



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه علمی فضای جغرافیایی

سال بیست و یکم، شماره ۷۴
تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۱۴-۱

مصطفی کرپور^۱
*الهام یار احمدی^۲
حسینعلی روحبخش سیگارودی^۳

پیش بینی تغییرات دما و بارش شهر رشت با استفاده از مدل LARS-WG تا سال ۲۰۳۰ میلادی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۳

چکیده

تغییر در دما، بارش و نوع آن ممکن است حیات جانداران را تهدید کند، به همین منظور باید ابعاد مختلف آن مطالعه شود. هدف این پژوهش بررسی تغییرات با استفاده از مولد داده‌های تصادفی LARS-WG₅ در بازه ۲۰۰۸-۱۹۸۱ از یک طرف و نیز پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات آتی این متغیرها در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ است. با بهره‌گیری از نتایج این پژوهش می‌توان از اثرات منفی تغییر اقلیم در منطقه را کاهش و سازگاری بیش‌تری را با شرایط جدید به‌ویژه از نظر تاریخ کشت، نوع کشت و سایر اقدامات مدیریتی محصول و محیط‌زیست به‌عمل آورد. داده‌های مورد نیاز از اداره کل هواشناسی گیلان تهیه و به فرمت مدل تبدیل شدند. پس از کالیبره کردن، تولید داده گذشته و ارزیابی داده‌ها و توان سنجی مدل در تولید داده‌های گذشته، برای تولید داده‌های آینده، مدل اجرا گردید. بررسی نشان داد که میانگین حداقل و حداکثر دمای پیش‌بینی شده توسط مدل MPEH5 با در نظر گرفتن سه سناریو، در کلیه ماه‌ها روند صعودی داشته که نتایج هر سه سناریو آن را تایید می‌کند. در مورد میانگین بارش سالانه، نتایج مدل با سناریو A1B از عملکرد بهتری برخوردار است که ۳/۲ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد. همچنین توزیع بارش نسبت به دوره پایه تغییر کرده است. بیش‌ترین بارش مربوط به پاییز و زمستان است و میانگین بارش تابستان با کاهشی برابر $43/51^{mm}$ مواجه است. نتایج این پژوهش بر این نکته تاکید دارند که با افزایش میانگین دمای حداقل و حداکثر پیش‌بینی شده

۱- گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

E-mail: yarahmadi_elham@yahoo.com

*۲- دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. (نویسنده مسئول).

۳- دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

در کلیه فصول و تغییر در رژیم بارندگی و کاهش ۴۳ میلی‌متری آن در تابستان منابع آب این منطقه در مخاطره قرار می‌گیرد. این تغییرات ضمن کاهش میزان بارش منجمد و افزایش ارتفاع برف مرز، سبب کاهش ذخیره آب این منطقه که یکی از قطب‌های کشاورزی است می‌گردد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، سناریوهای تغییر اقلیم، مولد داده‌های تصادفی، مدل MPEH.

مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های بشریت در قرن بیست‌ویک تغییر اقلیم است که با دامنه‌ی اثرات خود در بخش‌های مختلف، تهدیدی جدی برای حیات در صور متفاوت آن محسوب می‌شود. تغییرات دمای کره زمین و روند رو به افزایش آن با توجه به شرایط آب‌وهوایی در سراسر جهان تحت عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود (Hashemi Nasab et al., 2013: 43). گرمایش جهانی کره زمین، به احتمال زیاد توالی و بزرگی حوادث آب‌وهوایی شدید را افزایش می‌دهد (Roudir et al., 2011: 1073). در عین حال علی‌رغم اثرات مستقیمی که این وقایع بر روی محصولات کشاورزی و میزان عملکرد آن‌ها دارد، هنوز به‌خوبی مشخص نیست که این اثرات در مناطق مختلف چگونه می‌تواند باشد. معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده‌ی جوی-اقیانوسی است که قادر هستند فراسنجه‌های جوی-اقیانوسی را با اتکا به سناریوهای تایید شده^۴ IPCC برای یک بازه طولانی مدل‌سازی نمایند (Dibiki & Coulibaly, 2005: 145) این مدل‌ها تاثیر آئروسول‌ها و هم‌چنین اثر تاخیری اقیانوس را نیز محاسبه می‌کنند. این ویژگی اقیانوس بدین معنی است که سطح زمین و جو زیرین حتی اگر غلظت گازهای گلخانه‌ای در قرن بعد ثابت بماند، برای صدها سال شروع به گرم شدن می‌کند (Nabi et al., 2008: 15). مدل‌های مصنوعی مولد پارامترهای هواشناسی به‌عنوان یک تکنیک آماری جهت تولید داده‌های هواشناسی روزانه در مواقعی که داده‌های طولانی مدت در دسترس نیست، توسعه یافته‌اند (Hajarpour et al., 2014: 201). در این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات الگوهای بارش و دما و پیش‌بینی روند آن در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ از روش ریزمقیاس‌نمایی^۵ آماری با استفاده از یک مدل مولد تصادفی داده‌های هواشناسی به نام LARS-WG5^۶ اقدام شده است که یکی از مدل‌های بسیار توانمند برای شبیه‌سازی رویدادهای شدید اقلیمی به‌ویژه بارش می‌باشد. دانشمندان نشان دادند که LARS-WG قادر به تولید داده‌های آب‌و-هوایی می‌باشد که شبیه داده‌های آب‌وهوایی روزانه ثبت شده گردش عمومی جو (GCM) است و در عین حال با استفاده از داده‌های تولید شده در سناریوهای مربوط به مدل گردش عمومی جو، پیش‌بینی قابل قبولی از وضعیت فراسنج‌ها ارائه می‌دهد (Semenov et al., 1999: 137) از ۱۵ مدل با سناریوهای مختلف استفاده می‌کند تا بتواند به

