پیش‌بینی بارش برخی ایستگاه های استان لرستان در دو دهه آینده با استفاده از مدل LARS-WG

شهاب حیدری[۱]، برومند صلاحی*[۲]، بتول زینالی[۳]، الهامه پور قاسمی[٤]

۱- کارشناس ارشد آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه محقق اردبیلی

۲*- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- بتول زینالی، دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی

٤- الهامه پور قاسمی، کارشناس ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی

ایمیل نویسنده مسئول: bromand٤١٦@yahoo.com

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۲/۵ تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۳/٦

چکیده

در این پژوهش، کارایی مدل LARW-WG برای تولید و شبیه‌سازی داده‌های روزانه بارش در مناطق مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای آماری R^2، MAE و RMSE 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 استفاد از مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ تحت سناریوهای RCP ۲،٦ RCP ٤.٥ و RCP ۸،٥ در دوره آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰٤۰ به پیش‌بینی تغییرات بارش منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در ایستگاه الشتر از نظر میانگین بارش سالانه نیز ۳/٦ تا ۹ میلی‌متر افزایش خواهد داشت و ایستگاه الیگودرز نیز روند از نظر بارش نیز افزایش در حدود ۰/۳۱ تا ۲/۳۳ میلی‌متر افزایش نشان داد. همچنین در ایستگاه کوهدشت پارامتر بارش کاهش ۰/۷۰- تا ۳/۸۰ - میلی‌متر پیش‌بینی شده است. نتایج کلی تغییرات بارش فصلی به استثنای ایستگاه کوهدشت که در تمامی فصول کاهش داشته، ایستگاه الشتر به غیر از فصل بهار در تمامی فصل‌ها افزایش و الیگودرز به استثنای فصل تابستان بقیه‌ی فصل‌ها افزایش نشان دادند. طبق این نتایج می‌توان که شرایط اقلیمی استان لرستان در ۲۰ سال آتی تفاوت چشمگیری با شرایط کنونی آب و هوایی خواهد داشت. با توجه به نتایج ایستگاه کوهدشت نسبت به دو ایستگاه دیگر کاهش بارش خواهد داشت.

کلمات کلیدی

"تغییرلت اقلیمی"، "بارش"، " استان لرستان"، "ارزیابی ریسک"، " مدل HadGEM۲"

۱- مقدمه

تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن به ویژه گرمایش جهانی و گرمایش زمین به عنوان مهم‌ترین مشکل قرن ۲۱ شناخته می‌شود. در چند سال اخیر، موضوع تغییر اقلیم همواره یکی از موضوعات اصلی و موضوع مورد توجه کشورهای صنعتی جهان بوده است (مسعودی عقدا، ۱۳۹۹). در سال‌های اخیر، تغییرات آب و هوایی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین افزایش مصرف انرژی که به عنوان یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین نگرانی‌های زیست‌محیطی تبدیل‌شده است. بسیاری از دانشمندان بر این اعتقاد هستند که افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی می‌گردد. تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای است که باعث تغییر در دمای هوا، الگوهای بارش، سرعت باد و دما در سراسر جهان می‌گردد (جنت‌رستمی و محمودپور، ۱۳۹۸).

تغییر اقلیم تأثیر بسزایی بر منابع آب، فراوانی و شدت خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها و فرآیندهای هیدرولوژیکی دارد؛ بنابراین، مطالعات زیادی برای بررسی تغییرات آب و هوا در سطوح مختلف انجام‌شده است. امروزه دانشمندان بر این باورند که گرم شدن کره زمین و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای از عوامل اصلی تغییر اقلیم است. مدل‌های آب و هوایی یکپارچه منبع اصلی برای شبیه‌سازی آب و هوای فعلی و آینده جهانی و سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی هستند (دانش فر و همکاران، ۱۳۹۵).

تفاوت تغییرات اقلیمی امروزه این است که جهان سریع‌تر از هر زمان دیگری در حال گرم شدن است و انسان‌ها نقش عمده‌ای در این فرآیند ایفا کرده‌اند. تغییرات آب و هوایی به‌عنوان یک تهدید عمل می‌کند. تغییر اقلیم به طور مستقیم باعث جنگ و درگیری نمی‌شود، اما می‌تواند منجر به بی‌ثباتی جهانی، گرسنگی، فقر و درگیری شود (محمدی، ۱۳۹۹). تحقیقات نشان داده است که تغییرات اقلیمی تأثیراتی مانند تغییر الگوی بارندگی، بی‌ثباتی تاریخی، گرم شدن کره زمین، کاهش منابع آب و تغییر سطح آب، اقیانوس‌ها و دریاها، تغییر سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش بهره‌وری کشاورزی، ایجاد مشکلات اقتصادی و اجتماعی و غیره دارد (میردشتوان و همکاران، ۱۳۹۶). به نظر می‌رسد با در نظر قرار دادن پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن‌ها بر بارش، بررسی و مطالعه این تغییرات در سال‌ها اخیر نسبت به دوره‌های پایه مشاهداتی، جزو لازمات مورد نیاز در تحقیقات و مطالعات علمی می‌باشد. از سوی دیگر برای بررسی تغییر اقلیم و تأثیرات از آن در پارامترهای هیدرولوژیکی باید از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) استفاده شود. زیرا مدل‌های گردش عمومی جو به‌صورت محور اساسی واصلی در تمامی مطالعات در این زمینه است. (سلیمانی، ۱۳۹۵).

امروزه یکی از دغدغه‌های اساسی اقلیم شناسان، اندیشمندان و پژوهشگران درزمینه‌ی این تغییرپذیری‌ها به یک علم جوی تبدیل شده است. هدف اصلی از به کار بردن این‌گونه مدل‌ها، محاسبه شاخص‌های سه بعدی اقلیمی در شبکه‌های مشخص شده می‌باشد. این‌گونه از مدل‌ها، ابزاری‌هایی توانا و مناسبی برای ارزیابی و مطالعه خطرات احتمالی از تغییرات اقلیمی همچون: رویداد دوره‌های سیل‌آسا، خشک‌سالی، بارش‌های رگباری و ... است. به جز مدل‌های یادشده استفاده از سناریوهای تأیید شده به‌وسیله هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، این توانایی را دارند تا به تشکیل سری‌های زمانی بلندمدت دمای حداقل، بارش، دمای حداکثر، تبخیر، تعرق و تابش در مقیاس روزانه بپردازند. به همین دلیل دانشمندان حوزه‌ی اقلیم‌شناسی برای درک هر چه بهتر این پدیده‌ها و پیش‌بینی‌های دقیق‌تر، به استفاده و بهره بردن از روابط و قوانین ریاضی بین پارامترهای گوناگون اقلیمی پرداخته‌اند به همین علت، طراحی مدل‌های اقلیمی دیدگاه‌های جدیدی را در تبیین تغییرات اقلیمی در آینده گشوده است. 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 جو، در مقیاس‌های کوچک‌تر قابلیت استفاده را ندارند؛ به همین دلیل است که به ریزمقیاس نمایی نیاز است (نصیری و یارمرادی، ۱۳۹۵).

با توجه به اقلیمی متفاوت که در کشورمان وجود دارد و همچنین وابستگی اقتصاد بیش‌تر استان‌ها به منابع آب در بخش کشاورزی، لازم است مطالعات و بررسی‌هایی اساسی در خصوص ارتباط با تغییر اقلیم در سه بخش همچون: مقادیر کمی و شناخت علمی، روش‌های و پیامدها به همراه تأثیرات آن‌ها در پهنه‌های متفاوت اقلیمی کشورمان (ایران) انجام شود تا پیامدهای که منجر به (پیامدهای زیان‌آور) تغییر اقلیم به کم‌ترین مقدار ممکن کاهش یابد. تغییر در اقلیم در سطح کره زمین می‌تواند بر سیستم‌های گوناگون دیگری هم که شامل اقتصاد و صنعت، منابع آب، محیط‌زیست، کشاورزی و بهداشت اثرات منفی داشته باشد، مهم‌ترین و اساسی‌ترین نگرانی دانشمندان هوا و اقلیم‌شناسی در طی سال‌های اخیر تغییرات ناشی از گرمایش کلی کره زمین و به دنبال آن وضع اقلیم دهه‌های اخیر کره زمین است (مسعودی عقدا، ۱۳۹۹).استان لرستان (منطقه مورد پژوهش) در سال‌های اخیر به دلیل مخاطرات محیطی وابسته به جو از جمله بارش‌های سنگین، سیل و خشک‌سالی سبب ایجاد اختلال در ابعاد گوناگون زندگی مردم نواحی ازجمله اقتصاد، فرهنگی، اجتماعی و زیست‌محیطی شده است. ناتوانی در تأمین آب شرب، کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و ... در بسیاری از نواحی مناطق لرستان فقط گوشه‌ای از مشکلات آب در این استان به حساب می‌آید. از این رو تعیین و محاسبه میزان روند تغییرات بعضی از عناصر اقلیمی و همین‌طور پیش‌بینی آن‌ها به خصوص بارش در برنامه‌ریزی‌ها ضروری این استان می‌باشد.هدف اصلی پژوهش این است که به مدل‌سازی تغییرات اقلیمی آینده استان لرستان با استفاده از داده‌های اقلیمی (بارش) در طی دوره‌ی ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۷ (۱۹۹۷-۲۰۱۸) و به کمک مدلLARS-WG در محیط ریز گردان HadGEM۲ بپردازد تا بتوانیم گام مهمی در جهت برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای این منطقه برداشته شود. همچنین پژوهش‌های متخلفی در این راستا در جهان صورت گرفته است. در زمره این پژوهش‌ها میزان بارش را برای منطقه سودان با

