

پیش‌بینی دمای کمینه و بیشینه، تابش و بارش در ایستگاه سینوپتیک رشت تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

نادر پیرمردیان^۱

حسین هادی‌نیا^۲

افشین اشرف‌زاده^۳

چکیده

پیش‌بینی و ارزیابی میزان تغییرات پارامترهای هواشناسی در اثر تغییر اقلیم به‌ویژه از منظر مدیریت منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار است. مدل LARS یک مدل تولیدکننده داده‌های هواشناسی است که با ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) اقدام به پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی می‌نماید. در این مطالعه، ابتدا برای ارزیابی عملکرد ۱۵ مدل مختلف گردش عمومی جو در شبیه‌سازی داده‌های بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک رشت در دوره (۲۰۱۱-۲۰۱۲)، ریزمقیاس آماری هر کدام از مدل‌های GCM توسط مدل LARS انجام پذیرفت. سپس پیش‌بینی پارامترهای مذکور بر پایه مدل‌های GCM منتخب برای دو دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۳-۲۰۴۲ و ۲۰۷۲-۲۰۴۳ انجام شد. نتایج پیش‌بینی نشان داد در مورد پارامترهای دمای کمینه و بیشینه بیش‌ترین تغییرات میانگین بلندمدت سالانه نسبت به دوره پایه، در دوره ۳۰ ساله دوم و به ترتیب تحت سناریوهای A2 و A1B و به میزان ۱/۳ و ۲/۰ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. روند تغییرات تابش در دوره‌های آینده و برای تمام فصول سال کاهش خواهد بود. بیش‌ترین کاهش تحت سناریوی A2 و در دوره دوم ۳۰ ساله به میزان ۱۴۳/۴ مگاژول بر مترمربع و در فصل زمستان رخ خواهد داد. میزان بارش، در اکثر فصول سال در دوره‌های آتی افزایش خواهد داشت. بر این اساس، بیش‌ترین افزایش در دوره ۳۰ ساله دوم تحت سناریوی B1 به مقدار ۵۵/۵ میلی‌متر و در فصل پاییز خواهد بود.

واژگان کلیدی: مدل‌های گردش عمومی جو، LARS-WG، تغییر اقلیم، رشت.

1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
Email: npirmoradian@guilan.ac.ir

2- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

3- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

مقدمه

اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که برطبق شواهد موجود در اثر تغییر مقدار گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های بشری در حال تغییر است. از طریق پیش‌بینی و بررسی میزان تغییرات پارامترهای هواشناسی در آینده می‌توان راهکارهای مناسب برای کاهش اثرات مخرب پدیده تغییر اقلیم را اتخاذ نمود. یکی از معتبرترین روش‌ها برای ارزیابی اثرات پدیده تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) است. این مدل‌ها تغییرات حاصل از اثر گازهای گلخانه‌ای بر پارامترهای هواشناسی را پیش‌بینی می‌کنند. از آن جا که این مدل‌ها دارای قدرت تفکیک مکانی پایینی هستند، لازم است که خروجی این مدل‌ها ریزمقیاس شود. برای این کار از یکی از دو روش دینامیکی یا آماری استفاده می‌شود (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۷). یکی از ابزارهای ریزمقیاس کردن خروجی این مدل‌ها به روش آماری، استفاده از مدل LARS-WG است. مدل LARS-WG یک تولیدکننده داده‌های هواشناسی است که برای شبیه‌سازی بارش و احتمال وقوع آن از روش توزیع نیمه‌تجربی و زنجیره مارکف و برای شبیه‌سازی تابش از روش توزیع نیمه‌تجربی و برای مدل‌سازی دما از سری فوریه استفاده می‌کند (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲: ۱۱). مدل مذکور با استفاده از یک سری داده هواشناسی و ریزمقیاس کردن خروجی یکی از مدل‌های GCM پارامترهای هواشناسی را برای یک دوره زمانی در آینده، پیش‌بینی می‌نماید. در واقع مدل LARS به‌عنوان یک تولیدکننده داده‌های هواشناسی اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی از طریق ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های GCM می‌نماید. در مطالعه‌ای توانمندی مدل LARS در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که بیش‌ترین خطا در داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به داده‌های واقعی مربوط به متغیر ساعات آفتابی بوده و متغیرهای بارش، دمای حداکثر و حداقل با دقت خوبی شبیه‌سازی شده‌اند (مشکواتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۱). در مطالعه دیگری با مقایسه کارایی دو مدل LARS و WGEN در ۱۸ ایستگاه سینوپتیک آمریکا، اروپا و آسیا مشخص شد

