوهای RCP ۲,۶، RCP ۴,۵، RCP ۸,۵ در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۷، ۲۰۳۱، ۲۰۳۴ و ۲۰۳۹ و طبق سناریوی RCP ۸,۵ در سال‌های ۲۰۲۷، ۲۰۳۴ و ۲۰۴۰ می‌باشد. همچنین نقاط فراز بر اساس سناریوهای RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ در سال‌های ۲۰۲۶، ۲۰۳۳، ۲۰۳۸ و ۲۰۴۰ طبق و سناریوی RCP ۸,۵ در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۳۱ و ۲۰۳۶ می‌باشد.



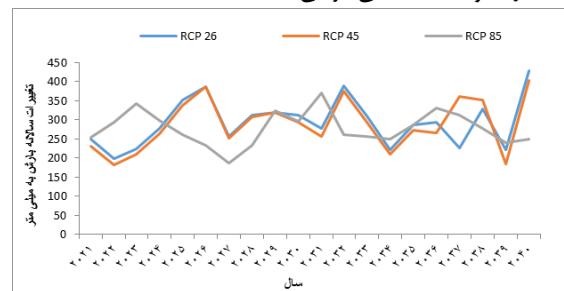
شکل ۳- میانگین سالانه بارش ایستگاه اهر بر اساس خروجی مدل HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

• پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه جلفا برای افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با مدل HadGEM2  
جدول ۳ و شکل ۵، مقادیر میانگین ماهانه و سالیانه پارامتر بارش برای دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) نسبت به افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳ و شکل ۵ می‌توان دریافت که، بارش براساس سناریوی RCP ۲,۶ در ماه‌های مارس، می و سپتامبر؛ بر اساس سناریوی RCP ۴,۵ در ماه آوریل، می و سپتامبر و طبق



شکل ۲- میانگین ماهانه بارش ایستگاه اهر بر اساس خروجی مدل HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه اهر شکل ۳، طبق RCP ۲,۶ و RCP ۴,۵ به جز کاهش بارش فصل بهار تقریباً در بقیه ماه‌ها شاهد افزایش بارش خواهیم بود. طبق سناریوی RCP ۸,۵ به جز افزایش بارش در فصل بهار در بقیه فصل‌های بارش به طور تقریبی کاهش خواهد داشت. بیشترین میزان افزایش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ می‌باشد با ۵/۱۲ میلی‌متر، که افزایش بارش بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد. بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۴/۶۰ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۴- پیش‌بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه اهر در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل HadGEM2.

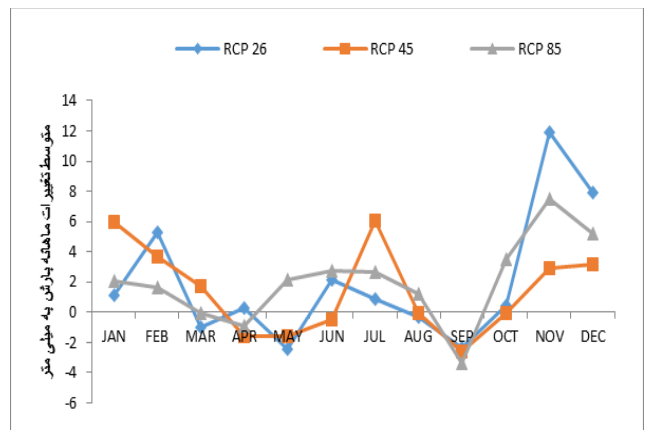
سناریوی RCP ۸,۵ ۲/۰۲ میلی متر می باشد. سناریوی RCP ۸,۵، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۴,۵، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می دهد.

سناریوی RCP ۸,۵ آوریل و سپتامبر کاهش و در بقیه ماه های سال برای هر سه سناریو بارش روند افزایشی خواهد داشت. با توجه به تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه جلفا جدول ۳، افزایش بارش به ترتیب طبق سناریوی RCP ۲,۶، RCP ۱,۹۸، RCP ۴,۵ و RCP ۱/۴۲

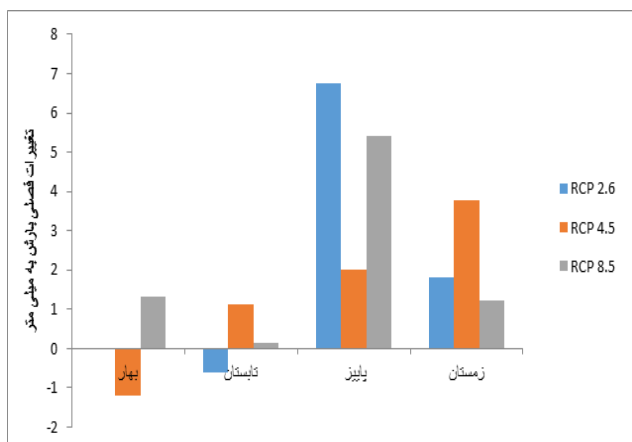
جدول ۳- بارش شبیه سازی شده در دوره آبی و اختلاف آن با دوره پایه در ایستگاه جلفا با مدل HadGEM2

پارامتر	سناریو	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	میانگین سالانه
بارش	دوره پایه	۱۰/۶۴	۱۱/۵۹	۲۲/۰۵	۳۴/۸۳	۳۸/۶۲	۲۲/۲۳	۸/۶	۳/۷۸	۹/۶۵	۱۸/۱۵	۱۷/۶۷	۱۲/۷۸	۱۷/۵۴
	RCP ۲,۶	۱۱/۷۷	۱۶/۸۶۵	۲۱/۰۵	۳۵/۰۹	۳۶/۱۹۵	۲۴/۳۵	۹/۴۹۵	۳/۴۲	۷/۲۵۵	۱۸/۵۸	۲۹/۵۸۵	۲۰/۶۷	۱۹/۵۳
	RCP ۴,۵	۱۶/۶۱	۱۵/۲۲۵	۲۳/۷۴	۳۳/۲۶	۳۷/۰۱	۲۱/۷۵۵	۱۴/۶۱۵	۳/۷۴۵	۷/۰۵	۱۸/۱۱۵	۲۰/۵۸۵	۱۵/۹۱۵	۱۸/۹۷
	RCP ۸,۵	۱۲/۲۲۵	۱۳/۲۳	۲۱/۹۷۵	۳۳/۹۴	۴۰/۷۶۵	۲۴/۹۵۵	۱۱/۲۱۵	۴/۹۸	۶/۲۵	۲۱/۶۷۵	۲۵/۱۳	۱۸/۰۱۵	۱۹/۵۷
تغییرات	RCP ۲,۶	۱/۱۳	۵/۲۸	-۱	-۰/۲۶	-۲/۴۲	۲/۱۲	-۰/۹	-۰/۳۶	-۲/۴	-۰/۴۳	۱۱/۹۲	۷/۸۹	۱/۹۸
	RCP ۴,۵	۵/۹۷	۳/۶۴	۱/۶۹	-۱/۵۷	-۱/۶۱	-۰/۴۷	۶/۰۲	-۰/۰۳	-۲/۶	-۰/۰۳	۲/۹۲	۳/۱۴	۱/۴۲
	RCP ۸,۵	۲/۰۹	۱/۶۴	-۰/۰۸	-۰/۸۹	۲/۱۵	۲/۷۳	۲/۶۲	۱/۲	-۳/۴	۳/۵۳	۷/۴۶	۵/۲۳	۲/۰۲