4- Intergovernmental Panel on Climate Change

5- Down-Scaling

6- long Ashton Research Station Weather Generator

ارزیابی طیف وسیعی از عدم قطعیت اثرات تغییر آب و هوا در مقیاس محلی پردازد که بر اساس چهارمین گزارش ارزیابی IPCC تهیه شده است و مورد تأیید قرار گرفته است (Semenov et al., 2010: 1). تحقیقات زیادی در بخش های مختلف دنیا به منظور بررسی تغییرات روند بارش و دما صورت گرفته است. از جمله سمینوف و همکاران که در سال ۱۹۹۸ به بررسی عملکرد مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و WGEN بر روی مناطقی از ایالات متحده، اروپا و آسیا پرداختند. آن‌ها نشان دادند که این مدل در تولید داده‌های اقلیمی و تبیین شرایط حدی توانایی خوبی دارد (Semenov et al., 1998: 2). Hashemi et al. در سال ۲۰۱۰ به منظور ارزیابی مدل‌ها در شبیه‌سازی داده‌های بارش شدید در حوضه کلوتا در بخش جنوبی نیوزیلند به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDMS اقدام کردند. نتایج تحقیق نشان داد که هر دو مدل در شبیه‌سازی داده‌های مربوط به بارش‌های شدید توانمند بودند و می‌توانند به تولید داده‌هایی اقدام کنند که بتواند در پیش‌بینی وضعیت اقلیمی آبی موثر واقع شوند (Hashami, 2010: 130). در ایران نیز تحقیقات متعددی در مورد بررسی تغییرات فراسنجه‌های آب و هوایی به‌ویژه روند بارش و دما در نقاط مختلف انجام شده است از جمله Hashemi Nasab et al. که در سال ۱۳۹۲ به پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده استان کرمان با استفاده از مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG و مدل گردش عمومی جو Hadcm3 اقدام کردند و نتایج نشان داد که میانگین سالانه بارش ایستگاه‌ها و همچنین طول دوره تر در تابستان رو به افزایش خواهد گذاشت. Khalili Aghdam et al. به ارزیابی مدل LARS-WG در پیش‌بینی متغیرهای جوی سنندج پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر این بود که میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه سنندج نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و تعداد روزهای داغ در آینده افزایش محسوسی خواهند داشت (Khalili Aghdam et al., 2012: 98). Haqtab et al. به مدل‌سازی اقلیمی آینده استان‌های تهران و مازندران اقدام کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که هر دو استان در آینده با افزایش دما و کاهش بارندگی مواجه می‌شوند و در عین حال احتمال وقوع بارش‌های سیل‌آسا در هر دو استان وجود دارد (Haghtalab et al., 1392: 218). Abbasi et al. به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ پرداختند و نتیجه گرفتند که خشکسالی‌های این استان کاهش خواهد یافت و بارش به میزان ۴٪ افزایش خواهد یافت (Abbasi et al., 1389: 218). با توجه به موارد مذکور که نتایج متفاوتی را در بخش‌های مختلف ایران به همراه داشته است، ضروری است تا تحقیقات بیشتری در مقیاس‌های کوچک‌تر انجام شود به‌خصوص در کشوری مانند ایران که شرایط توپوگرافی و مجاورت با دریاها و مناطق کویری و بیابانی سبب افزایش حساسیت‌ها می‌شود. از آن جایی که احتمال تنش گرمایی و خشکی در هنگام کل دهی محصول، می‌تواند در کاهش عملکرد آن اثر قابل توجهی داشته باشد. هدف این پژوهش بررسی مقایسه‌ای روند تغییرات بارندگی و دما در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و پیش‌بینی و آشکارسازی تغییرات آبی این متغیرها در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ می‌باشد تا با بهره‌گیری از نتایج آن بتوان تدابیری

اتخاذ کرد که اثرات تغییر اقلیم در منطقه را کاهش داده و سازگاری بیش‌تری را با شرایط جدید به‌ویژه از نظر تاریخ کشت، نوع کشت و سایر اقدامات مدیریتی محصول و محیط‌زیست به‌عمل آورد.