مدل LARS نتایج بهتری را تولید می‌کند (سمنوف و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۰۰). همچنین بذرافشان و همکاران با بررسی توانایی دو مدل LARS و ClimGen در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی ایران نتیجه گرفتند که مدل LARS در شبیه‌سازی دو پارامتر بارش و تابش عملکرد بهتری دارد اما پارامتر دما توسط مدل ClimGen با دقت بهتری شبیه‌سازی می‌شود (بذرافشان و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۵). در پژوهشی به منظور ارزیابی تغییرات اقلیمی، خشکسالی و یخبندان استان خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹، اقدام به ریزمقیاس مدل گردش عمومی جو ECHO-G تحت سناریوی A1، توسط مدل LARS-WG شد. نتایج حاکی از افزایش ۴ درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه بود. بیش‌ترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سانتی‌گراد خواهد بود. همچنین تعداد روزهای خشک در شهرستان‌های شمالی این استان شامل بشرویه، فردوس و قاین افزایش و در شهرستان‌های جنوبی آن شامل بیرجند، خوربیرجند و نهبندان کاهش می‌یابد و به‌طور کلی خشکسالی‌های این استان در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ کاهش می‌یابد (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۲۹). اسماعیلی و همکاران با ریزمقیاس داده‌های خروجی مدل ECHO-G تحت سناریوی A1 توسط مدل LARS-WG، برای دوره آماری آینده (۱۳۸۹-۱۴۱۸) به ارزیابی یخبندان‌های سبک و سنگین در منطقه خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشان داد به‌طور متوسط تاریخ وقوع یخبندان‌های دیررس سبک ۱۳ و یخبندان‌های سنگین ۷ روز زودتر از متوسط تاریخ گذشته به اتمام خواهد رسید. همچنین فراوانی وقوع و شدت یخبندان‌های دیررس در سه ایستگاه مورد بررسی کاهش چشمگیری نسبت به دوره اقلیمی گذشته خواهد داشت به‌گونه‌ای که میزان احتمال وقوع یخبندان سبک در مشهد ۱۷ درصد، تربت حیدریه ۷ درصد و سبزه وار ۳۶ درصد نسبت به دوره گذشته کاهش خواهد یافت. این کاهش خطر در مورد یخبندان‌های سنگین با ۲۳، ۵۴ و ۴۷ درصد به‌ترتیب برای ایستگاه‌های مشهد، تربت حیدریه و سبزه وار بسیار واضح‌تر است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۹).

همان‌طور که مشاهده می‌شود در اکثر این پژوهش‌ها برای ارزیابی تغییرات پارامترهای هواشناسی در آینده از یک مدل GCM استفاده شده است و معیاری برای انتخاب بهترین

مدل برای یک منطقه ارائه نشده است. در تحقیق پیش رو ۱۵ مدل گردش عمومی جو، توسط مدل LARS ریزمقیاس شده و توانایی و دقت این مدل‌ها در شبیه‌سازی متغیرهای بارش، تابش، دمای کمینه و دمای بیشینه مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس اقدام به پیش‌بینی هرکدام از پارامترها توسط مدل انتخابی در دوره‌های آینده تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهر رشت در استان گیلان واقع در شمال ایران بود و داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه سینوپتیک رشت به‌دست آمد. از نظر موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه مرکز استان گیلان به طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی است و ارتفاع آن از سطح دریا برابر با $۸/۶$ - متر می‌باشد. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. عمده‌ترین محصول کشاورزی در منطقه برنج است. برنجکاری در در کل سطح منطقه وجود دارد ولی در دلتای سفیدرود بین لشت نشا و رشت و طالش دولااب شالیزار تقریباً تنها کشت موجود است.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

برای اجرای مدل LARS-WG فایل‌های ورودی شامل مشخصات ایستگاه مورد مطالعه و فایل متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی در دوره دیده‌بانی آماده شد. در این پژوهش برای مدل LARS-WG5.5 دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ میلادی به‌عنوان دوره دیده‌بانی در نظر گرفته شده و داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک رشت در این دوره به مدل داده شد. سپس مدل برای ریزمقیاس آماری ۱۵ مدل گردش عمومی جو اجرا شد. مدل‌های گردش عمومی جو مورد بررسی شامل CGMR، CSMK3، FGOALS، GIAOM، HADCM3، HADGEM، INCM3، IPCM4، MIHR، NCPCM، NCCCSM، MPEH5 و BCM2 و CNCM3 بودند. این مدل‌ها از لحاظ قدرت تفکیک مکانی، موسسه طراح، متغیرهای پیش‌بینی جوی و متغیرهای پیش‌بینی اقیانوسی با یکدیگر تفاوت دارند (گزارش چهارم هیئت بین‌دولت‌های تغییر اقلیم، ۲۰۰۷).