شکل ۷، نتایج پیش بینی بارش سالانه ایستگاه جلفا را در دوره آبی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ توسط مدل HadGEM2 با هر سه سناریو را نشان می دهد که بیانگر وجود چندین نقطه حوض طبق سناریوهای RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در سال های ۲۰۲۳، ۲۰۲۷، ۲۰۳۰، ۲۰۳۳، ۲۰۳۶ و ۲۰۳۹ می باشد. همچنین نقاط فراز بر اساس هر سه سناریوی RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در سال های، ۲۰۲۴، ۲۰۲۸، ۲۰۳۲، ۲۰۳۴، ۲۰۳۸ و ۲۰۳۶ می باشد.



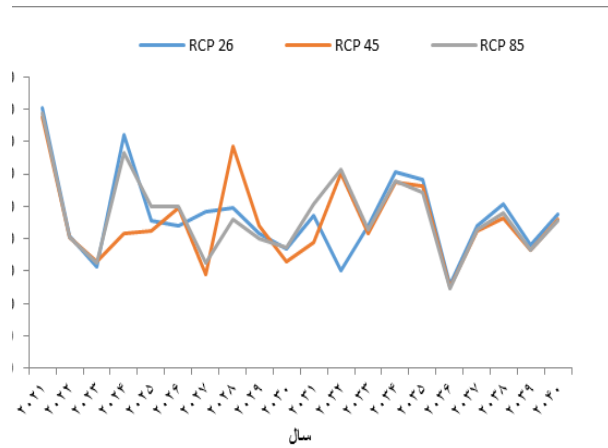
شکل ۵- میانگین ماهانه بارش ایستگاه جلفا بر اساس خروجی مدل HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.



شکل ۶- پیش بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه جلفا در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل HadGEM2

تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه جلفا شکل ۶ بر اساس سناریوهای RCP ۲,۶ در فصل تابستان و RCP ۴,۵ در فصل بهار کاهش بارش داشته است در سایر فصول طبق هر سه سناریو شاهد افزایش بارش خواهیم بود. بیشترین میزان افزایش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP ۲,۶ می باشد با ۶/۷۴ میلی متر، که افزایش بارش بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می دهد. بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۱/۲۱- میلی متر می باشد.

شکل ۷- نمودار میانگین سالانه بارش ایستگاه جلفا بر اساس خروجی مدل HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

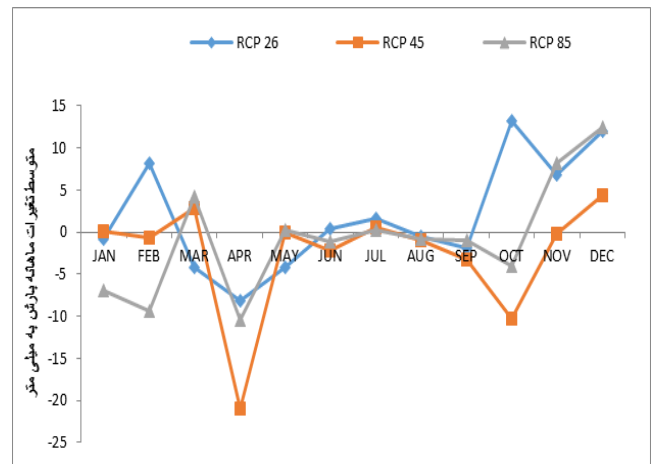


• پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه مراغه برای افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با مدل HadGEM2

جدول ۴، مقادیر میانگین ماهانه و سالانه پارامتر بارش برای دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) نسبت به افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان می‌دهد. همچنین این مقادیر در شکل ۸، نیز ارائه شده‌اند. با بررسی وضعیت بارش در افق ۲۰۳۰ با مدل ریز گردان HadGEM2، این نتیجه حاصل می‌شود که، بارش بر اساس سناریوی RCP 2.6 در ماه‌های مارس، آوریل، می و سپتامبر؛ بر اساس سناریوی RCP 4.5 در ماه‌های آوریل و اکتبر و طبق سناریوی RCP 8.5 ژانویه، فوریه،

آوریل و اکتبر کاهش و در بقیه ماه‌های سال برای هر سه سناریو بارش روند افزایشی خواهد داشت. با توجه به تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه مراغه جدول ۴، طبق RCP 2.6 افزایش بارش به میزان ۱/۸۶ میلی‌متر می‌باشد و بر اساس RCP 4.5 و RCP 8.5 کاهش بارش به ترتیب ۲/۵۷- و ۰/۶۹- میلی‌متر می‌باشد. سناریوی RCP 2.6، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP 4.5، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

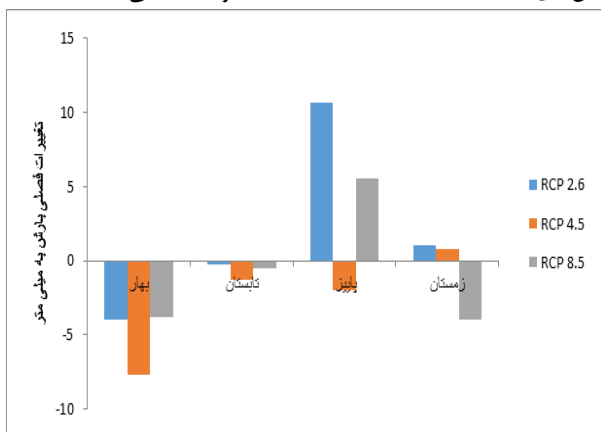
نشان می‌دهد که بیانگر وجود چندین نقطه حوضی طبق سناریوهای RCP 2.6 در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۵، ۲۰۲۹، ۲۰۳۲ و ۲۰۳۸؛ بر اساس سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 در سال‌های ۲۰۲۶، ۲۰۲۹، ۲۰۳۳ و ۲۰۳۸ می‌باشد. همچنین چندین نقاط فراز بر اساس هر سه سناریوی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 در سال‌های ۲۰۲۴، ۲۰۲۷، ۲۰۳۱، ۲۰۳۴، ۲۰۳۷ و ۲۰۳۹ می‌باشد.