محدوده مورد مطالعه

شهر رشت به‌عنوان بزرگ‌ترین مرکز جمعیتی سواحل خزر در شمال ایران در استان گیلان واقع شده است. مختصات ایستگاهی را که داده‌های آن در این پژوهش به‌کار رفته عبارت است از $37^{\circ}19'N$ و $49^{\circ}37'E$ و ارتفاع از سطح مینا ۸.۶ متر است. این ایستگاه در جلگه مرکزی گیلان واقع شده است و از نظر تقسیمات اقلیمی، اقلیم معتدل مرطوب cfc دارد. با وجود فاصله از دریا و زنجیره کوهستانی البرز، می‌توان گفت که شهر رشت از هر دوی آن‌ها تاثیر می‌پذیرد. با توجه به این‌که در بخش جلگه‌ای استان تفاوت چندانی از نظر فراسنجه‌های اقلیمی دیده نمی‌شود و همچنین به دلیل کمبود پایگاه‌هایی که به ثبت داده اقدام می‌کنند، ناگزیر به داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک رشت در بازه زمانی (۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸) بسنده شد. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل عبارتند از: مقادیر بارش و تابش و دماهای کمینه و بیشینه روزانه در یک ایستگاه که پس از دریافت آن از اداره کل هواشناسی استان گیلان و تبدیل آن با توجه به فرمت مورد نظر مدل، آن‌ها را در مدل فراخوانی کرده و مدل اجرا شد. مدل، محاسبات آماری پیچیده‌ای را بر روی متغیرهای هواشناسی انجام می‌دهد. مدل لارس در سه مرحله کالیبره کرده داده‌ها، ارزیابی داده‌های تولید شده برای گذشته و تولید داده‌ها برای آینده قابل اجرا است. خروجی مدل شامل داده‌های سال، روز، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه، بارش و تابش روزانه می‌باشد. در مرحله کالیبره کردن داده‌های مرتب شده دوره پایه طبق فرمت مدل را در مدل فراخوانی کرده و خروجی آن، تولید داده برای گذشته است که داده‌های آن شبیه فرمت ورودی به مدل است. در مرحله ارزیابی مدل، خروجی‌های مرحله اول را که شامل فراسنجه‌های اقلیمی ثبت شده در دوره پایه و داده‌های متناظر تولید شده گذشته می‌باشد را با استفاده از شاخص‌های خطا سنجی و ضریب تعیین و آزمون F و t مورد بررسی قرار داده شد و پس از اطمینان از مناسب بودن مدل، آن را برای ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو (GCM) که یکی از آن‌ها MPEH5 است استفاده شد تا داده‌های دوره مورد نظر در آینده (۲۰۱۱-۲۰۳۰) تولید شود. پس از تولید داده‌های مورد نظر در قالب سه سناریو A2, B1, A1B و دریافت میانگین ماهانه تمامی سال‌ها محاسبه شد و به بررسی آماری آن‌ها اقدام شد.

یافته‌ها و بحث

با توجه به این‌که مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) یکی از ابزارهای قدرتمند و مهم ارزیابی تغییرات آب و هوایی به‌شمار می‌روند، ولی نکته اساسی در به‌کارگیری نتایج آن‌ها برای پیش‌بینی شرایط آب‌وهوایی در مقیاسی کوچک، مسئله عدم قطعیت است که این خود ناشی از ساختار و فیزیک گردش عمومی جو است (Fuller et al., 2007: 1550). از طرفی چون نتایج آن‌ها قادر به ارائه اطلاعات در مقیاس محلی برای ارزیابی پدیده‌ها نیست، بنابراین از روش ریزمقیاس نمایی استفاده شد تا اطلاعات را از داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو استخراج

و خروجی را تولید کند که در حد یک ایستگاه قابل استفاده باشد. در واقع با این رویکرد این امکان فراهم شد تا با اتکا بر اصل پیوستگی داده‌ها و در نتیجه ارتباط آماری بین آب‌وهوا در مقیاس بزرگ و مقیاس منطقه‌ای و بهره‌گیری از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو، متغیرهای آب‌وهوایی در مقیاس کوچک پیش‌بینی می‌شود. برای واسنجی مدل، ضریب تبیین (R^2) داده‌های ثبت شده در دوره پایه با داده‌های شبیه‌سازی شده دوره گذشته ایستگاه رشت محاسبه شد که برای نشان دادن میزان دقت و توانمندی مدل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که داده‌های بارش و دمای ثبت شده در دوره پایه با داده‌های تولید شده برای گذشته توسط مدل، از همبستگی معنی‌داری برخوردار است. همچنین برای ارزیابی میزان صحت عملکرد مدل از شاخص‌های خطاسنجی میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین مربع خطاها (MSE) و میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید (جدول ۱). با توجه به نتایج ارزیابی، می‌توان گفت که مدل LARS-WG برای پیش‌بینی وضعیت آتی این عناصر در ایستگاه رشت مناسب است. پس از اطمینان از عملکرد مدل در پیش‌بینی وضعیت گذشته، با استفاده از داده‌های تولید شده و داده‌های دوره پایه به تولید داده‌های آینده فراسنج‌های اقلیمی ایستگاه با به‌کارگیری یکی از مدل‌های گردش عمومی جو یعنی MPEH5 که داده‌های شرایط مرزی یا مقادیر GPV^V آن در مدل LARS-WG استفاده می‌شود، اقدام شد. مدل گردش عمومی جو MPEH5 که توسط یک شرکت آلمانی^۴ طراحی شده است، دارای قدرت تفکیکی برابر با $1/9^\circ \times 1/9^\circ$ طول و عرض جغرافیایی است و دارای سه سناریو تغییر اقلیم A1B, A2, B1 می‌باشد؛ بنابراین با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG5 و مدل گردش عمومی جو MPEH5 با توجه به هر یک از سه سناریو مذکور، داده‌های اقلیمی آینده ایستگاه رشت برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ تولید شد که نتایج آن در قالب جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱- ارزیابی مدل در دوره پایه ۲۰۰۸ تا ۱۹۸۱ با استفاده از آماره‌های واسنجی