پس از اجرای نرم‌افزار برای تمامی ۱۵ مدل GCM، اقدام به مقایسه میانگین‌های ماهانه داده‌های خروجی مدل با داده‌های مشاهداتی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۲ شد تا مشخص گردد کدام مدل توانایی بهتری در شبیه‌سازی هریک از پارامترهای هواشناسی را دارد. برای این مقایسه از آماره جذر میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) استفاده شد (رابطه ۱).

$$RRMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{100}{\bar{X}} \right) \quad (1)$$

در رابطه بالا X_i و Y_i به ترتیب نشان دهنده مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده، i نشان دهنده ماه‌های سال و \bar{X} میانگین داده‌های مشاهده شده است.

برای انتخاب بهترین مدل، اولویت با مدل‌هایی بود که علاوه بر دارا بودن کم‌ترین مقدار RRMSE، هر ۳ سناریوی تغییر اقلیم موجود در مدل LARS-WG شامل A1، A2 و B1 برای آن موجود باشد. خصوصیات سناریوهای تغییر اقلیم مورد استفاده و سناریوهای تغییر اقلیم موجود برای هر مدل گردش عمومی جو در نرم‌افزار LARS-WG5.5 به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. پس از انتخاب بهترین مدل GCM برای هریک از

پارامترهای هواشناسی مورد بررسی، اقدام به پیش‌بینی هریک از این پارامترها برای دو دوره ۳۰ ساله آینده، تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شد. بدین منظور با انتخاب مدل مورد نظر برای هر پارامتر، هریک از پارامترها برای دو دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ و ۲۰۷۲-۲۰۴۳ پیش‌بینی شد. سپس مقادیر میانگین بلندمدت ماهانه مربوط به هریک از دوره‌های ۳۰ ساله آینده با مقادیر ماهانه دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) مقایسه شد. بدین ترتیب مشخص شد که مقادیر مربوط به هریک از پارامترها چه میزان تغییر را طی دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه از خود نشان خواهد داد.

جدول (۱) خصوصیات سناریوهای تغییر اقلیم (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۴۹)

مشخصات	سناریوی تغییر اقلیم
رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری‌های نوین و موثر.	A1B
رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان.	A2
همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد (کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و موثر).	B1

جدول (۲) سناریوهای تغییر اقلیم موجود برای هر مدل

نام مدل	اجراهای موجود از سناریوهای مورد تایید IPCC
CGMR	A1B
CSMK3	A1B, B1
FGOALS	A1B, B1
GFCM21	A1B, A2, B1
GIAOM	A1B, B1
HADCM3	A1B, A2, B1
HADGEM	A1B, A2
INCM3	A1B, A2, B1
IPCM4	A1B, A2, B1
MIHR	A1B, B1
MPEH5	A1B, A2, B1
NCCCSM	A1B, A2, B1
NCPCM	A1B, A2
BCM2	A1B, B1
CNCM3	A1B, A2

یافته‌ها و بحث

مقادیر RRMSE حاصل از مقایسه داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۲، مربوط به هریک از پارامترهای مورد بررسی که حاصل اجرای مدل‌های مختلف GCM است در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر RRMSE حاصل از قیاس داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای پارامتر دمای کمینه بین ۷/۳ تا ۹/۶ درصد، دمای بیشینه بین ۴/۷ تا ۶/۸ درصد، تابش بین ۱۳/۶ تا ۱۷/۸ و بارش بین ۴۰/۰ تا ۴۷/۵ درصد متغیر بوده است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده می‌توان گفت مدل LARS در پیش‌بینی مقادیر دمای کمینه و بیشینه و تابش عملکرد مناسبی داشته است. این نتایج مطابق با نتایج پژوهش مشکواتی و همکاران در استان گلستان است (مشکواتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۱). اما در خصوص بارش، دلیل حصول مقادیر نسبتاً بالای RRMSE می‌تواند کوتاه بودن دوره مقایسه با توجه به تغییرپذیری بالای این پارامتر نسبت به سایر پارامترها باشد.