هفت مدل گردش عمومی جو بر اساس سناریوی A^2 و با استفاده از مدل LARS-WG پیش‌بینی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بارش بیان‌کننده یک عدم قطعیت زیاد در مدل گردش عمومی جو است (Chen, ۲۰۱۳).در ادامه این پژوهش به پیش‌بینی تغییرات بارش تابستانه در کره جنوبی با استفاده از سناریوهای مختلف RCP مدل LARS-WG پرداختند. نتایج نشان داد در دوره‌های آینده میزان بارش کاهش ولی شدت آن افزایش می‌یابد (Hyun Cha, ۲۰۱۶).صلاحی و همکاران (۲۰۱۷) به پیش‌نگری تغییرات دما و همچنین بارش با استفاده از مدل LARS-WG در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج کار آن ها نشان داد که این مدل توانایی لازم برای شبیه‌سازی تغییرات بارش در حوضه مورد مطالعه را دارد و بر اساس نتایج در دهه ۲۰۵۰ بارش به میزان ۱۲/۱ درصد کاهش خواهد یافت.حیدری و همکاران (۲۰۲۰) به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش با استفاده از مدل $HadGEM^2$ و LARS-WG و اثرات آن بر جریان رودخانه‌ای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد در دوره‌های آتی میزان بارش کاهش خواهد یافت.گودرزی و همکاران (۱۳۹٤) در مطالعه‌ای که برای پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو را با استفاده از مدل LARS-WG موردمطالعه قراردادند. نتایج کار آن‌ها نشان داد در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری در بین داده‌های واقعی و همین طور داده‌های که در نتیجه مدل وجود ندارد. در نهایت با مقایسه کردن مقدارهای میانگین ماهانه تولیدشده و مشاهداتی داده‌های روزانه بارش با استفاده کردن از پارامترهای آماری NA، RMSE و MAE اثبات شدن که مدل توانیی لازم را جهت تولید داده‌های روزانه در حوضه آبخیز قره‌سو استان گلستان را دارد و می‌توان با طراحی سناریوها در مدل LARS-WG داده‌های هواشناسی بارش را پیش‌بینی کرد.

نصیری و یارمرادی (۱۳۹۵) به پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی (آب و هوایی) استان لرستان در ۵۰ سال اخیر با استفاده از مدل $HADCM^3$ پرداختند. بر اساس برآورد مدل $HADCM^3$ برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی نامبردگان دریافتند که، میانگین بارش استان ۱۲/۰٤ درصد افزایش می‌یابد. طبق نتایج این تحقیق شرایط اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آینده تفاوت بخصوصی با شرایط فعلی آن خواهد داشت.

ورکشی و فصیحی (۱۳۹۷) به تحلیل و بررسی حاصل ریزمقیاس نمایی فراسنج‌های آب و هوایی برای آینده‌ی ایران با استفاده از مدل LARS-WG برای سه دوره ۳٤ ساله از سال ۲۰٤۵-۲۰۱۱، ۲۰٤٦-۲۰۷۹ و ۲۱۱۳-۲۰۸۰ پرداختند. نتایج نشان داد که در سطح کشور دما و تابش خورشیدی افزایش خواهد داشت. ضمن آنکه افزایش دمای هوا در دوره‌ی سرد سال در همه‌ی سناریوها محسوس‌تر از دوره‌ی گرم خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که در بین سناریوهای مورد بررسی سناریوی A^2 به عنوان بحرانی‌ترین سناریو افزایش ۲/۱۳ درصدی تابش و ۲٤/۵٦ درصدی دمای هوا و کاهش ۱۱/۵۹ درصدی بارش را تا سال ۲۱۱۳ پیش‌بینی کرد.جهانگیری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی روند تغییرات عناصر اقلیمی در طی ۲۰ سال اخیر در شهرستان بروجرد را با استفاده از مدل $HADCM^3$ بررسی و کارایی مدل LARS – WG را جهت تولید و شبیه‌سازی داده‌های روزانه‌ی دمای کمینه و بیشینه، بارش و ساعت آفتابی در شهرستان بروجرد را با استفاده از پارامترهای آماری RMSE، R^2، MAE و MBE آشکار کردند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد مدل $HadCM^3$ این قابلیت را دارد که داده روزانه تولید کند.کثیری و همکاران (۱۳۹۹) به پیش‌بینی بارش با استفاده از مدل $CanESM^2$ و SDSM در سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند. نتایج نشان‌دهنده کاهش بارش در منطقه مورد مطالعه بوده است.محمدی (۱۳۹۹) به بررسی و مطالعه روند و پیش-بینی بارش ایستگاه‌های منتخبی استان فارس با استفاده کردن از مدل گردش عمومی جو (LARS-WG,SDSM) پرداخت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بررسی روند تغییرات بارش در مدل سناریوی های B^2 و A^1 به ترتیب افزایش و کاهش برای مدل LARS-WG و برای مدل SDSM در تمامی ایستگاه‌های منطقه موردمطالعه نسبت به دوره پایه افزایش می‌باشد.

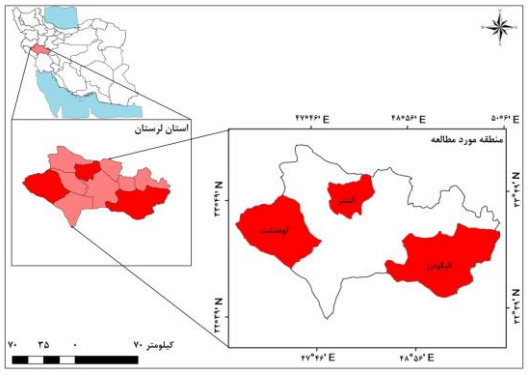
عرب سلغار و همکاران (۱٤۰۱) به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی با استفاده کردن از مدل‌های گردش عمومی جو با مدل‌های SDSM و LARS-WG تحت سناریوهای واداشت تابشی در حوضه آبریز دز پرداختند. نتایج نشان داد که هر دو مدل در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه مورد مطالعه از دقت مناسبی برخوردارند و علیرغم تفاوت-هایی در شبیه‌سازی، هیچ کدام بر دیگری برتری مطلقی ندارد. نتایج حاصل از پیش‌بینی نشان داد که در دوره‌های

آتی میزان بارش در سطح حوضه بین ۶/۳ تا ۱۵.۷- درصد نسبت به دوره پایه تغییر خواهد بود. بیش‌ترین تغییرات کاهشی و افزایشی نیز به ترتیب مربوط به نواحی شرقی و جنوب غربی حوضه خواهد بود.در خصوص مطالعات مرتبط به پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی، همان‌طور که قابل مشاهده است بیش‌ترین پژوهش‌هایی که در حال حاضر، نه تنها در کشورمان بلکه در سطح جهان، با استفاده کردن از سناریوهای انتشار گزارش مهم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم انجام شده و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی طبق سناریوهای RCP، در حال حاضر سهم کم‌تری داشته است. بنابراین به وضوح بالاتر و همچنین عملکرد بهتر سناریوهای RCP در مقابل با سناریوهای انتشار گزارش ویژه، لازم است تا پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی طبق این سناریوها جهت بررسی اثرات آن‌ها بر الگوهای گوناگون برای رسیدن به نتیجه‌های دقیق‌تر پیش‌بینی‌ها، از ملزومات مدل‌سازی‌های سال های اخیر است. در نهایت با توجه به بررسی نتایج پیشینه تحقیق این نتیجه حاصل شد، چون محققین زیادی چه در داخل کشور و چه در خارج از کشور جهت پیش‌بینی اقلیم آینده از مدل LARS-WG استفاده کرده و به نتایج مطلوبی هم دست یافته‌اند، لذا ما نیز بر آن شدیم تا در این بررسی برای ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ از مدل LARS-WG تحت سه سناریوی RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ استفاده خواهیم کرد.