شکل ۸- نمودار میانگین ماهانه بارش ایستگاه مراغه بر اساس خروجی مدل HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

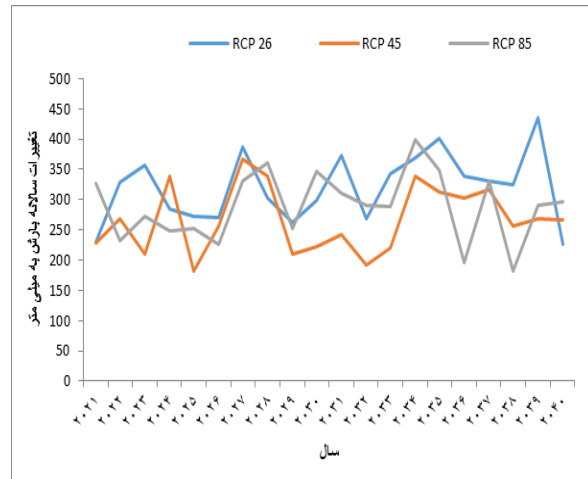
تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه مراغه شکل ۹، بر اساس هر سه سناریو در بهار و تابستان، بر اساس سناریوی RCP 4.5 در فصل پاییز و در فصل زمستان سناریوی RCP 8.5 کاهش بارش داشته است. در سایر فصول طبق هر سه سناریو شاهد افزایش بارش خواهیم بود. بیشترین میزان افزایش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP 2.6 می‌باشد با ۱۰/۶۷ میلی‌متر، که افزایش بارش بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد. بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل بهار مربوط سناریوی RCP 4.5 در حدود ۷/۷۴- میلی‌متر می‌باشد.

شکل ۱۰، نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه مراغه را در دوره آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ توسط مدل HadGEM2 با هر سه سناریو را



شکل ۹- پیش‌بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه مراغه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل HadGEM2.

جدول ۵، مقادیر میانگین ماهانه و سالیانه پارامتر بارش برای دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) نسبت به افق ۲۰۳۰ (۲۰۴۰-۲۰۲۱) نشان می‌دهد. این مقادیر در شکل ۱۱ نیز ارائه شده‌اند. با بررسی وضعیت بارش در افق ۲۰۳۰ با مدل ریز گردان HadGEM2، این نتیجه حاصل می‌شود که، بارش براساس RCP ۲,۶ در ماه‌های فوریه و آوریل؛ بر اساس RCP ۴,۵ در ماه‌های ژانویه، آوریل، می، اکتبر، نوامبر و دسامبر و طبق RCP ۸,۵ ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل، جولای، اکتبر و نوامبر کاهش و در بقیه ماه‌های سال برای هر سه سناریو بارش روند افزایشی خواهد داشت. با توجه به تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه میانه جدول ۵، براساس RCP ۲,۶ افزایش بارش به میزان ۱/۵۳ میلی‌متر می‌باشد و بر اساس RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ بارش به ترتیب ۲/۴۲- و ۳/۱۰- میلی‌متر کاهش داشته است. سناریوی RCP ۲,۶، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۸,۵، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

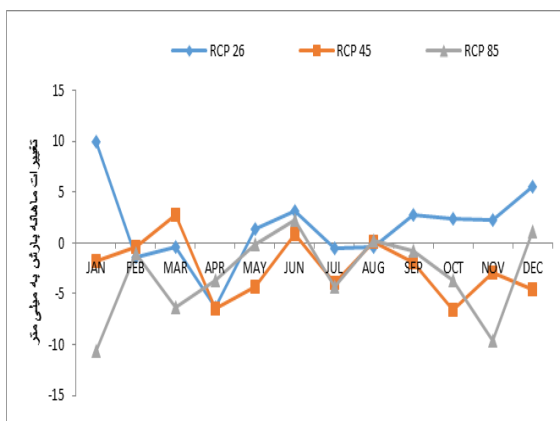


شکل ۱۰- میانگین سالانه بارش ایستگاه مراغه بر اساس خروجی مدل HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

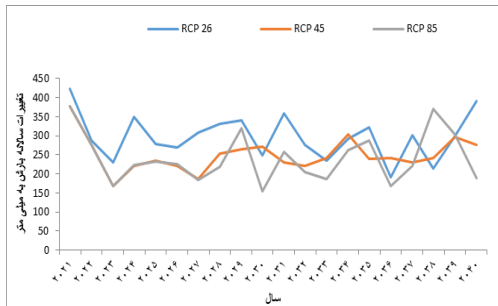
• پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه میانه برای افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با مدل HadGEM2

جدول ۵- بارش شبیه‌سازی شده در دوره آتی و اختلاف آن با دوره پایه در ایستگاه میانه با مدل HadGEM2.

پارامتر	سناریو	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	میانگین سالانه
بارش	دوره پایه	۳۰/۹۴	۲۵/۸۹	۳۵/۸۱	۴۶/۶۸	۳۶/۱۶	۸/۱۸	۶/۶۹	۳/۵	۴/۵۴	۱۹/۸۹	۳۱/۶۸	۲۸/۷۶	۲۳/۲۲
	RCP ۲.۶	۴۰/۸۸۵	۲۴/۴۵	۳۵/۴۴	۴۰/۳۹	۳۷/۵۰۵	۱۱/۲۶۵	۶/۱۵	۳/۱۴	۷/۳۲۵	۲۲/۲۲	۳۳/۸۹	۳۴/۳۲۵	۲۴/۷۶
	RCP ۴.۵	۲۹/۱۸	۲۵/۵۳۵	۳۸/۵۳۵	۴۰/۲۶۵	۳۱/۸۷۵	۹/۱	۲/۷۱۵	۳/۵۵۵	۲/۶۷۵	۱۳/۳۴۵	۲۸/۷۷۵	۲۴/۱۹	۲۰/۸۰
	RCP ۸.۵	۲۰/۳۴	۲۴/۸	۲۹/۴۵	۴۲/۹۳۵	۳۵/۹۴	۱۰/۴۱۵	۲/۳۲	۳/۶۷۵	۳/۷۳	۱۶/۱۷۵	۲۲	۲۹/۸۱	۲۰/۱۲
تغییرات	RCP ۲.۶	۹/۹۵	-۱/۴۴	۰/۳۷	-۶/۲۹	۱/۳۵	۳/۹	-۰/۵۴	-۰/۳۶	۲/۷۹	۲/۴۳	۲/۲۱	۵/۵۸	۱/۵۳
	RCP ۴.۵	-۱/۷۶	۰/۳۶	۲/۷۳	-۶/۴۲	-۴/۲۸	۰/۸۳	-۳/۹۸	۰/۶	-۱/۸۷	-۶/۵۵	-۲/۹۱	-۴/۵۷	-۲/۴۲
	RCP ۸.۵	-۱۰/۷۰	-۱/۹	-۶/۳۶	-۲/۷۵	۰/۲۲	۲/۲۴	-۴/۳۷	۰/۱۸	-۰/۸۱	-۲/۷۲	-۹/۶۸	۱/۵	-۳/۱۰