برای انتخاب بهترین مدل جهت پیش‌بینی هر پارامتر اولویت با مدل‌هایی با اجرای هر ۳ سناریوی تغییر اقلیم و مقادیر RRMSE کمتر بود. بدین ترتیب برای پارامتر دمای کمینه مدل INCM3، برای دمای بیشینه مدل GFCM21، برای تابش مدل INCM3 و برای بارش مدل NCCCSM به‌ترتیب با مقادیر RRMSE برابر با ۷/۷، ۶/۰، ۱۳/۶ و ۴۲/۰ درصد به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شدند. بنابراین در مرحله بعد برای پیش‌بینی مقادیر هریک از پارامترها در آینده از مدل انتخاب شده برای آن پارامتر استفاده شد.

تفاوت مقادیر ماهانه مقادیر هریک از پارامترهای مورد مطالعه طی دو دوره ۳۰ ساله آینده نسبت به دوره پایه تحت سه سناریوی تغییر اقلیم در شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است. هریک از نمودارها بیانگر تفاضل مقادیر ماهانه پیش‌بینی شده برای آینده از مقادیر دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) است. مقادیر پیش‌بینی شده برای دو دوره ۲۰۱۳-۲۰۴۲ و ۲۰۱۳-۲۰۷۲ و ۲۰۴۳-۲۰۷۲ حاصل ریزمقیاس نمودن مدل انتخابی برای هر پارامتر است. در ادامه تحلیل نتایج به تفکیک سناریوهای مورد بررسی ارائه شده است.

پیش‌بینی تحت سناریوی A1B

تغییرات مقادیر پارامترهای هواشناسی در دوره‌های آینده تحت سناریوی A1B در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل، با فرض حاکم بودن سناریوی A1B، پارامترهای کمینه طی هر دو دوره آینده و برای همه ماه‌ها افزایش خواهد یافت. این افزایش در دوره ۲۰۴۳-۲۰۷۲ برای همه ماه‌ها بیش‌تر از دوره ۲۰۱۳-۲۰۴۲ خواهد بود. در دوره ۳۰ ساله اول این افزایش از ۰/۱ تا ۱/۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و در دوره ۳۰ ساله دوم محدوده این تغییرات بین ۰/۲ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین میزان این افزایش برای هر دو دوره در ماه تیر رخ خواهد داد. در مورد دمای بیشینه نیز تغییرات در هر دو دوره و برای همه ماه‌ها افزایشی خواهد بود. این افزایش در دوره ۳۰ ساله اول از ۰/۰ درجه سانتی‌گراد در آبان‌ماه تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد در فروردین متغیر است. برای دوره ۳۰ ساله دوم بیش‌ترین افزایش در فروردین با میزان ۲/۹ درجه و کم‌ترین آن در دی ماه با میزان ۱/۳ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد. در مورد این پارامتر نیز میزان افزایش در دوره ۳۰ ساله دوم بیش‌تر از دوره اول خواهد بود.

روند تغییرات تابش در دوره ۳۰ ساله اول در تمامی ماه‌ها به‌جز خرداد و در دوره ۳۰ ساله دوم در تمامی ماه‌ها به‌جز ماه‌های خرداد و تیر کاهشی است. بیش‌ترین میزان کاهش برای هر دو دوره ۲۰۱۳-۲۰۴۲ و ۲۰۴۳-۲۰۷۲ مربوط به ماه اسفند به‌ترتیب با مقادیر ۵۸/۴ و ۴۸/۷ مگاژول بر مترمربع در ماه خواهد بود. در مورد مجموع بارش ماهانه، در دوره ۳۰ ساله اول برای ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین و تیر میزان بارش با تغییرات نسبتاً ناچیز کاهش خواهد داشت و برای ماه‌های اردیبهشت، خرداد، مرداد، شهریور، مهر، آبان و آذر روند افزایشی خواهد بود. برای دوره ۳۰ ساله ۲۰۴۳-۲۰۷۲ به‌جز اسفند، فروردین، اردیبهشت و مهر که روند تغییرات بارش کاهشی است، در دیگر ماه‌های سال مقدار بارش افزایش خواهد داشت. بیش‌ترین میزان افزایش بارش در دوره اول مربوط به ماه مهر با مقدار ۲۷/۳ میلی‌متر و در دوره دوم مربوط به ماه آذر با مقدار ۲۳/۲ میلی‌متر خواهد بود.