۲- مواد و روش‌ها

- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (استان لرستان)

استان لرستان (منطقه مورد مطالعه) در غرب ایران بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این استان در غرب ایران با مساحتی بالغ بر ۲۸۰۶۴ کیلومترمربع در بخش کوهستانی کوه‌های زاگرس واقع شده که تقریبا ۸/۱ درصد از مساحت کل کشور می باشد. این استان از شمال به شهرستان‌های خمین، اراک، ملایر از استان همدان و شهرستان نهاوند و از شرق به شهرستان‌های فریدون، گلپایگان و فریدون‌شهر از استان اصفهان، از سمت جنوب به شهرستان‌های اندیمشک و دزفول و در نهایت از سمت از غرب به شهرستان‌های اسلام آباد، دره شهر و هریس محدود است. شکل ۱ و جدول ۱، موقعیت جغرافیایی و ویژگی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



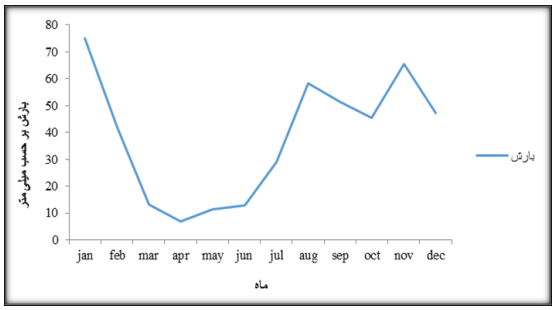
شکل ۱- محدوده مورد مطالعه (منبع: نگارنده)

جدول ۱- ویژگی ایستگاه‌های تحت بررسی منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	طول (درجه- دقیقه)	عرض (درجه- دقیقه)	ارتفاع
آلشتر	۴۸ ˚۲۵	۳۳ ˚۸۶	۱۶۰۵
الیگودرز	۴۹ ˚۴۲	۳۳ ˚۳۴	۲۰۲۲
کوهدشت	۴۷ ˚۶۰	۳۳ ˚۵۲	۱۱۹۲

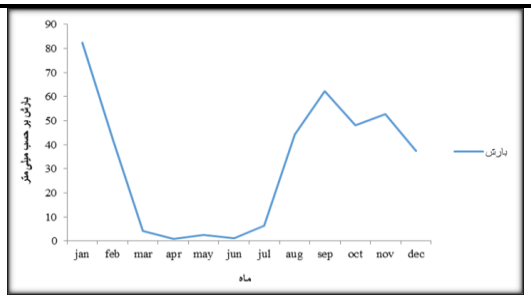
- تحلیل عناصر اقلیمی منطقه مورد مطالعه

طبق شکل ۲، که نشان دهنده نمودار بارش ایستگاه الشتر را در دوره‌ی آماری (۲۰۱۸-۱۹۹۷) بیش‌ترین میزان بارش در ژانویه به میزان ۷۵.۰۳ میلی‌متر و همچنین کم- ترین بارش مشاهداتی در ماه آوریل در حدود ۶.۹۵ میلی- متر است.



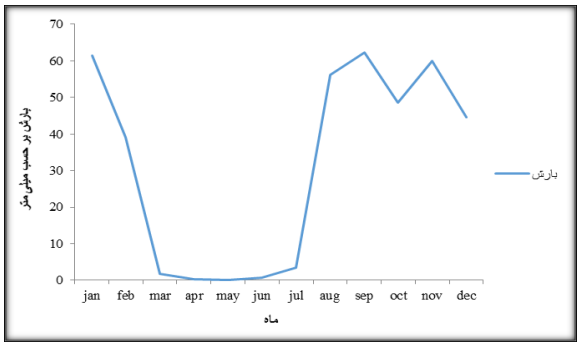
شکل ۲- تغییرات بارش در ایستگاه الشتر در دوره آماری مورد مطالعه

شکل ۳ نمودار بارش ایستگاه الیگودرز را در دوره‌ی آماری (۲۰۱۸-۱۹۹۷) نشان می‌دهد با مشاهده آمار بارندگی ماهانه و طبق این شکل، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بارش در مشاهداتی در ماه آوریل در حدود ۱.۰۳ میلی‌متر و ماه ژانویه ۸۲.۵۸ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۳ - تغییرات بارش در ایستگاه الیگودرز در دوره آماری مورد مطالعه

شکل ٤، نمودار بارش ایستگاه کوهدشت را در دوره‌ی آماری (۲۰۱۸-۱۹۹۷) نشان می‌دهد مطابق این شکل و با مشاهده آمار بارندگی ماهانه، بیش‌ترین میزان بارش در سپتامبر به میزان ٦۲.۳۸ میلی‌متر و کم‌ترین بارش مشاهداتی در ماه می در حدود ۰.۱۱ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ٤- تغییرات بارش در ایستگاه کوهدشت در دوره آماری مورد مطالعه

- طبقه‌بندی اقلیمی

جدول ۲، اقلیم‌های محاسبه شده با سه روش مختلف تعیین اقلیم منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از روش‌های مختلف طبقه‌بندی اقلیمی که صورت گرفت، نتیجه می‌گیریم منطقه مورد مطالعه از اقلیم نیمه‌خشک تا معتدل برخوردار است.

جدول ۲- طبقه‌بندی اقلیمی منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول دوره آماری	طبقه‌بندی اقلیمی کوپن	طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن	طبقه‌بندی اقلیمی بلر
الشتر	۲۰۱۸-۱۹۹۷	معتدل	مدیترانه‌ای	نیمه‌خشک
الیگودرز	۲۰۱۸-۱۹۹۷	سرد	نیمه‌خشک	نیمه‌خشک
کوهدشت	۲۰۱۸-۱۹۹۷	معتدل	نیمه‌خشک	نیمه‌خشک

- مدل HadGEM۲

در پژوهش حاضر برای آن‌که به نتیجه‌های مناسبی و مطلوبی در مورد مطالعه تاثیرات سناریوهای تغییرات اقلیمی بر متغیرهای اقلیمی استان لرستان دست‌یافت جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ از مدل LARS-WG٦ که یکی از مشهورترین و مهمترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است استفاده شد. این مدل جهت تولید مقادیر بارش در یک ایستگاه، در خصوص شرایط اقلیم پایه و همچنین آینده به کار رفته است. به همین دلیل با مطالعه‌ای که بر روی ایستگاه‌های گوناگون منطقه مورد مطالعه انجام شده است. داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های مبنا شامل ایستگاه‌های الیگودرز، آلشتر و کوهدشت جهت کوچک مقیاس‌سازی و همچنین پیش‌بینی بارش در طول سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفتند. سپس در پژوهش زیر برای اجرای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۲۱ ساله ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۷ (۲۰۱۸-۱۹۹۷) به عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز بارش از سازمان هواشناسی اخذ شد. بعد از مرتب‌سازی، پردازش و داده‌ها و تهیه‌ی فایل‌های ورودی، در نهایت مدل مورد مطالعه در پژوهش زیر برای دوره پایه اجرا شد. در مرحله بعدی نیز با استفاده از میانگین خطای مطلق (MAE)، آماره ضریب تعیین (R^2)، و همین طور 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، از این مدل برای ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ و همچنین تولید داده‌های مصنوعی برای سال‌های آینده ۲۰٤۰-۲۰۲۱ با استفاده از سه سناریوی RCP ۲,٦، RCP ۸,٥ و RCP ٤,٥ اجراشده و بر این اساس مقادیر روزانه پارامترهای مذکور تولید شد. وضعیت اقلیم و تغییرات آن در دوره زمانی ۲۰٤۰-۲۰۲۱ میلادی، از آمار ایستگاه هواشناسی استان لرستان شامل ایستگاه‌های الشتر، الیگودرز و کوهدشت استفاده شده است.