شکل ۱۱- میانگین ماهانه بارش ایستگاه میانه بر اساس خروجی مدل



شکل ۱۳- میانگین سالانه بارش ایستگاه میانه بر اساس خروجی مدل HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

• پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه سراب برای افق ۲۰۳۰ با مدل HadGEM2 (۲۰۴۰-۲۰۲۱)

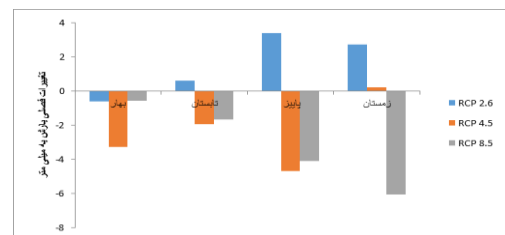
جدول ۶، مقادیر میانگین ماهانه و سالیانه پارامتر بارش برای دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) نسبت به افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان می‌دهد. همچنین این مقادیر در شکل ۱۴، نیز ارائه شده‌اند. با بررسی وضعیت بارش در افق ۲۰۳۰ با مدل ریز گردان HadGEM2، این نتیجه حاصل می‌شود که، بارش براساس RCP 2.6 در ماه‌های می، جولای، سپتامبر و اکتبر؛ بر اساس RCP 4.5 در ماه‌های مارس، آگوست، سپتامبر و اکتبر و طبق RCP 8.5 در ماه‌های ژانویه، مارس، آگوست و اکتبر کاهش و در بقیه ماه‌های سال برای هر سه سناریو بارش روند افزایشی خواهد داشت. با توجه به تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه سراب جدول ۶، طبق سناریوی RCP 2.6 افزایش بارش به میزان ۱/۰۴ میلی‌متر می‌باشد و بر اساس سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 کاهش بارش به ترتیب ۱/۴۴- و ۱/۰۶- میلی‌متر می‌باشد. RCP 2.6، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP 4.5، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۶- بارش شبیه‌سازی شده در دوره آتی و اختلاف آن با دوره پایه در ایستگاه سراب با مدل HadGEM2.

پارامتر	سناریو	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	میانگین سالانه
بارش	دوره پایه	۱۵/۱۷	۱۴/۰۷	۲۳/۲۴	۴۶/۹۷	۴۲/۷۴	۱۵/۲۲	۱۲/۱۳	۹/۴۲	۸/۲۸	۲۲/۹۶	۲۲/۱۳	۱۳/۴۸	۲۰/۴۸
	RCP 2.6	۱۶/۷۴۵	۱۵/۸۶	۲۳/۰۱۵	۵۶/۷۶	۴۰/۵۶۵	۱۵/۴۵۵	۹/۸۰۵	۱۱/۰۶۵	۵/۵۲۵	۱۹/۶۲۵	۲۷/۰۴۵	۱۶/۷۹	۲۱/۵۲
	RCP 4.5	۱۶/۱۷	۱۸/۴۷	۱۴/۹۳۵	۴۹/۸	۴۵/۲۱۵	۱۶/۱۵	۱۲/۵۲۵	۳/۱۹	۵/۶۰۵	۱۰/۶۲۵	۲۵/۴۹	۱۰/۳۱	۱۹/۰۴
	RCP 8.5	۱۳/۶۷۵	۱۵/۰۶۵	۱۵/۱۳۵	۵۷/۲۹	۴۱/۹۳	۱۸/۳	۱۴/۳۹۵	۴/۴۹	۴/۸۷	۱۴/۳۲	۲۱/۶۴۵	۱۱/۹۶	۱۹/۴۲
تغییرات	RCP 2.6	۱/۵۸	۱/۷۹	-۰/۲۲	۹/۷۹	-۲/۱۸	-۰/۲۳	-۲/۳۳	۱/۶۵	-۲/۷۶	-۳/۳۴	۴/۹۲	۳/۳۱	۱/۰۴
	RCP 4.5	۱	۴/۴	-۸/۳۱	۲/۸۳	۲/۴۸	-۰/۹۳	-۰/۴	-۶/۲۳	-۲/۶۸	-۱۲/۳۴	۳/۳۶	-۳/۱۷	-۱/۴۴

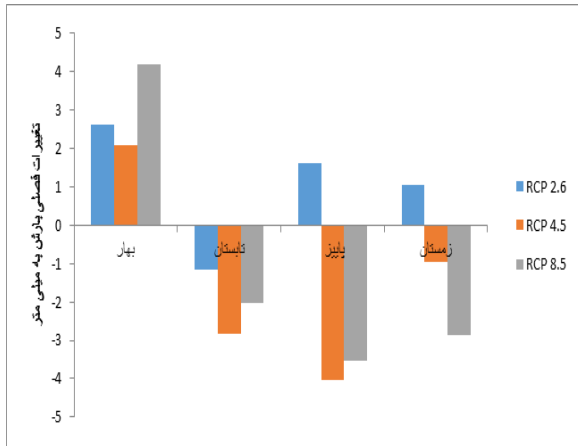
HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه میانه شکل ۱۲، براساس دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 در تمامی فصول بارش کاهش، و براساس RCP 2.6 بارش در اکثر فصل‌ها افزایش داشته است. بیشترین میزان افزایش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP 2.6 می‌باشد با ۳/۴۰ میلی‌متر و بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل زمستان مربوط RCP 4.5 با مقدار ۶/۰۵ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱۳، نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه میانه را در دوره آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ توسط مدل HadGEM2 با هر سه سناریو را نشان می‌دهد که بیانگر وجود چندین نقطه حوض طبق هر سه سناریو در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۷، ۲۰۳۰، ۲۰۳۳، ۲۰۳۶ و ۲۰۳۸ می‌باشد. همچنین چندین نقاط فراز بر اساس هر سه سناریوی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 در سال‌های ۲۰۲۴، ۲۰۲۶، ۲۰۲۹، ۲۰۳۱، ۲۰۳۵، ۲۰۳۷ و ۲۰۴۰ می‌باشد.

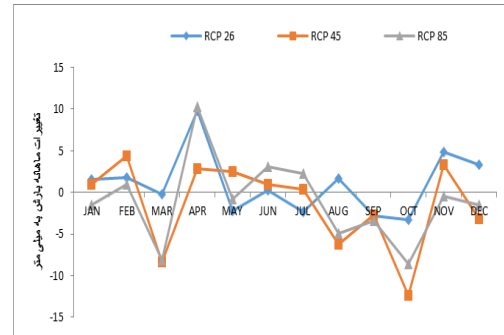


شکل ۱۲- پیش‌بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه میانه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل HadGEM2.