پیش‌بینی تحت سناریوی A2

نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل با فرض وقوع سناریوی A2 در شکل ۳ آمده است. تحت این سناریو تغییرات دمای کمینه در تمام ماه‌ها و طی هر دو دوره ۲۰۱۳-۲۰۴۲ و ۲۰۱۳-۲۰۷۲ افزایشی خواهد بود. بیش‌ترین میزان افزایش برای دوره اول در ماه مهر با مقدار ۱/۱ درجه سانتی‌گراد و برای دوره دوم در تیرماه با مقدار ۱/۹ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. دمای بیشینه در دوره ۳۰ ساله اول و برای تمامی ماه‌ها به‌جز دی و آذر افزایش خواهد یافت. بیش‌ترین میزان افزایش در این دوره مربوط به ماه فروردین با مقدار ۱/۱ درجه سانتی‌گراد است. در دوره ۳۰ ساله دوم روند تغییرات دما در تمامی ماه‌ها افزایشی خواهد بود که بیش‌ترین آن در فروردین ماه با میزان ۲/۸ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. به‌طور کلی تغییرات دمایی تحت سناریوی A2 همانند سناریوی A1B در دوره دوم محسوس‌تر خواهد بود.

روند تغییرات تابش در دوره اول برای تمامی ماه‌ها به‌جز تیر و خرداد و در دوره دوم برای تمامی ماه‌ها به‌جز خرداد کاهش است. بیش‌ترین میزان کاهش در هر دو دوره ۲۰۱۳-۲۰۴۲ و ۲۰۱۳-۲۰۷۲ در بهمن ماه و به‌ترتیب با مقادیر ۶۷/۴ و ۵۰/۴ مگاژول بر مترمربع رخ خواهد داد.

تحت سناریوی A2 مقدار بارش در دوره ۳۰ ساله اول برای ماه‌های دی، بهمن، اسفند، اردیبهشت و تیر کاهش و در مابقی ماه‌ها افزایش خواهد یافت. بیش‌ترین تغییرات در این دوره نسبت به دوره پایه در ماه شهریور و به‌طور افزایشی به‌میزان ۳۲/۴ میلی‌متر خواهد بود. در دوره ۳۰ ساله دوم، میزان بارش در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت، تیر و مهر کاهش و در مابقی ماه‌ها افزایش خواهد یافت. بیش‌ترین میزان تغییرات کاهش یافته و در مهر ماه با میزان ۱۲/۴ میلی‌متر رخ خواهد داد.

پیش‌بینی تحت سناریوی B1

با فرض رخ دادن سناریوی B1 در آینده، نتایج پیش‌بینی مدل برای پارامترهای مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج و تحت این سناریو دمای کمینه

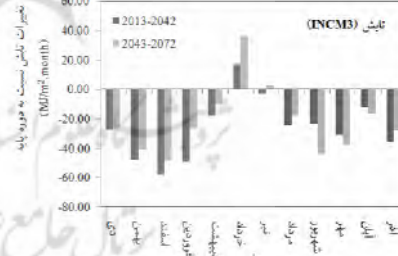
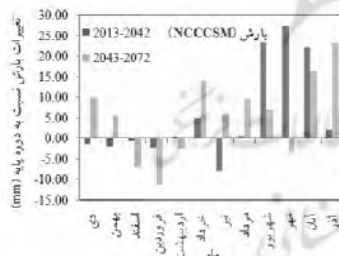
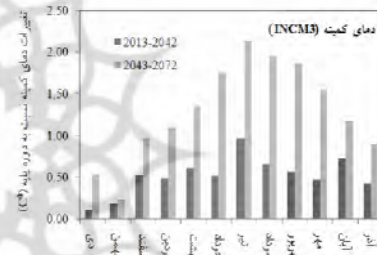
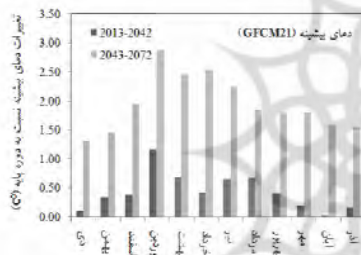
در هر دو دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ و ۲۰۷۲-۲۰۴۳ افزایش خواهد داشت که بیش‌ترین افزایش در دوره ۳۰ ساله اول در تیر ماه (۱/۰ درجه سانتی‌گراد) و در دوره ۳۰ ساله دوم در شهریورماه (۱/۵ درجه سانتی‌گراد) رخ خواهد داد. دمای بیشینه طی دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ طی همه ماه‌ها جز ماه دی افزایش خواهد یافت. در دوره ۲۰۷۲-۲۰۴۳ و در تمامی ماه‌ها، افزایش دمای بیشینه رخ خواهد داد. بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در هر دو دوره در فروردین ماه و به ترتیب به میزان ۱/۱ و ۱/۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. با توجه به شکل، تغییرات دما تحت سناریوی B1 نیز همانند دو سناریوی دیگر، در دوره ۲۰۷۲-۲۰۴۳ نسبت به دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ محسوس‌تر است.