۳- بحث و یافته‌ها

در این بررسی جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ از مدل LARS-WG استفاده شده است. این مدل یکی از مهم‌ترین و

مشهورترین مدل‌های تولید داده‌های تصادفی وضع هوا است. برای اجرای نمودن این مدل در تحقیق حاضر، ابتدا در مرحله اول با در نظر گرفتن بازه زمانی ۲۱ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۷) به عنوان یک دوره پایه، داده‌های مورد استفاده از لحاظ مدل مقادیر روزانه بارش ۳ ایستگاه هواشناسی استان لرستان شامل: ایستگاه الشتر، الیگودرز و کوهدشت از اداره آمار و سازمان هواشناسی مرکز استان لرستان اخذ گردید. پس از مرتب‌سازی داده‌ها، پردازش و تهیه فایل-های ورودی، مدل برای بازه زمانی ۲۱ ساله پایه اجرا گردید. همچنین برای ارزیابی داده‌های تولیدشده از طریق مدل مورد استفاده تحقیق حاضر و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد. پس از اطمینان و بررسی از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با در نظر گرفتن به مقادیر بالای ضریب تعیین و همچنین مقادیر پایین شاخص‌های خطا سنجی مورد محاسبه قرار گرفته، این مدل برای ریزمقیاس نمایی شاخص‌های خطا سنجی محاسبه شده، از این مدل برای ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ و همچنین تولید داده‌ی مصنوعی برای بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ با استفاده از سه سناریوی RCP ۴.۵و RCP ۲,۶ و RCP ۸,۵ اجراشده و در نهایت به ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور تولید شد.

- ارزیابی و صحت‌سنجی مدل بر روی ایستگاه‌های مورد مطالعه

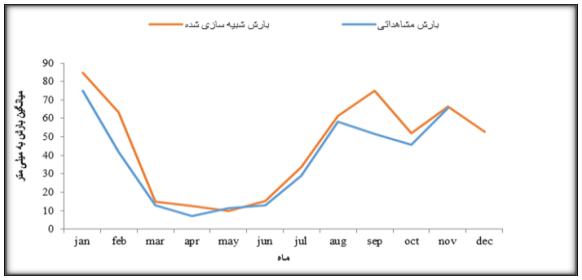
پس از تحلیل‌های و شبیه‌سازی های انجام شده به وسیله مدل، جهت ارزیابی توانمندی مدل در شبیه‌سازی داده‌های بارش با رسم نمودار در محیط نرم‌افزار اکسل مقایسه داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه‌های سینوپتیک الیگودرز، الشتر و کوهدشت انجام و نتایج حاصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت جدول ۳، نتایج به دست آمده از ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده از طریق مدل و داده‌های واقعی دوره پایه را نشان می‌دهد. چنانچه در این جدول مشاهده می‌شود، مقدارهای ضریب تعیین در همه موارد از میزان قابل توجهی برخوردار است. همچنین مقدارهای شاخص‌های خطا سنجی هم نسبتاً پایین که مؤید انطباق قابل قبول و نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده به وسیله مدل و مقادیر مشاهده شده دوره پایه می‌باشد. لذا با توجه به موارد بیان شده، توانایی و قابلیت مدل در داده سازی مورد تأیید و پس از آن به شبیه‌سازی داده‌ها برای ۲۰ سال آتی صورت گرفت.

جدول ۳- مقادیر آماره‌های واسنجی جهت ارزیابی مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۹۷)

ایستگاه	آماره	بارش
الشتر	R^2	۰/۹۳
	RMSE	۱۰/۱۹
	MAE	۷/۱۸
الیگودرز	R^2	۰/۹۸
	RMSE	٤/۹۹
	MAE	۳/۷۸
کوهدشت	R^2	۰/۹۹
	RMSE	٤/۱٦
	MAE	۲/۸۳

- ارزیابی و صحت‌سنجی مدل بر روی ایستگاه آلشتر

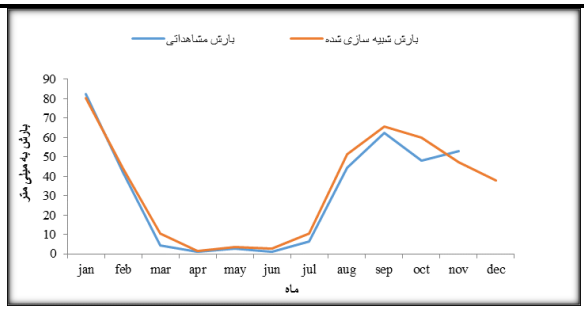
مطابق شکل ۵، در ایستگاه الشتر، میزان بارش در دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در تمامی ماه‌ها به غیر از ماه بهمن (ژانویه) و شهریور (سپتامبر) تفاوت اندکی و تقریباً یکسان بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده وجود دارد.



شکل ۵- تغییرات میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش آن‌ها در ایستگاه الشتر در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۷

- ارزیابی و صحت‌سنجی مدل بر روی ایستگاه الیگودرز

طبق شکل ٦، ایستگاه الیگودرز، میزان بارش در دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را در تمام ماه‌ها منطبق بودن بر هم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ٦، مقایسه بین مقادیر حاصل از خروجی مدل LARS-WG و مقادیر مشاهداتی بارش در ایستگاه الیگودرز در دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۹۷) قابلیت و توانایی مدل در داده‌سازی مورد تأیید قرارگرفته و پس از آن شبیه‌سازی داده‌ها برای دوره آینده صورت گرفته است.

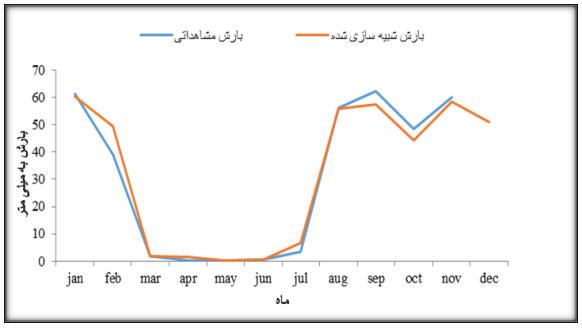


شکل٦- تغییرات میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده بارش در ایستگاه الیگودرز در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۷

- **ارزیابی و صحت‌سنجی مدل بر روی ایستگاه کوهدشت**

طبق شکل ۷، در ایستگاه کوهدشت، میزان بـارش در دوره شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در کل ماه‌ها شبیه هـم مـی-باشد.

با توجه به شکل ۷ مقایسه بین مقادیر حاصل از خروجی مدل LARS-WG و مقادیر مشاهداتی بارش در ایستگاه کوهدشت در دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۹۷) قابلیت و توانایی مدل در داده‌سازی مورد تأیید قرارگرفته و پس‌ازآن شبیه-سازی داده‌ها برای دوره آینده صورت گرفته است.



شکل ۷- تغییرات میانگین ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش در ایستگاه کوهدشت در دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۹۷.

- **ارزیابی مدل LARS-WG در مناطق مطالعاتی ایستگاه‌های الشتر، الیگودرز و کوهدشت**

برای حصول اطمینان از توانمندی مدل در تولید داده‌ها در آینده، داده‌های شبیه‌سازی شده را از طریق مدل مورد نظر با داده‌های مشاهداتی در منطقه مورد مطالعه، مقایسه شده است. در جدول ٤، نتایج آزمون کلموگراف اسمیرنوف بر روی پارامتر بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داده شده است. همین‌طور مقادیر (p-value) های آزمون کلموگراف اسمیرنوف جهت توابع احتمالاتی میانگین پارامتر بارش در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که در هر سه ایستگاه، در سطح معنی‌داری (سطح ۹۹ درصد) قابل اطمینان هستند که بیان‌گر آن است که در مدل LARS-WG، برای شبیه‌سازی متغیر بارش در دوره آتی توانایی لازم را دارا است.

جدول ٤- نتایج آزمون کای دو برای توزیع احتمالاتی بارش روزانه مدل LARS-WG در ایستگاه‌های آلشتر، الیگودرز و کوهدشت

ایستگاه	بارش	
	KS-test	P-value
الشتر	۰/۱۰	۰/۹٦
الیگودرز	۰/۱۸	۰/۷۸
کوهدشت	۰/۱۷	۰/۷٤

ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پارامتر بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آتی ۲۰٤۰-۲۰۲۱ میلادی

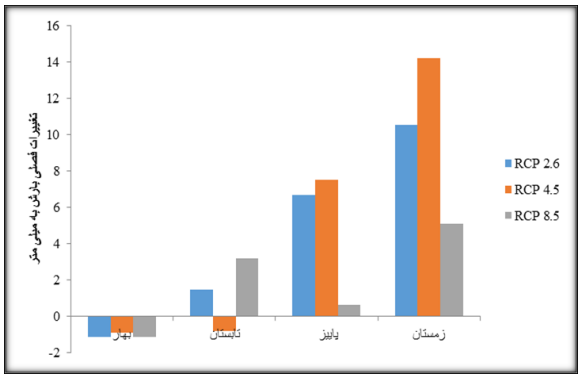
بعد از تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی داده‌های بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه، به پیش‌بینـی پـارامتر بارش با استفاده از مدل گردش عمومی جـو HadGEM۲ و تحـت سـه سـناریوی انتشـار RCP ۲,٦، RCP ٤,٥ و RCP ۸,٥ در دوره‌ی زمانی (۲۰٤۰-۲۰۲۱) پرداخته شده است.