Table 1- Evaluation of the model in the base period 2008 to 1981 using calibration statistics

| آماره | میانگین حداقل دما | میانگین حداکثر دما | میانگین بارندگی | میانگین تابش |
|-------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|
| R^2 | ۱ | ۱ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ |
| RMSE | ۰/۱۱ | ۰/۵ | ۸/۷۷ | ۰/۵۴ |
| MSE | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۷۶/۸۸ | ۰/۲۹ |
| MAE | ۰/۱ | ۰/۲ | ۷/۰۵ | ۰/۳۶ |

با استفاده از خروجی‌های مدل تحت سناریوهای مختلف که اساس تمایزشان بر مبنای حل مسایل و مشکلات، در مقیاس جهانی و یا منطقه‌ای و نیز تفاوت در میزان رشد جمعیتی، توسعه اقتصادی و رشد فناوری است و با در نظر

4- Grid Point Value

5- MaxplancK Institute for Meteorology

گرفتن میزان انتشار و تولید آلاینده‌ها و حجم مواد و پسماندها؛ از بعد افزایش یا کاهش و همچنین تعادل در میزان آن‌ها، به بررسی تغییرات فراسنجه‌های اقلیمی بارش و دما در محدوده‌ی رشت اقدام شد.

جدول ۲- داده‌های ثبت شده در ایستگاه رشت در بازه ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و مقادیر پیش‌بینی شده آن برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ تحت سه سناریوی

مدل MPEH5

Table 2- Data recorded at Rasht station in the period 1981 to 2008 and its predicted values for the period 2011 to 2030 under three scenarios of MPEH model