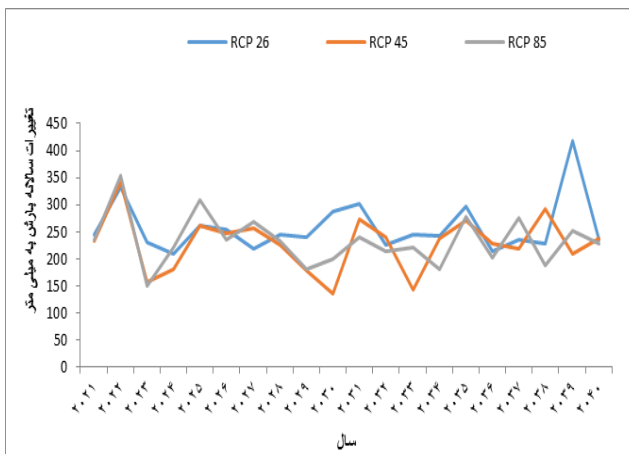
RCP ۸,۵	-۱/۵	۱	-۸/۱۱	۱۰/۳۲	-۰/۸۱	۳/۰۸	۲/۲۷	-۴/۹۳	-۳/۴۱	-۸/۶۴	-۰/۴۸	-۱/۵۲	-۱/۰۶
---------	------	---	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



شکل ۱۵- پیش‌بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه سراب در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل *HadGEM2*



شکل ۱۴- میانگین ماهانه بارش ایستگاه سراب بر اساس خروجی مدل *HadGEM2* در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.



شکل ۱۶- نمودار میانگین سالانه بارش ایستگاه سراب بر اساس خروجی مدل *HadGEM2* در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه سراب شکل ۱۵، براساس هر سه سناریو در فصل تابستان، براساس RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در فصل پاییز و زمستان بارش کاهش خواهد داشت. در سایر فصول طبق هر سه سناریو شاهد افزایش بارش خواهیم بود. بیشترین میزان افزایش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ به میزان ۴/۲۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل پاییز مربوط سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۴/۰۴ میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱۶، نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه سراب را در دوره آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ توسط مدل *HadGEM2* با هر سه سناریو را نشان می‌دهد که بیانگر وجود چندین نقطه حوضی طبق هر سه سناریو در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۳۰، ۲۰۳۳، ۲۰۳۶ و ۲۰۳۸ می‌باشد. همچنین چند نقاط فرافز بر اساس هر سه سناریوی RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در سال‌های، ۲۰۳۱، ۲۰۲۵، ۲۰۲۵ و ۲۰۳۹ می‌باشد.

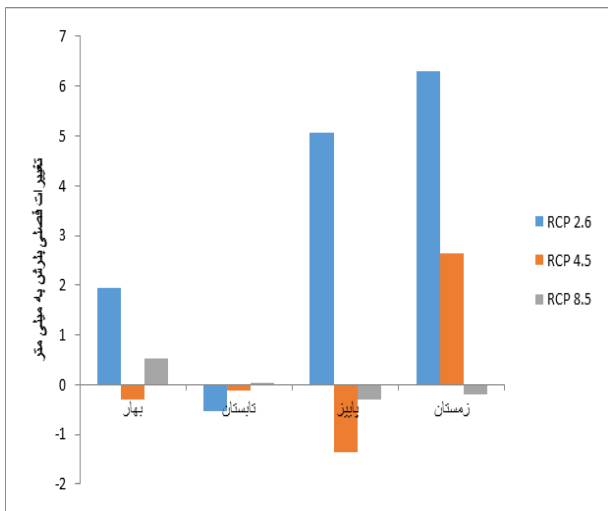
و اکتبر کاهش داشته است و در بقیه ماه‌های سال برای هر سه سناریو بارش روند افزایشی خواهد داشت. با توجه به تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه تبریز جدول ۷، براساس RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ افزایش بارش به ترتیب به میزان ۳/۱۹، ۰/۲۱ و ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد. RCP ۲,۶، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۸,۵، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد

• پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه تبریز برای افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) با مدل *HadGEM2* جدول ۷، مقادیر میانگین ماهانه و سالیانه پارامتر بارش برای دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) نسبت به افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) در ایستگاه تبریز را نشان می‌دهد. همچنین این مقادیر در شکل ۱۷، نیز ارائه شده است. با بررسی وضعیت بارش در افق ۲۰۳۰ با مدل ریز گردان *HadGEM2*، این نتیجه حاصل می‌شود که، بارش براساس هر سناریوی RCP ۲,۶، RCP ۴,۵، RCP ۸,۵ در ماه‌های آوریل

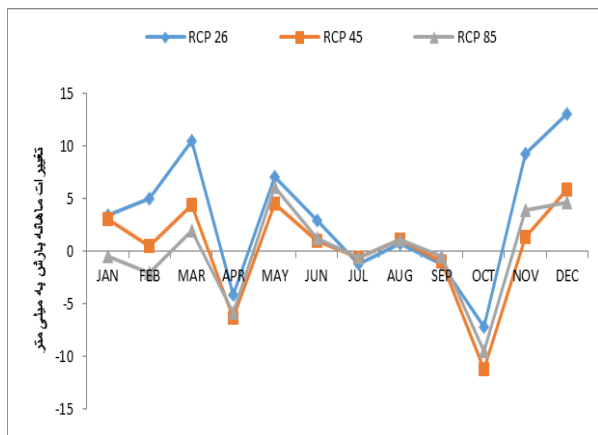
جدول ۷- بارش شبیه‌سازی شده در دوره آبی و اختلاف آن با دوره پایه در ایستگاه تبریز با مدل HadGEM2.