- **نتایج پیش‌بینی بارش فصلی و سالانه در ایستگاه الشتر**

جدول ٥، نتایج پیش‌بینی تغییرات ماهانه بارش توسط مدل HadGEM۲ تحت سناریوی RCP ۲,٦، RCP ٤,٥ و RCP ۸,٥ می‌باشد. با توجه به این جدول می‌توان دریافت که بر اساس برآورد مدل، بارش در همه‌ی ماه‌های سال به استثنای ماه‌های می، ژوئن، جولای در هر سه سناریو و ماه فوریه در سناریوی RCP ۸,٥ افزایش خواهد یافت. بیش ترین میزان افزایش بارش در دی‌ماه می‌باشد که بر اساس سناریوهای RCP ۲,٦، RCP ٤,٥ و RCP ۸,٥ به ترتیب در حدود ۲۳/٤۰، ۳۰/٦۷ و ۱۰/۷۸ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به تغییرات میانگین سالانه بارش ایستگاه آلشتر جدول ٥، افزایش میانگین بارش سالانه به ترتیب طبق سناریوی RCP ۲,٦ ٤/۹، RCP ٤,٥ ٥ و RCP ۸,٥ ۲ میلی‌متر می‌باشد. سناریوی RCP ٤,٥، افزایش بارش بیش‌تر و سناریوی RCP ۸,٥، بارش کم‌تری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

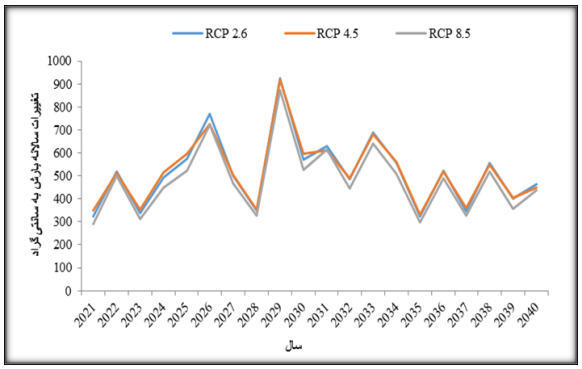
تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه الشتر شکل ۸، نیز معرف افزایش بارش در فصل زمستان و کاهش بارش در فصل بهار با هر سه سناریو می‌باشد. بیش‌ترین میزان افزایش بارش در فصل زمستان با هر سه سناریوی RCP ۲,٦، RCP ٤,٥ و RCP ۸,٥ می‌باشد که سناریوی RCP ٤,٥ با ۱٤/۲۱ میلی‌متر، افزایش بارش بیش‌تری

نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار کاهش بارش در فصل بهار مربوط دو سناریوی RCP ۲,۶ و RCP ۸,۵ در حدود ۱/۱۴- میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۸- پیش‌بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه الشتر در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای مدل HadGEM۲.

همچنین شکل ۹، نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه آلشتر را در دوره آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ توسط مدل HadGEM۲ با هر سه سناریو را نشان می‌دهد که بیانگر وجود چندین نقطه فراز با کاربرد سناریوهای RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در سال‌های ۲۰۲۶، ۲۰۲۹، ۲۰۳۳، ۲۰۳۶، ۲۰۳۸ و نقاط حضیض در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۸، ۲۰۳۵، ۲۰۳۷ و ۲۰۳۹ می‌باشد. مطابق شکل ۹، مقادیر پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه الشتر تحت مدل HadGEM۲ با استفاده از هر سه سناریو تغییر اقلیم، بیان گر روند کاهش بارندگی در سال‌های آتی می‌باشد.

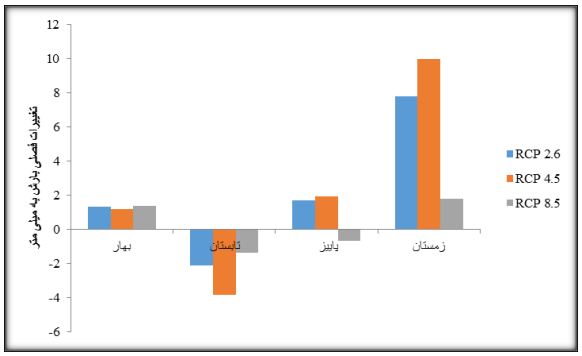


شکل ۹- نمودار میانگین سالانه بارش پیش‌بینی‌شده در ایستگاه آلشتر طی دوره آماری ۲۰۴۰-۲۰۲۱

- **نتایج پیش‌بینی بارش فصلی و سالانه در ایستگاه الیگودرز**

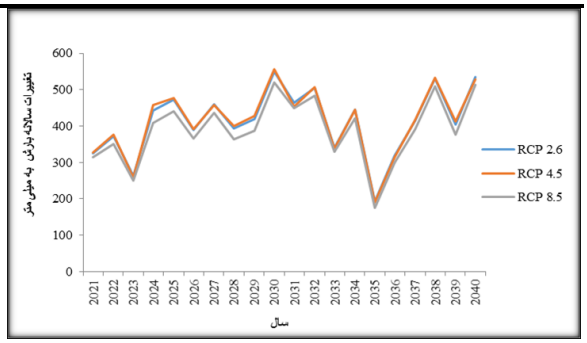
جدول ٦، نتایج پیش‌بینی تغییرات ماهانه بارش توسط مدل HadGEM۲ تحت سناریوی RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ می‌باشد. با توجه به این جدول می‌توان دریافت که بر اساس برآورد مدل، بارش بر اساس سناریوی RCP ۲.٦ در ماه فوریه، آگوست و سپتامبر؛ بر اساس سناریوی RCP ۴,۵ در ماه آگوست و سپتامبر و طبق سناریوی RCP ۸.۵ فوریه، 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 الیگودرز جدول ٦، افزایش بارش به ترتیب طبق سناریوی RCP ۲,۶، ۲/۱۹ RCP ۴,۵، ۲/۳۳ و RCP ۸,۵ ۰/۳۱ میلی‌متر می‌باشد. سناریوی RCP ۴,۵، افزایش بارش بیش‌تر و سناریوی RCP ۸,۵، بارش کم‌تری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی نشان می‌دهد.

تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه الیگودرز شکل ۱۰، نیز معرف افزایش بارش در فصل زمستان و کاهش بارش در فصل تابستان با هر سه سناریو، همچنین کاهش بارش در ماه آخر فصل پاییز می‌باشد. بیش‌ترین میزان افزایش بارش در فصل زمستان با هر سه سناریوی RCP ۲.٦، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ می‌باشد که سناریوی RCP ٤.٥ با ۱۰ میلی‌متر، افزایش بارش بیش‌تری نسبت به دو سناریوی دیگر نشان می‌دهد. بیش‌ترین میزان کاهش بارش نیز با مقدار ۳/۸۳- میلی‌متر در فصل تابستان مربوط به RCP ۴,۵ می‌باشد.



شکل ۱۰- پیش‌بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه الیگودرز در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای مدل HadGEM۲.

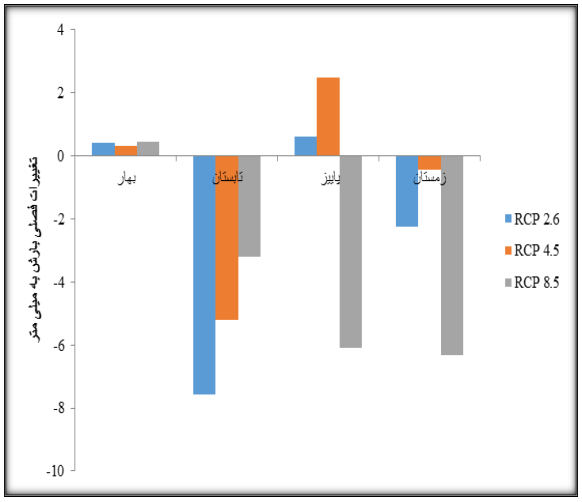
همچنین شکل۱۱ نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه الیگودرز را در دوره آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ توسط مدل HadGEM۲ با هر سه سناریو را نشان می‌دهد که بیان‌گر وجود چندین نقطه فراز با کاربرد سناریوهای RCP ۲,۶، RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ در سال‌های ۲۰۲۵، ۲۰۳۰ و ۲۰۳۴، ۲۰۳۸، ۲۰۴۰ و نقاط حضیض در سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۸، ۲۰۳۵ و ۲۰۳۹ می‌باشد.