| ماه مدل و سناریوی استفاده شده | میانگین تابش ماهانه | | میانگین بارندگی ماهانه | | میانگین حداکثر دمای ماهانه | | میانگین حداقل دمای ماهانه | | ماه |
|-------------------------------------|------------------------|------------------|------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------|
| | مقدار برآورد شده | مقدار ثبت شده | مقدار برآورد شده | مقدار ثبت شده | مقدار برآورد شده | مقدار ثبت شده | مقدار برآورد شده | مقدار ثبت شده | |
| MPEH5 A1B | ۲۵/۵۷ | | ۲۳/۲۱ | | ۳۲/۹۸ | | ۲۰/۹۷ | | ژوئیه |
| MPEH5 A2 | ۲۵/۵۱ | ۲۴/۸۹ | ۲۳/۲۶ | ۳۱/۵۸ | ۳۲/۴۶ | ۳۱ | ۲۳/۳۶ | ۲۲/۱۲ | آگوست |
| MPEH5 B1 | ۲۵/۷۴ | | ۱۶/۰۳ | | ۳۲/۹۸ | | ۲۳/۸۹ | | سپتامبر |
| MPEH5 A1B | ۲۴/۸۲ | | ۵۲/۴۴ | | ۳۲/۵۸ | | ۲۳/۱۵ | | اکتبر |
| MPEH5 A2 | ۲۴/۸۸ | ۲۳/۶۱ | ۵۳/۵۳ | ۵۸/۵۳ | ۳۲/۰۵ | ۳۰/۷۴ | ۲۳/۱۱ | ۲۱/۹۵ | نوامبر |
| MPEH5 B1 | ۲۵/۲۲ | | ۳۹/۹۲ | | ۳۲/۰۹ | | ۲۳/۶۵ | | دسامبر |
| MPEH5 A1B | ۲۰/۶۴ | | ۸۰/۶۱ | | ۲۸/۶۱ | | ۲۰/۳۸ | | ژوئیه |
| MPEH5 A2 | ۱۷/۰۸ | ۲۰/۳۹ | ۸۱/۰۷ | ۱۰۹/۵۵ | ۲۸/۴۷ | ۲۷/۲۸ | ۲۰/۴۶ | ۱۴/۴۸ | آگوست |
| MPEH5 B1 | ۲۱/۰۴ | | ۱۰۰ | | ۱۵/۵۲ | | ۲۰/۶۳ | | سپتامبر |
| MPEH5 A1B | ۱۲/۴۶ | | ۱۴۶/۹۱ | | ۲۴ | | ۱۵/۷۵ | | اکتبر |
| MPEH5 A2 | ۱۲/۶۴ | ۱۲/۶۷ | ۱۲۸/۳۴ | ۱۴۹/۷۱ | ۲۴/۱۴ | ۲۲/۶۷ | ۱۶/۰۹ | ۱۴/۴۸ | نوامبر |
| MPEH5 B1 | ۱۲/۸۲ | | ۱۱۲/۵۷ | | ۲۴ | | ۱۵/۹۵ | | دسامبر |
| MPEH5 A1B | ۸/۹۸ | | ۲۰۹/۷۱ | | ۱۹/۰۴ | | ۱۰/۵۳ | | ژوئیه |
| MPEH5 A2 | ۹/۰۱ | ۸/۹۴ | ۱۸۶/۲۹ | ۱۹۶/۷ | ۱۹ | ۱۷/۶۸ | ۱۰/۷۴ | ۹/۷۸ | آگوست |
| MPEH5 B1 | ۹/۲۷ | | ۱۶۵/۱۵ | | ۱۹/۰۴ | | ۱۰/۷۹ | | سپتامبر |
| MPEH5 A1B | ۶/۶۶ | | ۱۷۰/۰۲ | | ۱۴/۵۱ | | ۶/۸ | | اکتبر |
| MPEH5 A2 | ۶/۵۵ | ۶/۹۸ | ۱۶۶/۷۳ | ۱۵۲/۳۲ | ۱۴/۱۹ | ۱۳/۴۷ | ۶/۶۱ | ۵/۷۱ | نوامبر |
| MPEH5 B1 | ۶/۷۸ | | ۱۵۴/۵۲ | | ۱۴/۵۱ | | ۶/۹۲ | | دسامبر |
| MPEH5 A1B | ۲۵/۵۷ | | ۲۳/۱۲ | | ۳۲/۹۸ | | ۲۰/۹۷ | | ژوئیه |
| MPEH5 A2 | ۲۵/۵۱ | ۲۴/۸۹ | ۲۳/۲۶ | ۳۱/۵۸ | ۳۲/۴۶ | ۳۱ | ۲۳/۳۶ | ۲۲/۱۲ | آگوست |
| MPEH5 B1 | ۲۵/۷۴ | | ۱۶/۰۳ | | ۳۲/۹۸ | | ۲۳/۸۹ | | سپتامبر |
| MPEH5 A1B | ۲۴/۸۲ | | ۵۲/۵۵ | | ۳۲/۵۸ | | ۲۳/۱۵ | | اکتبر |
| MPEH5 A2 | ۲۴/۸۸ | ۶۱/۲۳ | ۵۳/۵۳ | ۵۸/۵۳ | ۳۲/۰۵ | ۳۰/۷۴ | ۲۳/۱۱ | ۲۱/۹۵ | نوامبر |
| MPEH5 B1 | ۲۵/۲۲ | | ۳۹/۹۲ | | ۳۲/۰۹ | | ۲۳/۶۵ | | دسامبر |
| MPEH5 A1B | ۲۰/۶۴ | | ۸۰/۶۱ | | ۲۸/۶۱ | | ۲۰/۳۸ | | ژوئیه |

ادامه جدول ۲- داده‌های ثبت شده در ایستگاه رشت در بازه ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و مقادیر پیش‌بینی شده آن برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ تحت سه

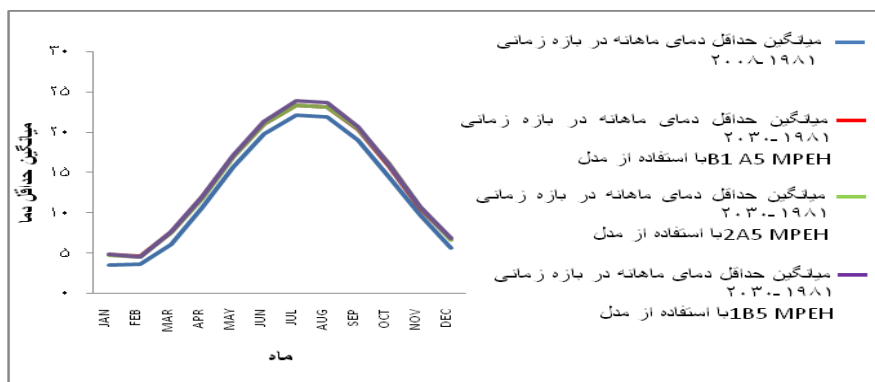
سناریوی مدل MPEH5

Continue of Table 2- Data recorded at Rasht station in the period 1981 to 2008 and its predicted values for the period 2011 to 2030 under three scenarios of MPEH model