پارامتر	سناریو	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	میانگین سالانه
بارش	دوره پایه	۱۹/۴۳	۱۸/۶۱	۳۰/۸۶	۴۶/۵۷	۳۷/۵۵	۱۰/۴۹	۶/۶۷	۲/۹۸	۵/۲۵	۲۲/۰۸	۲۴/۱۱	۲۳/۹۱	۲۰/۷
	RCP ۲,۶	۲۲/۸۳	۲۳/۶۲	۴۱/۳۳۵	۴۲/۴۵	۴۴/۶۳	۱۳/۳۷۵	۵/۴۸	۳/۷	۴/۰۹۵	۱۴/۸۷۵	۲۳/۴۴	۳۶/۹۷۵	۲۳/۹
	RCP ۴,۵	۲۲/۴۸	۱۹/۰۹۵	۳۵/۲۷۵	۴۰/۱۸۵	۴۲/۰۷۵	۱۱/۴۶	۶/۱۲۵	۴/۰۷۵	۴/۳۱	۱۰/۸۲	۲۵/۴۶۵	۲۹/۷۱۵	۲۰/۹۲
	RCP ۸,۵	۱۸/۹۷	۱۶/۵۲۵	۳۲/۷۹۵	۴۰/۷۷۵	۴۳/۷۱	۱۱/۶۶	۶/۱۲	۴/۰۵	۴/۸۲۵	۱۲/۵۳۵	۲۸/۰۶	۲۸/۵۸	۲۰/۷۲
تغییرات	RCP ۲,۶	۳/۴	۵/۰۱	۱۰/۴۸	-۴/۱۲	۷/۰۸	۲/۸۹	-۱/۱۹	-۰/۷۲	-۱/۱۶	-۷/۲	۹/۳۳	۱۳/۰۷	۳/۱۹
	RCP ۴,۵	۳/۰۵	-۰/۴۸	۴/۴۲	-۶/۳۹	۴/۵۳	-۰/۹۷	-۰/۵۵	۱/۱	-۰/۹۴	-۱۱/۲۶	۱/۳۶	۵/۸۱	-۰/۲۱
	RCP ۸,۵	-۰/۴۶	-۲/۰۹	۱/۹۴	-۵/۷۹	۶/۱۶	۱/۱۷	-۰/۵۵	۱/۰۷	-۰/۴۳	-۹/۵۵	۳/۹۵	۴/۶۷	-۰/۰۱

۲۰۳۸ می‌باشد. همچنین چند نقاط فراز بر اساس هر سه سناریوی RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در سال‌های ۲۰۲۷، ۲۰۲۸، ۲۰۳۵، ۲۰۳۷ و ۲۰۳۹ می‌باشد.



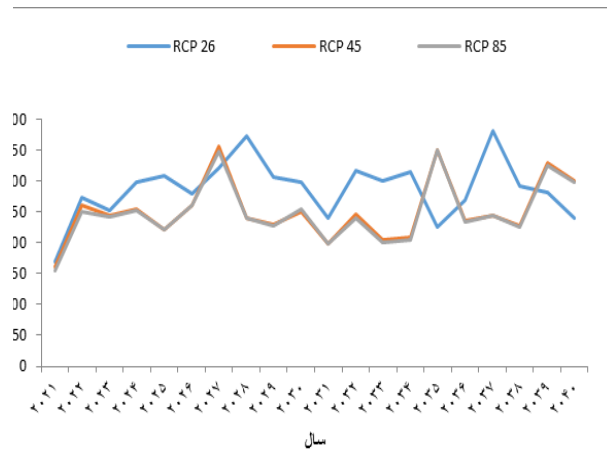
شکل ۱۸- پیش‌بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه تبریز در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل HadGEM2



شکل ۱۷- نمودار میانگین ماهانه بارش ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل HadGEM2 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.

شکل ۱۸، تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه تبریز را نشان می‌دهد، با توجه این شکل می‌توان دریافت که، براساس RCP ۲,۶ در همه فصول بارش روند افزایش را نشان می‌دهد. بر اساس RCP ۴,۵ به جز فصل زمستان سایر فصل‌ها کاهش بارش خواهیم داشت. همچنین طبق سناریوی RCP ۸,۵ تغییر قابل توجهی در بارش فصلی نخواهیم داشت. بیشترین میزان افزایش بارش در فصل زمستان مربوط به سناریوی RCP ۲,۶ می‌باشد با ۶/۲۷ میلی‌متر و بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۱۱/۳۶- میلی‌متر می‌باشد. شکل ۱۹، نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه تبریز را در دوره آبی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ توسط مدل HadGEM2 با هر سه سناریو را نشان می‌دهد که بیانگر وجود چندین نقطه خفیف طبق سناریوی RCP ۲,۶ در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۶، ۲۰۳۱، ۲۰۳۵ و ۲۰۴۰؛ براساس سناریوی RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۵، ۲۰۲۸، ۲۰۳۱ و ۲۰۳۴ و

شکل ۱۹- نمودار میانگین سالانه بارش ایستگاه تبریز بر اساس خروجی مدل *HadGEM2* در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰.



### ۵- نتیجه گیری

وضعیت بارش در افق ۲۰۳۰ براساس سناریوی RCP ۲,۶ در ماه‌های مارس، آوریل، می و سپتامبر؛ بر اساس سناریوی RCP ۴,۵ در ماه‌های آوریل و اکتبر و طبق سناریوی RCP ۸,۵ ژانویه، فوریه، آوریل و اکتبر کاهش و در بقیه ماه‌های روند افزایشی خواهد داشت. تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه مراغه طبق RCP ۲,۶ افزایش بارش به میزان ۱/۸۶ میلی‌متر می‌باشد و بر اساس RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ کاهش بارش به ترتیب ۲/۵۷- و ۰/۶۹- میلی‌متر می‌باشد. سناریوی RCP ۲,۶، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۴,۵ بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد. طبق نتیجه بررسی تغییرات فصلی بارش؛ بیشترین میزان افزایش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP ۲,۶ می‌باشد با ۱۰/۶۷ میلی‌متر، که افزایش بارش بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر می‌باشد. بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۷/۷۴- میلی‌متر می‌باشد. پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه میانه با بررسی وضعیت بارش در افق ۲۰۳۰ بارش نشان داد که براساس RCP ۲,۶ در ماه‌های فوریه و آوریل؛ بر اساس RCP ۴,۵ در ماه‌های ژانویه، آوریل، می، اکتبر، نوامبر و دسامبر و طبق RCP ۸,۵ ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل، جولای، اکتبر و نوامبر کاهش و در بقیه ماه‌ها روند افزایشی خواهد داشت. تغییرات میانگین سالانه بارش RCP ۲,۶ افزایش بارش به میزان ۱/۵۳ میلی‌متر می‌باشد RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ بارش به ترتیب ۲/۴۲- و ۳/۱۰- میلی‌متر کاهش داشته است. سناریوی RCP ۲,۶، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۸,۵، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد. طبق تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش؛ بیشترین میزان افزایش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP ۲,۶ می‌باشد با ۳/۴۰ میلی‌متر و بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل زمستان مربوط به RCP ۴,۵ با مقدار ۶/۰۵- میلی‌متر می‌باشد. پیش‌بینی ماهانه و سالانه وضعیت بارش ایستگاه سراب در افق ۲۰۳۰ نشان داد که؛ براساس RCP ۲,۶ در ماه‌های می، جولای، سپتامبر و اکتبر؛ بر اساس RCP ۴,۵ در ماه‌های مارس، آگوست، سپتامبر و اکتبر و طبق RCP ۸,۵ در ماه‌های ژانویه، مارس، آگوست و اکتبر کاهش و در بقیه ماه‌ها روند

پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه اهر برای افق ۲۰۳۰ (۲۰۴۰-۲۰۲۱) با مدل *HadGEM2* نسبت دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) نشان داد که، براساس سناریوی RCP ۲,۶ در ماه‌های مارس، آوریل، آگوست، سپتامبر و اکتبر؛ بر اساس سناریوی RCP ۴,۵ در ماه‌های مارس، آوریل و اکتبر و طبق سناریوی RCP ۸,۵ در سپتامبر، اکتبر و نوامبر کاهش و در بقیه ماه‌های سال روند افزایشی خواهد داشت. تغییرات میانگین سالانه نیز افزایش بارش به ترتیب طبق سناریوی RCP ۲,۶ ۰/۵۴، RCP ۴,۵ ۱۶/۱۲ و RCP ۸,۵ ۱۲/۷۶ میلی‌متر می‌باشد. سناریوی RCP ۴,۵، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۲,۶، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد. تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش نشان داد که؛ بیشترین میزان افزایش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ می‌باشد با ۵/۱۲ میلی‌متر، که افزایش بارش بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد. همچنین بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۴/۶۰- میلی‌متر می‌باشد. پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه جلفا برای افق ۲۰۳۰ (۲۰۴۰-۲۰۲۱) با مدل *HadGEM2* نسبت به دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) نشان می‌دهد سناریوی RCP ۲,۶ در ماه‌های مارس، می و سپتامبر؛ بر اساس سناریوی RCP ۴,۵ در ماه آوریل، می و سپتامبر و طبق سناریوی RCP ۸,۵ آوریل و سپتامبر کاهش و در بقیه ماه‌های سال برای هر سه سناریو بارش روند افزایشی خواهد داشت. تغییرات میانگین سالانه نیز افزایش بارش به ترتیب طبق سناریوی RCP ۲,۶ ۱/۹۸، RCP ۴,۵ ۱/۴۲ و RCP ۸,۵ ۲/۰۲ میلی‌متر می‌باشد. سناریوی RCP ۸,۵، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۴,۵، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد. تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی هم نشان داد که؛ بیشترین میزان افزایش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP ۲,۶ می‌باشد با ۶/۷۴ میلی‌متر، که افزایش بارش بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد. بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۱/۲۱- میلی‌متر می‌باشد. پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه مراغه نشان می‌دهد که

کاهش در بقیه ماهها روند افزایشی خواهد داشت تغییرات میانگین سالانه براساس RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ افزایش بارش به ترتیب به میزان ۳/۱۹، ۰/۲۱ و ۰/۰۱ میلی‌متر می‌باشد. RCP ۲,۶، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۸,۵، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد. تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش در ایستگاه مذکور نشان داد که بیشترین میزان افزایش بارش در فصل زمستان مربوط به سناریوی RCP ۲,۶ می‌باشد با ۶/۲۷ میلی‌متر و بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۱/۳۶- میلی‌متر می‌باشد.

افزایشی خواهد داشت. تغییرات میانگین سالانه نیز طبق سناریوی RCP ۲,۶، افزایش بارش به میزان ۱/۰۴ میلی‌متر و سناریوهای RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ کاهش بارش به ترتیب ۱/۴۴- و ۱/۰۶- میلی‌متر می‌باشد. RCP ۲,۶، افزایش بارش بیشتر و سناریوی RCP ۴,۵، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد. طبق بررسی تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش بیشترین میزان افزایش بارش در فصل بهار مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ به میزان ۴/۲۰ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین مقدار کاهش بارش در فصل پاییز مربوط به سناریوی RCP ۴,۵ در حدود ۴/۰۴- میلی‌متر می‌باشد. پیش‌بینی ماهانه و سالانه بارش ایستگاه تبریز برای افق ۲۰۳۰ (۲۰۲۱-۲۰۴۰) حاکی از آن بود که؛ در هر سناریو RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ بارش در ماه‌های آوریل و اکتبر

### منابع

- داروند، س، اسکندری دامنه، ه، اسکندری دامنه، ح، خسروی، ح ۱۴۰۰ پیش بینی روند تغییرات دما و بارش در دوره‌ی آبی و تأثیر آن بر بیابان زایی، مدل‌سازی و تغییرات آب و خاک، دوره ۱، شماره ۱، صص ۶۶-۵۳.
- دلقدنی، م، ۱۳۹۵. بررسی اثرات ریسک تغییر بر اقلیم تبخیر و تعرق پتانسیل؛ مطالعه موردی شهرستان شاهرود. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ششم، شماره بیست و سوم، صص ۱۵۶-۱۶۷.
- روشنی، ا؛ حمیدی، م، ۱۴۰۰. پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش براساس مدل‌های CMIP۶ مطالعه موردی: ایستگاه ساری. مدیریت آب و آبیاری، دوره ۱۱، شماره ۴، صص ۷۸۱-۷۹۵.
- محمدی، س؛ توکلی، م؛ زرافشانی، ک؛ مهدی‌زاده، ح؛ امیری، ف، ۱۴۰۰. پیش‌بینی اثرات تغییرات اقلیمی بر دما و بارش با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، راهکاری برای کشاورزی پایدار (مطالعه‌ی مورد: شهرستان کرمانشاه)، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۳، شماره ۶، صص ۳۱-۱۸.
- عسکری زاده، م، ۱۳۹۵. آشکارسازی و پیش‌بینی نوسانات مکانی-زمانی نمایه‌های حدی دما و بارش در استان خراسان رضوی با استفاده از مدل LARS-WG رساله‌ی دکتری، رشته‌ی آب و هواشناسی، دانشگاه یزد.
- گودرزی، م، خسروانیان، ج، حجازی، ا، ۱۳۹۴. کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو. فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال یازدهم، شماره‌ی ۵۱، صص ۲۶۳-۲۷۹.
- مرتضوی، م، مبین، م. ح؛ مختاری، م. ح؛ اکرامی، م؛ رفیعی، ساردوئی، ا، ۱۳۹۷. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما براساس سناریوهای واداشت تابشی) RCP مطالعه موردی: شرق استان مازندران، نشریه هواشناسی و علوم جو، جلد ۱، شماره ۴، صص ۳۶۴-۳۵۱.
- محمدی، ح، خلیلی، ر، محمدی، س، ۱۴۰۰. پیش‌بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی مولد آب و هوایی-LARS-WG در زاگرس جنوبی، نیوار، دوره ۴۵، شماره ۱۱۴-۱۱۵، پاییز و زمستان ۱۴۰۰ (دو فصلنامه)
- میردشتوان، م، ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت منابع آب استان تهران. رساله‌ی دکتری، رشته علوم مهندسی آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- میردشتوان، م، ملکیان، آ، محسنی ساروی، م، ۱۳۹۶. ارزیابی تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای: مطالعه موردی حوضه دریاچه ارومیه. انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران، نشریه شماره ۹، صص ۱۵-۳۰.
- نصیری، ب و یارمادی، ز، ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آبی با استفاده از مدل HADCM۳. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۶، شماره ۱، صص: ۱۴۳-۱۵۳.
- Baule, W., Allred, B., Frankenberger, J., Gamble, D., Andresen, J., Gunn, K. M., & Brown, L. ۲۰۱۷. Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections. *Agricultural Water Management*, ۱۸۹, ۸۷-۹۷.
- Chen, H., Guo, J., Zhang, Z., & Xu, C. (۲۰۱۳). Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Theorica and Applied Climatology*, ۱۱۳(۳-۴), ۳۶۳-۳۷۵.