شکل ۱۱- نمودار میانگین سالانه بارش پیش‌بینی‌شده در ایستگاه الیگودرز طی دوره آماری ۲۰۴۰-۲۰۲۱.

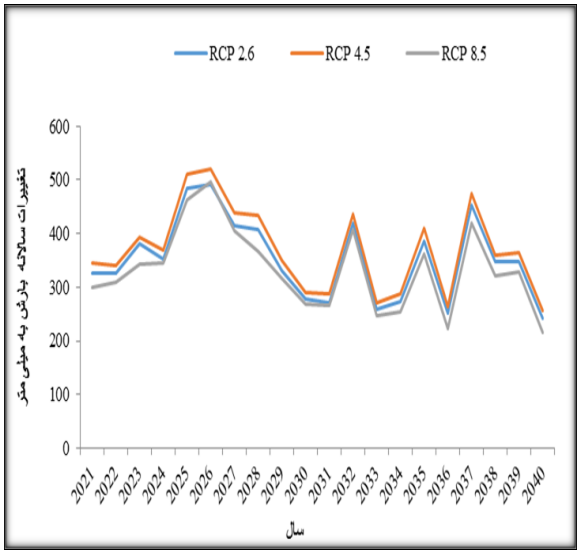
- **نتایج پیش‌بینی بارش فصلی و سالانه در ایستگاه کوهدشت**

جدول۷، نتایج پیش‌بینی تغییرات ماهانه بارش ایستگاه کوهدشت توسط مدل HadGEM۲ تحت سناریوی RCP ۲.٦، RCP ٤,٥ و RCP ٨,٥ می‌باشد. با توجه به این جدول می‌توان دریافت که طبق برآورد مدل، بارش با استفاده از هر سه سناریو در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آگوست، 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 کوهدشت، کاهش بارش به ترتیب طبق سناریوی RCP ۲/۲۰۲.٦، RCP ٤,٥ ۰/۷۰- و RCP ٨,٥ ۳/۸۰- میلی‌متر می‌باشد. سناریوی RCP ٨,٥، بارش کمتری را در بیست سال آینده نسبت به دوره پایه مطالعاتی را نشان می‌دهد. تغییرات فصلی پارامتر اقلیمی بارش ایستگاه کوهدشت شکل ۱۲، نیز معرف کاهش بارش در فصل تابستان، آخرین ماه پاییز و فصل زمستان می‌باشد که به ترتیب سناریوی RCP ۲,٦ به میزان ۷/۵۸- میلی‌متر در فصل تابستان و RCP ٨,٥ با ٦/۳۳- میلی‌متر در فصل زمستان کاهش بارش بیش‌تری نسبت به سناریوی دیگر نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- پیش‌بینی تغییرات فصلی بارش ایستگاه کوهدشت در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای مدل HadGEM۲.

همچنین شکل ۱۳، نتایج پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه کوهدشت را در دوره آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰٤۰ توسط مدل HadGEM۲ با هر سه سناریو را نشان می‌دهد که بیان‌گر وجود چندین نقطه فراز با کاربرد سناریوهای RCP ۲,٦، RCP ٤,٥ و RCP ٨,٥ در سال‌های ۲۰۲٦، ۲۰۳۲ و ۲۰۳۵، ۲۰۳۷ و نقاط حضیض در سال‌های ۲۰۲٤، ۲۰۳۱، ۲۰۳۳، ۲۰۳٦ و ۲۰٤۰ می‌باشد. بیش‌ترین بارش سالانه ۵۲۰ میلی‌متر در سال ۲۰۲٦ و کم‌ترین مقدار بارش سالانه در سال‌های ۲۰۳٦ و ۲۰٤۰ به ترتیب در حدود ۲۲۳ و ۲۱٦ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱۳- نمودار میانگین سالانه بارش پیش‌بینی شده در ایستگاه کوهدشت طی دوره آماری ۲۰٤۰-۲۰۲۱.

جدول ۵- تغییرات و نرمال ماهانه حالت پایه و ۲۰ سال آتی بارش ایستگاه الشتر طبق سناریوهای مدل HadGEM۲.

پارامتر	سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	میانگین سالانه
نرمال بارش	حالت پایه	۰۳/۷۵	۸۱/۴۱	۰۳/۱۳	۶/۹۵	۱۱/۳۳	۹۰/۱۲	۸۸/۲۸	۳۷/۵۸	۴۹/۵۱	۵۷/۴۵	۵۵/۶۵	۲۹/۴۷	۳۸/۲
	RCP ۲.۶	۴۳/۹۸	۹۷/۴۵	۰۵/۲۳	۱۶	۴/۲۱	۷/۵۵	۶۸/۲۴	۷۱/۶۱	۸۳/۵۶	۷۰/۵۳	۳۹/۷۱	۳۷/۵۳	۴۳/۱
	RCP ۴.۵	۷۰/۱۰۵	۹۵/۴۷	۸۵/۱۸	۷۶/۱۷	۴/۰۹	۶/۷۱	۱۶/۱۹	۴۸/۵۵	۶۷/۶۱	۱۰/۵۲	۲۴/۷۰	۶۱/۵۸	۴۳/۲
	RCP ۸.۵	۸۱/۸۵	۴۸/۳۹	۹۷/۱۹	۷۰/۱۵	۴/۳۴	۷/۷۱	۱۸/۲۷	۷۸/۶۶	۳۸/۵۴	۵۶/۴۷	۱۷/۶۵	۶۶/۷۴	۴۰/۱
تغییرات	RCP ۲.۶	۴۰/۲۳	۴/۱۵	۰۲/۱۰	۹/۰۵	-۷/۱۲	۵/۳۵ -	۴/۲۰ -	۳/۳۴	۵/۳۴	۸/۱۳	۵/۸۳	۶/۰۸	۴/۹
	RCP ۴.۵	۶۷/۳۰	۶/۱۴	۵/۸۲	۸۱/۱۰	-۷/۲۵	۶/۱۹ -	۹/۷۲ -	۲/۹۰ -	۱۸/۱۰	۶/۵۳	۴/۶۹	۳۲/۱۱	۵
	RCP ۸.۵	۷۸/۱۰	۲/۳۴ -	۶/۹۴	۸/۷۵	-۶/۹۹	۵/۱۹ -	۱/۷۱ -	۸/۴۰	۲/۸۹	۱/۹۹	۰/۳۸ -	۰/۳۷	۲

جدول ۶- تغییرات و نرمال ماهانه حالت پایه و ۲۰ سال آتی بارش ایستگاه الیگودرز طبق سناریوهای مدل HadGEM۲.

پارامتر	سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	بارش سالانه
نرمال بارش	حالت پایه	۵۸/۸۲	۱۰/۴۲	۴/۳۶	۱/۰۳	۲/۶۴	۱/۲۵	۶/۳۹	۳۶/۴۴	۲۵/۶۲	۱۱/۴۸	۷۹/۵۲	۵۸/۳۷	۳۲/۱۲
	RCP ۲.۶	۷۱/۱۰۴	۷۴/۴۱	۶/۰۱	۱/۸۶	۵/۷۱	۱/۴۳	۶۶/۱۱	۷۱/۴۲	۳۱/۵۲	۸۹/۵۰	۵۳/۵۴	۲۱/۳۸	۳۴/۳۱
	RCP ۴.۵	۷۸/۱۱۱	۴۳/۴۲	۴/۹۲	۱/۶۳	۵/۵۹	۱/۳۱	۹/۶۴	۹۳/۳۸	۹۳/۵۲	۴۶/۴۹	۸۱/۵۴	۰۶/۴۰	۳۴/۴۵
	RCP ۸.۵	۷۴/۹۲	۶۲/۳۶	۵/۱۸	۱/۸۲	۵/۸۳	۱/۴۵	۷۸/۱۲	۴۵/۴۵	۷۷/۵۰	۴۶/۴۹	۴۷/۵۲	۶۲/۳۴	۳۲/۴۳
تغییرات	RCP ۲.۶	۱۳/۲۲	۰/۳۶ -	۱/۶۵	۰/۸۳	۳/۰۷	۰/۱۸	۵/۲۷	۱/۶۶ -	۹/۹۴ -	۲/۷۸	۱/۷۴	۰/۶۳	۲/۱۹
	RCP ۴.۵	۲۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۵۵	۰/۶۰	۲/۹۵	۰/۰۶	۳/۲۵	۵/۴۳ -	۹/۳۲ -	۱/۳۵	۲/۰۱	۲/۴۷	۲/۳۳
	RCP ۸.۵	۱۶/۱۰	۵/۴۹ -	۰/۸۲	۰/۷۹	۳/۱۹	۰/۲۰	۶/۳۹	۱/۰۹	۴۸/۱۱ -	۱/۳۵	۰/۳۲ -	۲/۹۶ -	۰/۳۱

جدول ۷- تغییرات و نرمال ماهانه حالت پایه و ۲۰ سال آتی بارش ایستگاه کوهدشت طبق سناریوهای مدل HadGEM۲.