| مدل و سناریوی استفاده شده | میانگین تابش ماهانه | | میانگین بارندگی ماهانه | | میانگین حداکثر دمای ماهانه | | میانگین حداقل دمای ماهانه | | ماه |
|---------------------------|---------------------|---------------|------------------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------------------|---------------|---------|
| | مقدار برآورد شده | مقدار ثبت شده | مقدار برآورد شده | مقدار ثبت شده | مقدار برآورد شده | مقدار ثبت شده | مقدار برآورد شده | مقدار ثبت شده | |
| MPEH5 A2 | ۱۷/۰۸ | ۲۰/۳۹ | ۷۱/۰۸۱ | ۱۰۹/۵۵ | ۲۸/۴۷ | ۲۷/۲۸ | ۲۰/۴۹ | ۱۹/۰۱ | آگوست |
| MPEH5 B1 | ۲۱/۰۴ | | ۱۰۰ | | ۱۵/۵۲ | | ۲۰/۶۳ | | سپتامبر |
| MPEH5 A1B | ۱۲/۴۶ | | ۱۴۶/۹۱ | | ۲۴ | | ۲۰/۷۵ | | اکتبر |
| MPEH5 A2 | ۱۲/۶۴ | ۱۲/۶۷ | ۱۲۸/۳۴ | ۱۴۹/۷۱ | ۲۴/۱۴ | ۲۲/۶۷ | ۱۶/۰۹ | ۱۴/۴۸ | نوامبر |
| MPEH5 B1 | ۱۲/۸۲ | | ۱۱۲/۵۷ | | ۲۴ | | ۱۵/۹۵ | | دسامبر |
| MPEH5 A1B | ۸/۹۸ | | ۲۰۹/۷۱ | | ۱۹/۰۴ | | ۱۰/۵۳ | | ژوئیه |
| MPEH5 A2 | ۹/۰۱ | ۸/۹۴ | ۱۸۶/۲۹ | ۱۹۶/۷ | ۱۹ | ۱۷/۶۸ | ۱۰/۷۴ | ۹/۷۸ | آگوست |
| MPEH5 B1 | ۲/۲۷ | | ۱۶۵/۱۵ | | ۱۹/۰۴ | | ۱۰/۷۹ | | سپتامبر |
| MPEH5 A1B | ۶/۶۶ | | ۱۷۰/۰۲ | | ۱۴/۵۱ | | ۶/۸ | | اکتبر |
| MPEH5 A2 | ۶/۵۵ | ۶/۹۸ | ۱۶۶/۷۳ | ۱۵۲/۳۲ | ۱۴/۱۹ | ۱۳/۴۷ | ۶/۶۱ | ۵/۷۱ | نوامبر |
| MPEH5 B1 | ۸/۷۸ | | ۱۵۴/۵۲ | | ۱۴/۵۱ | | ۶/۹۲ | | دسامبر |

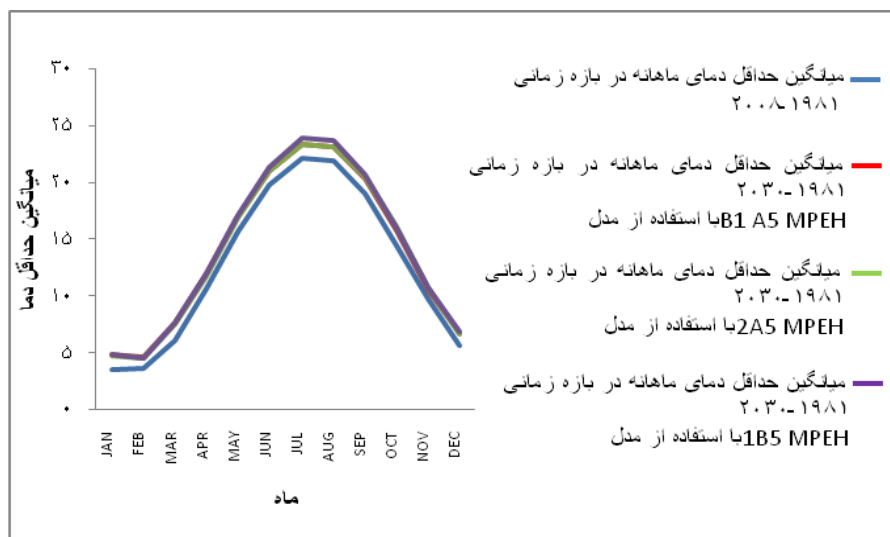
نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد که میانگین حداقل و حداکثر دمای پیش‌بینی شده دما توسط مدل MPEH5 با در نظر گرفتن سه سناریو B1, A2, B1 در کلیه ماه‌ها و تمام فصول افزایش می‌یابد (شکل ۱ و ۲).