- Gulacha, M., & Mulungu, D.M.M. (۲۰۱۷). Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, ۱۰۰, ۶۲-۷۲.
- Ariso, B.K., Tsidu, G.M. and Stoffberg, G.H. ۲۰۱۸. Signature of present and projected climate change at an urban scale: The case of Addis Ababa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*.

# Forecasting the effects of climate change on precipitation in East Azarbaijan Province

Seuda Fakhimi<sup>۱</sup>, Batool Zeinali<sup>۲\*</sup>, Bromand Salahi<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>- M.A Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>۲\*</sup>- Associate Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

**Email:** zeynali.b@uma.ac.ir

<sup>۳</sup>- Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

## Abstract

In this research, to anticipate the effects of climate change on the precipitation of selected stations in East Azerbaijan province, including Ahar, Maragheh, Mianeh, Jolfa, Sarab, and Tabriz stations, which had ۲۹-year common statistical data from ۱۹۸۵ to ۲۰۱۴, with The use of LARS-WG<sup>۱</sup> model were studied. In this research, the effectiveness of the LARW-WG model for generating and simulating daily data of temperature, precipitation, and sunshine hours in the study area was investigated using the statistical parameters R<sup>۲</sup>, MAE, and RMSE. The results showed that at the confidence level of ۹۹%. There is no significant percentage difference between the real data and the data obtained from the model, and the model has the necessary efficiency to generate daily data, therefore, after ensuring the model's ability, using HadGEM<sup>۲</sup> atmospheric general circulation model under RCP ۲,۶ scenarios, RCP ۴,۵ and RCP ۸,۵ in the next two periods from ۲۰۲۱ to ۲۰۴۰, were forecasted for the rainfall changes in the studied area. The results of forecasting the average annual rainfall changes of the studied stations of East Azerbaijan province in the statistical period of ۲۰۲۱-۲۰۴۰ showed that According to RCP ۲,۶, precipitation will increase in all the studied stations in the next ۲۰ years, but according to RCP ۴,۵ and RCP ۸,۵, we will see an increase in precipitation only in Jolfa station, and in the rest of the studied stations, precipitation will increase by will be significantly reduced.

## Introduction

Climate change is one of the most important and complex concerns of the current and future centuries. The dangerous effects of climate change on human life will cover almost all aspects of life. Drought, rising sea levels, violent storms, reduction of freshwater resources, warming of the air, forest fires, and desertification are among these effects (Mohammadi et al., ۱۴۰۰). Climate change is one of the most important ecological problems of the ۲۱st century. According to the fifth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, these global changes are most likely caused by human factors. Various studies show that this phenomenon can have negative effects on various systems of water resources, agriculture, the environment, industry, and the economy. Forecasting the quantity and quality of climatic changes is one of the complex issues that have occupied the minds of climatologists. Now, with the help of obtaining new technologies and possessing multiple series of necessary data of climatic variables and with the help of knowledge to understand the relationships between these variables, basic steps have emerged in understanding and predicting climatic trends, in such a way that now Computer models all respond to climate forecasting issues and factors affecting climate change within their capabilities (Darvand et al., ۱۴۰۰). Currently, the most reliable and developed tool for investigating climate change and its impacts is the ۳D Ocean-Atmosphere General Circulation Model (AOGCM). The AOGCM model is based on physical laws. These relationships are resolved in a three-dimensional network around the world. The presented models show climate parameters in the future (until ۲۰۹۹) for different emission periods. By using these methods with different climatic variables, the effects of climate change on the variability and adaptation of plants can be investigated.

## Methodology

The research method in this study relies on the LARS WG model. After sorting, processing data, and preparing input files, finally, the model studied in this research was finally implemented for the basic course. In the next step, using the mean absolute error (MAE), coefficient of determination ( $R^2$ ), and the root mean square error (RMSE) to evaluate the data generated from this model and the real data available in the basic period became. After checking the results of the confidence stage and evaluating the capability of the LARS-WG model for simulating meteorological data by considering the low values of the error measurement indices and the high values of the calculated coefficient of determination, the new version of LARS WG<sup>۱</sup> was used in this research. The required data including minimum temperature, maximum temperature, precipitation, and sunshine hours are collected from the synoptic station of East Azarbaijan province and given as input to the model. The data simulated by the CMIP<sup>۵</sup> atmospheric general circulation model is related to the period ۲۰۲۱-۲۰۴۰, which under the scenarios of RCP ۲,۶, RCP ۴,۵, and RCP ۸,۵ by the LARS-WG model compared to the base period ۲۰۱۴-۱۹۸۵ in the scale of the studied stations. In order to reduce the uncertainty of the average of the calculated profiles for the above model, it has been obtained. In the current research, it has given appropriate and favorable results regarding the study of the effects of climate change scenarios on the precipitation of East Azarbaijan province in the direction of microscale. CMIP<sup>۵</sup> models are used in LARS-WG<sup>۱</sup> software, which is one of the most famous and important models for generating random weather data. This model is used to generate the values of precipitation, maximum temperature, minimum temperature, and sunshine hour in a station, regarding the basic climate conditions as well as the future. For this reason, the study has been done on various stations of the studied area. The daily temperature and precipitation data of ۶ stations of East Azarbaijan Province, including Jolfa, Ahar, Sarab, Tabriz, Mianeh, and Maragheh stations, were used for exponential micro-scale as well as temperature and precipitation forecasting during recent years. Then, in the present research, to implement the model, first, taking the ۲۹-year period from ۱۳۶۴ to ۱۳۹۳ (۱۹۸۵-۲۰۱۴) as the base period, the necessary data, including precipitation, minimum and maximum temperature, and sunshine hours, were obtained from the National Meteorological Organization.

### Conclusion

The results of forecasting changes in the average annual precipitation of the studied stations of East Azerbaijan Province in the statistical period of ۲۰۲۱-۲۰۴۰ showed that according to RCP ۲,۶, the precipitation will increase in all the studied stations during the next ۲۰ years, but according to RCP ۴,۵ and In RCP ۸,۵, we will see an increase in rainfall only in Jolfa station, and in the rest of the studied stations, rainfall will decrease significantly.

### Keywords

Climate changes, HadGEM<sup>۲</sup> model, RCP ۲,۶, RCP ۴,۵ and ۸,۵ RCP scenarios, East Azerbaijan province.