پارامتر	سناریو	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	میانگین سالانه
نرمال بارش	حالت پایه	۳۹/۵۱	۰۲/۳۹	۱/۷۲	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۶۹	۳/۵۶	۲۷/۵۶	۳۸/۶۲	۴۸/۵۵	۵۹/۸۹	۶۹/۴۴	۳۱/۵۵
	RCP ۲.۶	۸۶/۵۶	۵۷/۳۷	۱	۱/۰۵	۰/۱۳	۱/۱۷	۶/۳۱	۲۳/۴۸	۹۲/۴۴	۴۲/۱۷	۵۷/۱۰	۶۸/۵۵	۲۹/۳۵
	RCP ۴.۵	۹۱/۶۱	۰۹/۳۸	۰/۸۵	۰/۹۱	۰/۱۲	۱/۰۴	۵/۹۰	۳۴/۵۱	۳۴/۴۹	۴۰/۳۷	۵۹/۲۷	۶۱	۳۰/۸۴
	RCP ۸.۵	۳۶/۴۹	۸۸/۳۲	۰/۸۹	۱/۰۶	۰/۱۳	۱/۲۵	۷/۸۲	۷۹/۶۰	۹۹/۴۳	۳۵/۷۱	۵۰/۲۵	۸۶/۴۸	۲۷/۷۵
تغییرات	RCP ۲.۶	۴/۵۴ -	۱/۴۵ -	۰/۷۳ -	۰/۷۶	۰/۰۲	۰/۴۸	۲/۷۵	۸/۰۴ -	۴۷/۱۷ -	-۶/۳۹	-۲/۷۹	۹۹/۱۰	-۲/۲۰
	RCP ۴.۵	۰/۵۲	۰/۹۴ -	۰/۸۸ -	۰/۶۲	۰/۰۱	۰/۳۵	۲/۳۴	۴/۹۳ -	۰۵/۱۳ -	-۸/۱۹	-۰/۶۳	۳۱/۱۶	-۰/۷۰
	RCP ۸.۵	۰۴/۱۲ -	۶/۱۴ -	۰/۸۴ -	۰/۷۷	۰/۰۲	۰/۵۶	۴/۲۶	۴/۵۲ -	۴۰/۱۸ -	-۱۲/۸۴	-۹/۶۴	۴/۱۷	-۳/۸۰

٤- نتیجه‌گیری

ابتدا در این پژوهش با اجرای نمودن مدل LARS-WG داده‌های روزانه بارش در ایستگاه‌های منتخب استان لرستان شامل ایستگاه‌های الشتر، الیگودرز و کوهدشت با طول دوره‌ی آماری مشترک شبیه‌سازی شد که نتایج به دست آمده، حاکی از توانایی بالای مدل یادشده مولد هواشناسی تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده می‌باشد. در مرحله بعدی با استفاده از جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، آماره ضریب تعیین (R^2) و همین‌طور میانگین خطای مطلق (MAE) و بررسی نتایج حاصل از مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با در نظر گرفتن مقدار بالای ضریب تعیین و همچنین مقدار پایین شاخص‌های خطا سنجی محاسبه‌شده است، با استفاده نمودن از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل HadGEM۲ بر اساس سه سناریوی تغییر اقلیم RCP ۲,٥، RCP ٤,٥ و RCP ۸,٥ در دوره آتی ۲۰٤۰-۲۰۲۱ میلادی به پیش‌بینی اقلیم ایستگاه‌های منتخب استان لرستان گردید.

نتایج پیش‌بینی مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ تحت سناریوهای انتشار RCP ۲,٦، RCP ٤,٥ و RCP ۸.٥ داده‌های میانگین بارش سالانه ایستگاه الشتر در مقایسه با داده‌های دوره پایه روند افزایشی داشتند. میانگین بارش سالانه ایستگاه الشتر در دوره پایه ۳۸/۲ میلی‌متر است که در مقایسه با خروجی به دست‌آمده از مدل‌های گردش عمومی جو HadGEM۲ در آینده روندی افزایشی دارد که این افزایش به ترتیب طبق سه سناریوی مذکور در حدود ۹، ۲ /۹ و ٦ /۳ میلی‌متر می‌باشد و بارش به استثنای فصل بهار و اواسط فصل تابستان در بقیه فصول و ماه‌ها روند افزایشی نشان داد.

نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ تحت سناریوهای انتشار RCP ۲,٦، RCP ٤.٥ و RCP ۸,٥ داده‌های میانگین بارش سالانه ایستگاه الیگودرز در مقایسه با داده‌های دوره پایه دارای روند افزایشی را نشان می‌دهد. میانگین بارش سالانه الیگودرز در دوره پایه ۳۲/۱۲ میلی‌متر می‌باشد؛ در مقایسه با خروجی حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو HadGEM۲ در آینده روندی افزایشی دارد که به ترتیب طبق سه سناریوی مذکور در حدود ۲/۱۹، ۲/۳۳ و ۰/۳۱ میلی‌متر افزایش خواهد داشت و بارش به استثنای فصل تابستان و اواخر فصل پاییز در بقیه فصول و ماه‌ها روند افزایشی نشان داد.

نتایج حاصل از پیش‌بینی داده‌های میانگین بارش سالانه ایستگاه کوهدشت مدل گردش عمومی جو HadGEM۲ تحت سناریوهای انتشار RCP ۲,٦، RCP ٤,٥ و RCP ۸.٥ در مقایسه با داده‌های دوره پایه دارای روند کاهشی را نشان می‌دهد. میانگین بارش سالانه کوهدشت در دوره پایه ۳۱.٥٥ میلی‌متر می‌باشد؛ در مقایسه با خروجی حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو HadGEM۲ در آینده روندی کاهشی دارد که به ترتیب طبق سه سناریوی RCP ۲.٦، RCP ٤,٥ و RCP ۸,٥ در حدود ۲/۲۰-، ۰/۷۰- و ۳/۸۰- میلی‌متر کاهش خواهد داشت و پارامتر بارش به استثنای فصل بهار که افزایش جزئی دارد در بقیه فصول روند کاهشی نشان داد.

این نتایج نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه در ۲۰ سال آتی تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت.

منابع

- بیات ورکشی، م.، فصیحی، ر.، ۱۳۹۷. تحلیل نتایج ریزمقیاس نمایی فراسنج‌های آب و هوایی برای آینده‌ی ایران، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۲٦، ص ۸۷-۷۳.
- جنت‌رستمی، س.، محمودپور، ه.، ۱۳۹۸. ارزیابی زیست محیطی استخراج منابع آب‌های زیرزمینی با رویکرد رابطه آب و انرژی، نشریه علوم آب و خاک، سال ۲۳، شماره ٤، ص ۲٤۰-۲۳۷.
- جهانگیر، م.، نوروزی، ا.، یاراحمدی، ی.، ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شهرستان بروجرد با استفاده از مدل HADCM، نشریه اکو هیدرولوژی، سال ۵، شماره ٤، ص ۱۳۵۳-۱۳٤۵.
- دانش فر، م.، فلاح، ف.، حقی زاده، ع.، ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد با استفاده از مدل‌های HADCM۳ و BCM۲، یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.