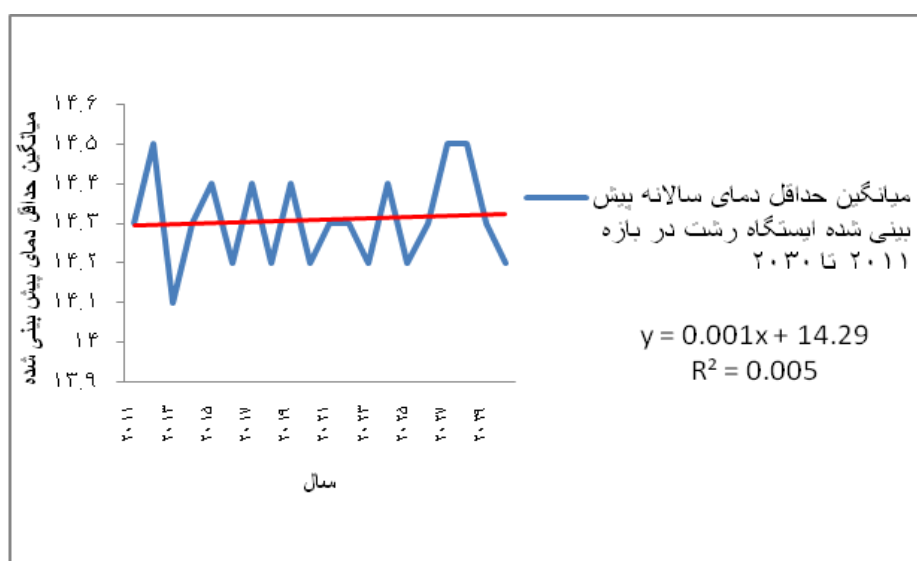
شکل ۱: میانگین حداقل دمای سالانه ثبت شده در ایستگاه رشت طی بازه ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و مقادیر پیش‌بینی شده آن برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰

Figure 1: Average annual minimum temperature recorded at Rasht station during the period 1981 to 2008 and its predicted values for the period 2011 to 2030



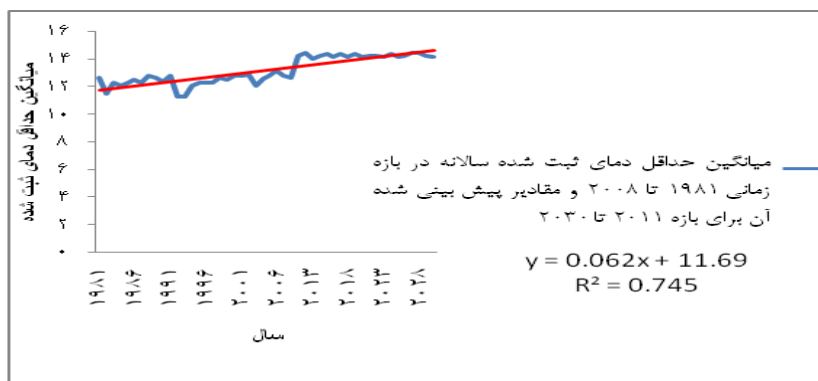
شکل ۲: میانگین حداکثر دمای سالانه ثبت شده در ایستگاه رشت طی بازه ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و مقادیر پیش‌بینی شده آن برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰
 Figure 2: Average annual maximum temperature recorded at Rasht station during the period 1981 to 2008 and its predicted values for the period 2011 to 2030

با این تفاوت که بیش‌ترین مقدار افزایش در میانگین دمای حداقل در فصل تابستان با $1/67^\circ$ و کم‌ترین آن با $1/1^\circ$ سلسیوس در پاییز رخ می‌دهد. در مورد میانگین حداکثر دمای پیش‌بینی شده، پاییز با $6/11^\circ$ و بهار با $74/1^\circ$ سلسیوس به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان افزایش میانگین حداکثر دمای فصلی را به‌خود اختصاص داده‌اند. بررسی روند تغییرات میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه نشان دهنده این است که هر دو روند افزایشی دارند (شکل‌های ۳ تا ۶).



شکل ۳: میانگین حداقل دمای پیش‌بینی شده ایستگاه رشت در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ و روند تغییرات آن

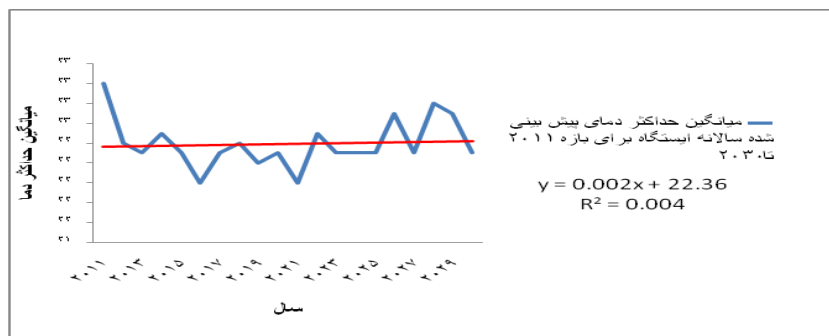
Figure 3: The average minimum temperature predicted in Rasht station during the period 2011 to 2030 and the trend of its changes



شکل ۴: میانگین حداقل دمای ثبت شده سالانه در ایستگاه رشت طی بازه ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و مقادیر پیش‌بینی شده آن برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۳۰ با