روند تغییرات تابش تحت سناریوی B1 در هر دو دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ و ۲۰۷۲-۲۰۴۳ و برای تمامی ماه‌ها به جز خرداد کاهش است. بیش‌ترین میزان کاهش در هر دو دوره ۳۰ ساله در ماه اسفند و به ترتیب به میزان ۶۲/۷ و ۵۳/۹ مگاژول بر مترمربع رخ خواهد داد. همچنین تحت این سناریو میزان بارش در دوره ۳۰ ساله اول در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و تیر کاهش و در دیگر ماه‌ها افزایش خواهد یافت. بیش‌ترین میزان تغییرات در این دوره به‌طور افزایشی و در شهریور به میزان ۳۵/۶ میلی‌متر خواهد بود. در دوره ۳۰ ساله دوم، بارش در تمامی ماه‌ها به جز فروردین، اردیبهشت و تیر افزایش خواهد یافت. بیش‌ترین افزایش در آبان‌ماه به میزان ۲۴/۲ میلی‌متر رخ خواهد داد.

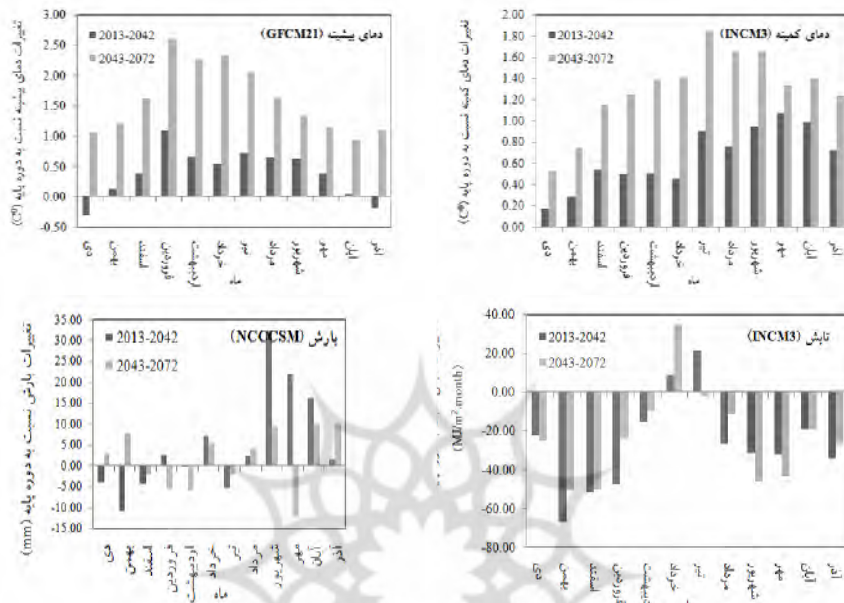
جدول (۳) مقادیر RRMSE (درصد) حاصل از مقایسه مقادیر پیش‌بینی پارامترهای مورد مطالعه به‌وسیله مدل با مقادیر مشاهده شده

پارامتر پیش‌بینی شده				مدل GCM
بارش	تابش	دمای بیشینه	دمای کمینه	
۴۶/۴	۱۵/۹	۴/۷	۸/۵	BCM2
۴۱/۸	۱۷/۱	۶/۲	۸/۹	CGMR
۴۲/۶	۱۷/۶	۶/۰	۸/۷	CNCM3
۴۳/۸	۱۳/۶	۴/۹	۷/۳	CSMK3
۴۰/۰	۱۷/۸	۵/۸	۸/۶	FGOALS
۴۳/۷	۱۷/۵	۶/۰	۸/۴	GFCM21