- کثیری، م.، گودرزی، م.، جانباز قبادی، غ.، متولی، ص.، ۱۳۹۹. چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۳، شماره ۴۷، ص ۱۰۴ – ۸۹.
- گودرزی، م.، خسروانیان، ج.، حجازی، ا.، ۱۳۹۴. کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۱، شماره ۵۱، ص ۲۷۹-۲۶۳.
- محمدی، ی.، ۱۳۹۹. بررسی روند و پیش‌بینی بارش و دما در ایستگاه‌های منتخب استان فارس با استفاده از مدل گردش عمومی جو (LARS-WG، SDSM): پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته آب و هواشناسی، دانشگاه یزد.
- 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، شماره ۹، ص ۳۰-۱۵.
- مسعودی عقدا، م.، ۱۳۹۹. تحلیل اثرات تغییر اقلیم (دما و بارش) بر آب‌های سطحی سد لتیان: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته‌ی آب و هواشناسی، دانشگاه یزد.
- نصیری، ب.، یارمرادی، ز.، ۱۳۹۵. پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آتی با استفاده از مدل HADCM۳، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره ۱، ص ۱۵۳-۱۴۳.
- سلیمانی، پ.، ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های ریزمقیاس نمایی لارس، فاکتور تغییرات و SDSM در پیش‌بینی دما و بارش (منطقه مورد مطالعه: ایستگاه باغملک): پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته‌ی مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- عرب سلغار، ع.، پرهمت، ج.، گودرزی، ن.، ۱۴۰۱. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و مقیاس کاهی مدل‌های SDSM و LARS-WG تحت سناریوهای واداشت تابشی در حوضه آبریز دز، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۴، شماره ۵۵، ص ۱۴۹-۱۲۹.
- Chen, H., et al. ۲۰۱۳. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. Theor Appl Climatol.Vol. ۱۱۳, P. ۳۶۳–۳۷۵
- Heydari, S., et al. ۲۰۲۰. Investigating The Effects of Climate Change On Stream Flows of Urmia Lake Basin in Iran, Modeling Earth Systems and Environment, Vol. ۱, P. ۳۲۹-۳۳۹.
- Salahi, B., et al. ۲۰۱۷. Predicting the temperature and precipitation changes during the ۲۰۵۰s in Urmia Lake Basin, Watershed engineering and management, Vol. ٤, P. ٤۲٥-٤۳۸.

Precipitation Forecast of Three Stations of Lorestan Province in the Next ۲۰ Years

Shahab Heydari[۱], Bromand Salahi[*۲], Batoul Zeynali[۳], Elhame Pour Ghasemi[۴]

[۱] M. A. of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[۲] Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[۳] Associate Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

[۴] M. A. of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Corresponding author email: bromand٤١٦@yahoo.com

Abstract

Using R۲, MAE, and RMSE statistical parameters, the feasibility of the LARW-WG model for producing and simulating daily rainfall data in the study areas was examined in this study. As a result, after confirming the model's capability, the HadGEM۲ atmospheric general circulation model was used to forecast the changes in rainfall in the study area for the future period of ۲۰۲۱ to ۲۰٤۰. The results showed that at the confidence level of ۹۹٪ there is no significant difference between the real data and the data obtained from the model, and the model has the necessary efficiency to generate daily data. According to Elshtar stations forecasted climatic parameters, annual rainfall would rise by ۳,٦ to ۹ mm on average, and in Aliguderz station, rainfall will rise by ۰,۳۱ to ۲,۳۳ mm on average. indicated an improvement. Additionally, it is expected that the precipitation parameter in Kohdasht station would drop from -۰,۷۰ to -۳,۸۰ mm. Elshtar station showed an increase in all seasons except for spring, and Aligudarz station showed an increase in all other seasons except for summer, with the exception of Kohdasht station, which decreased in all seasons. These findings indicate that the climate in the province of Lorestan will change drastically from the current climate during the next ۲۰ years. Kohdasht station's findings indicate that rainfall will be less than at the other two locations.

Introduction

The most significant issues of the twenty-first century are known to be climate change and its effects, particularly global warming. The world's industrialized nations have been focused on the topic of climate change as one of their top concerns in recent years. One of the most significant and fundamental environmental problems in recent years is the changing climate brought on by the release of greenhouse gases and the rise in energy use. Many scientists think that the rise in greenhouse gas emissions is what drives climate change and global warming. The increase in greenhouse gases, which affects air temperature, precipitation patterns, wind speed, and temperature globally, is to blame for climate change. Water resources, the frequency and severity of floods, droughts, and hydrological processes are all significantly impacted by climate change; hence, several studies have been carried out to examine climate changes at various scales. Scientists now concur that the primary causes of climate change are believed to be rising greenhouse gas emissions and global warming. The primary resource for recreating past, present, and future global climates as well as various climate change scenarios is integrated climate models. The difference in climate change today is that it is occurring more quickly than ever before, and that humans have contributed significantly to this warming. Threatened by climate change. War and conflict are not directly brought on by climate change, but it can result in global instability, starvation, poverty, and violence. According to research, climate change has implications on things like rainfall patterns, historical instability, global warming, water resources and water levels, oceans and seas, groundwater levels, agricultural productivity, and economic and social issues.

Methodology

The Lorestan Province (study region) is situated in western Iran between ۳۲°۳۷' and ۳٤°۱۲' north latitude and ٤٦°٥۱' to ٥۰°۳' east longitude from the Greenwich meridian. With a land area of ۲۸۰٦٤ square kilometers in the mountainous region of the Zagros Mountains, this province makes up roughly ۱,۸٪ of Iran's total land area. It is situated in the west of the country. Khomein, Arak, Malayer, and Nahavand city are its northern neighbors. Feridon, Golpayegan, and Feridonshahr are its eastern neighbors; Andimshek and Dezful are its southern and southernmost cities; and Islamabad, Dareh Shahr, and Haris are its westernmost cities. In order to microscale the data of the HadGEM۲

atmospheric general circulation model from the LARS-WG٦ model, one of the most well-known and significant models, and because it achieved good and favorable results regarding the study of the effects of climate change scenarios on the climate variables of Lorestan province, random weather data generators were used. In accordance with current and projected climate conditions, this model is used to generate precipitation values at a station. Due to this, a study on numerous stations in the research region was done. Scaling and rainfall forecasting were done in recent years using the daily rainfall data from the base stations, such as Aliguderz, Elshtar, and Kohdasht stations. The necessary rainfall data was then gathered from the Meteorological Organization for use in the subsequent research's model implementation by first using the ٢١-year period between ١٣٧٦ and ١٣٩٧ (١٩٩٧-٢٠١٨) as the basis period.

Conclusion

According to the HadGEM٢ atmospheric general circulation model's prediction results for the RCP ٢,٦, RCP ٤,٥, and RCP ٨,٥ emission scenarios, Elshtar station's average annual precipitation data showed an upward trend compared to base period data. Elshtar station's average annual precipitation for the base period was ٢٣٨,٢ mm, which shows an upward trend in comparison to the predictions made by HadGEM٢ atmospheric general circulation models. With the exception of spring and mid-summer, it is ٣,٩ and ٦ mm, while the rest of the seasons and months saw an increase in rainfall. According to the predictions made by the HadGEM٢ atmospheric general circulation model under the RCP ٢,٦, RCP ٤,٥, and RCP ٨,٥ emission scenarios, the average annual precipitation data at the Aliguderz station are trending higher than the data from the base period. The average annual rainfall in Oligoderes during the base period was ٣٢,١٢ mm. In comparison to the predictions of the HadGEM٢ atmospheric general circulation models, there is an increasing trend in the coming years; the rainfall will rise overall, with the exception of the summer, by ٢,١٩, ٢,٣٣, and ٠,٣١ mm, respectively. Additionally, the end of the autumn season revealed an upward trend for the remaining months and seasons. The HadGEM٢ atmospheric general circulation model's predictions of the average annual precipitation data at Kohdasht station under the RCP ٢,٦, RCP ٤,٥, and RCP ٨,٥ emission scenarios indicate a decreasing trend compared to the data from the base period. In the base period, Kohdasht experiences an average annual precipitation of ٣١,٥٥ mm. According to the three scenarios RCP ٢,٦, RCP ٤,٥, and RCP ٨,٥, there is a decreasing trend in comparison to the output of HadGEM٢ atmospheric general circulation models in the future, which is roughly -٢,٢٠, -٠,٧٠, and -٣,٨٠ mm, respectively. With the exception of the spring season, which had a minor rise, the precipitation parameter exhibited a decreasing tendency throughout the other seasons.

Keywords: Climate change; Rain; Lorestan province; Risk Assessment; HadGEM٢ Model