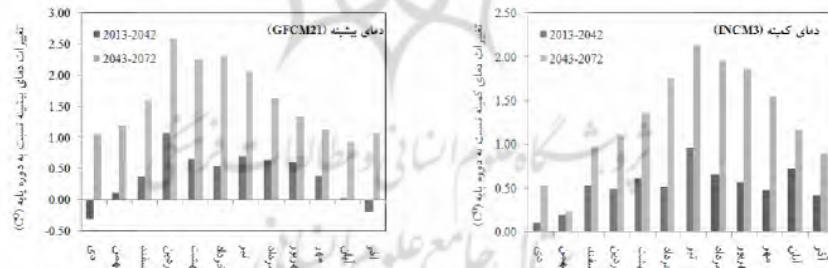
۴۳/۹	۱۷/۸	۵/۷	۸/۳	GIAOM
۴۶/۹	۱۷/۷	۶/۲	۹/۰	HADCM3
۴۴/۵	۱۷/۸	۶/۴	۹/۲	HADGEM
۴۲/۱	۱۳/۶	۶/۱	۷/۷	INCM3
۴۶/۳	۱۷/۳	۶/۲	۸/۷	IPC4
۴۷/۵	۱۵/۰	۶/۳	۹/۵	MIHR
۴۴/۲	۱۷/۰	۶/۲	۹/۱	MPEH5
۴۲/۰	۱۷/۶	۶/۸	۹/۶	NCCCSM
۴۲/۵	۱۷/۲	۵/۸	۸/۵	NCPCM

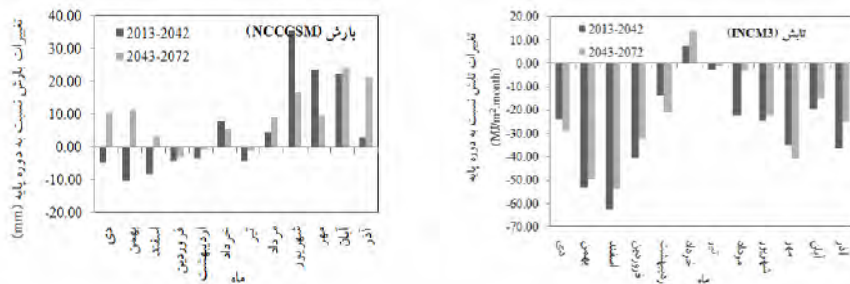


شکل (۲) پیش‌بینی تغییرات ماهانه پارامترهای هواشناسی تحت سناریوی AIB برای دو دوره ۲۰۱۳-۲۰۴۲ و ۲۰۴۳-۲۰۷۲ نسبت به دوره پایه، توسط مدل انتخابی برای هر پارامتر



شکل (۳) پیش‌بینی تغییرات ماهانه پارامترهای هواشناسی تحت سناریوی A2 برای دو دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ و ۲۰۷۲-۲۰۴۳ نسبت به دوره پایه، توسط مدل انتخابی برای هر پارامتر





شکل (۴) پیش‌بینی تغییرات ماهانه پارامترهای هواشناسی تحت سناریوی B1 برای دو دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ و ۲۰۷۲-۲۰۴۳ نسبت به دوره پایه، توسط مدل انتخابی برای هر پارامتر

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی توسط مدل LARS-WG5.5 به‌طور کلی نشان از توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی این داده‌ها در منطقه رشت داشت. البته در خصوص پارامتر بارش، دلیل حصول مقادیر بالای RRMSE، تغییرپذیری و پراکندگی زیاد این پارامتر و تفاوت مقادیر روزانه در سال‌های مختلف است که با توجه به دوره کوتاه ارزیابی (۲۰۱۱-۲۰۱۲)، مقادیر شبیه‌سازی شده مربوط به این پارامتر تفاوت نسبتاً زیادی با مقادیر واقعی داشت. با توجه به نتایج، در منطقه رشت و برای پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و بارش به‌ترتیب مدل‌های INCM3، GFCM21، INCM4 و MPEH5 جهت پیش‌بینی با استفاده از مدل LARS-WG5.5 انتخاب شده و توصیه می‌شود برای مطالعات بعدی در مقوله پیش‌بینی این پارامترها از مدل‌های مذکور استفاده شود.

با توجه به نتایج پیش‌بینی، میانگین سالانه دمای کمینه طی دوره ۳۰ ساله ۲۰۴۲-۲۰۱۳ نسبت به دوره پایه، تحت سناریوی‌های A1B، A2 و B1 به‌ترتیب به‌میزان ۰/۷، ۰/۵ و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. این مقادیر برای دوره ۲۰۷۲-۲۰۴۳ به ترتیب برابر ۱/۳، ۱/۳ و ۱/۰ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بنابراین تحت سناریوی A2 در دوره ۳۰ ساله دوم (با دقت دو رقم اعشار) بیش‌ترین تغییرات دمای کمینه نسبت به دوره پایه رخ خواهد داد.

در مورد دمای بیشینه، میانگین سالانه این پارامتر طی دوره ۳۰ ساله ۲۰۴۲-۲۰۱۳

تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب به میزان ۰/۴، ۰/۴ و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. این افزایش طی دوره ۳۰ ساله ۲۰۴۳-۲۰۷۲ تحت سناریوی A1B، A2 و B1 به ترتیب برابر ۲/۰، ۱/۰ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به‌طور کلی می‌توان گفت دمای هوا در دهه‌های آتی با فرض هر کدام از سناریوهای تغییر اقلیم افزایش خواهد داشت. بر این اساس در دوره ۳۰ ساله دوم و تحت سناریوی A1B بیش‌ترین تغییرات دمای بیشینه نسبت به دوره پایه رخ خواهد داد.

روند تغییرات تابش طی دو دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ و ۲۰۷۲-۲۰۴۳ نسبت به دوره پایه و تحت تمامی سناریوها کاهش خواهد بود. بیش‌ترین کاهش فصلی میزان تابش نسبت به دوره پایه در هر دو دوره و تحت هر سناریو در فصل زمستان رخ خواهد داد. بیش‌ترین میزان کاهش در فصل زمستان دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ تحت سناریوی A2 به میزان ۱۴۱/۴ مگاژول بر مترمربع رخ خواهد داد.

میانگین مجموع بارش فصلی تحت سناریوی A1B در دوره ۲۰۴۲-۲۰۱۳ نسبت به دوره پایه و برای تمامی فصول به جز زمستان و در دوره ۲۰۷۲-۲۰۴۳ برای تمامی فصول افزایش خواهد داشت. این روند افزایشی تحت سناریوی A2 نیز در دوره ۳۰ ساله اول برای تمامی فصول جز تابستان و در دوره دوم برای تمامی فصول جز بهار رخ خواهد داد. روند تغییرات میانگین مجموع بارش فصلی تحت سناریوی B1 در دوره اول برای فصل بهار (به مقدار بسیار کم) و زمستان کاهش و برای فصل تابستان و پاییز و نیز در دوره ۳۰ ساله دوم برای همه فصول افزایشی خواهد بود. بیشترین افزایش بارش نسبت به دوره پایه در پاییز دوره ۳۰ ساله ۲۰۷۲-۲۰۴۳ و تحت سناریوی B1 به مقدار ۵۵/۵ میلی‌متر رخ خواهد داد. بنابراین کاهش تابش در آینده با توجه به افزایش میزان بارش در اکثر فصول سال و ابرناکی هوا قابل توجیه است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت تغییرات پارامترهای هواشناسی در منطقه رشت تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در دهه‌های آتی محسوس خواهد بود. از نتایج این مطالعه می‌توان در برنامه‌ریزی بلندمدت در زمینه مدیریت و مقابله با اثرات پدیده تغییر اقلیم استفاده نمود.

منابع

- اسماعیلی، رضا؛ گندمکار، امیر و حسنعلی غیور (۱۳۸۹)، «پهنه‌بندی میزان تغییرات اقلیمی از دیدگاه کشاورزی در دوره اقلیمی آینده (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)»، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۱، شماره ۱، صفحه: ۵۲-۳۵.
- اشرف، بتول؛ موسوی بایگی، محمد؛ کمالی، غلامعلی و کامران داوری (۱۳۹۰)، «پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3»، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۵، شماره ۴، صفحه: ۹۵۷-۹۴۷.
- بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابل عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد و شراره ملبوسی (۱۳۸۸)، «ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۶، صفحه: ۱۵۲-۱۳۵.
- بذرافشان، جواد؛ علی، خلیلی؛ هورفر، عبدالحسین؛ ترابی، صدیقه و سهراب حجام (۱۳۸۸)، «بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل LARS و ClimGen در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران»، *مجله تحقیقات منابع آب ایران*، سال پنجم، شماره ۱، صفحه: ۵۷-۴۴.
- عباسی، فاطمه؛ ملبوسی، شراره؛ بابائیان، ایمان؛ اثمیری، مرتضی و رضا برهانی (۱۳۸۹)، «پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G»، *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحه: ۲۳۳-۲۱۸.
- مشکواتی، امیرحسین؛ کردجزی، محمد و ایمان بابائیان (۱۳۸۹)، «بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی»، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، جلد ۱۶، شماره ۱۹، صفحه: ۹۶-۸۱.
- IPCC 4th Assessment Report (2007), "See URL <http://www.IPCC.ch>.

- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W., (1998), "Comparison of the WGEN and LARS stochastic weather generators in diver's climates", *Climate Research*, 10: 95-107.
- Semenov, M.A., Barrow, E.M., (2002), "A Stochastic Weather Generator for Use in Climate, User' Impact Studies Manual", version 3.0.