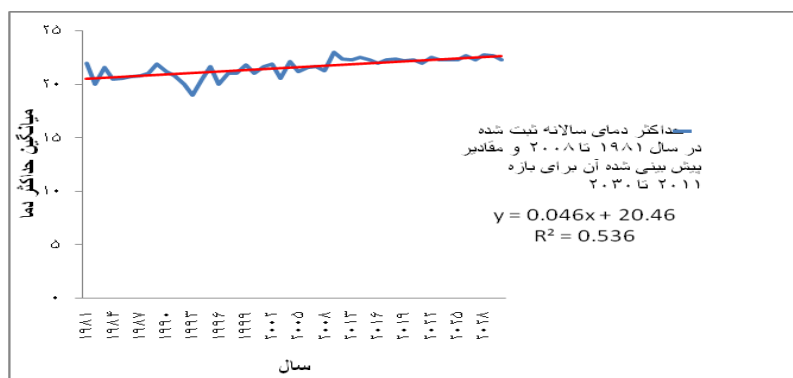
مدل MPEH5 A2

Figure 4: Average minimum annual temperature recorded in Rasht station during the period 1981 to 2008 and its predicted values for the period 2011 to 230 with MPEH5 A2 model



شکل ۵: میانگین حداکثر دمای پیش‌بینی شده ایستگاه رشت در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ و روند تغییرات آن

Figure 5: The average maximum temperature predicted in Rasht station during the period 2011 to 2030 and the trend of its changes



شکل ۶: میانگین حداکثر دمای سالانه ثبت شده در ایستگاه رشت طی بازه ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و مقادیر پیش‌بینی شده آن برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۳۰ با

مدل MPEH5 A2

Figure 6: Average annual maximum temperature recorded at Rasht station during the period 1981 to 2008 and its predicted values for the period 2011 to 230 with MPEH5 A2 model

به‌گونه‌ای که پیش‌بینی مدل در قالب سه سناریو آن را تایید می‌کند با این توضیح که طبق سناریو A2 که بهترین عملکرد را از نظر پیش‌بینی دارد (جدول ۳ و ۴) ماه‌های اکتبر و سپتامبر به‌ترتیب با $1/64^\circ$ و $1/48^\circ$ سلسیوس بالاترین میزان افزایش در میانگین حداقل دمای آن‌ها پیش‌بینی شده است و فوریه و دسامبر به‌ترتیب با $0/84$ درجه و $0/9^\circ$ سلسیوس کم‌ترین افزایش را در دمای میانگین حداقل در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ خواهند داشت (شکل ۳).

جدول ۳- صحت سنجی و ارزیابی توان مدل MPEH5 با سناریوهای مختلف در برآورد میانگین دمای حداقل ایستگاه در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰

Table 3- Validation and evaluation of MPEH5 model power with different scenarios in estimating the average minimum station temperature in the period 2011 to 2030

| نوع مدل و سناریو | MPEH5 A1B | MPEH5 A2 | MPEH5 B1 |
|------------------|-----------|----------|----------|
| RMSE | ۱/۲۴ | ۱/۲۰ | ۱/۴۰ |
| MSE | ۱/۵۳ | ۱/۴۵ | ۱/۹۶ |
| MAE | ۱/۲۲ | ۱/۱۸ | ۱/۳۷ |
| ERORR | -۱۴/۱۳ | -۱۳/۰۷ | -۱۴/۷۴ |
| R | ۱ | ۱ | ۱ |
| R2 | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۹۹ |

جدول ۴- صحت سنجی و ارزیابی توان مدل MPEH5 با سناریوهای مختلف در برآورد میانگین دمای حداکثر ایستگاه در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰

Table 4- Validation and power evaluation of MPEH5 model with different scenarios in estimating the average maximum station temperature in the period 2011 to 2030

| نوع مدل و سناریو | MPEH5 A1B | MPEH5 A2 | MPEH5 B1 |
|------------------|-----------|----------|----------|
| RMSE | ۱۲/۵۱ | ۱۳/۵۷ | ۲۰/۰۸ |
| MSE | ۱۵۶/۳۸ | ۱۸۹ | ۴۰۳/۱۶ |
| MAE | ۱۰/۶۲ | ۱۲/۱۷ | ۱۵/۴۱ |
| ERORR | ۵/۱۳ | ۴/۸۸ | ۱۶/۴۶ |
| R | ۰/۹۸۲ | ۰/۹۷۳ | ۰/۹۶۵ |
| (R2) | ۰/۹۶۴ | ۰/۹۴۶ | ۰/۹۳۱ |

با توجه به جدول (۲) و شکل (۴) در مورد پیش‌بینی میانگین دمای حداکثر ماهانه می‌توان نتیجه گرفت که زمستان و تابستان به‌ترتیب با $1/34$ و $1/32$ درجه سلسیوس بالاترین میزان افزایش فصلی و بهار و پاییز با $0/12$ و $1/09$ درجه سلسیوس کم‌ترین میزان افزایش فصلی را خواهند داشت. بررسی وضعیت بارش دوره پایه با مقدار پیش‌بینی شده در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ (جدول ۷) نشان می‌دهد که مدل با سناریوی A1B، میانگین بارش سالانه را $3/2$ میلی‌متر بیش‌تر

از میانگین ثبت شده پیش‌بینی کرده است در حالی که خروجی مدل با سناریوی A2 و B1 به ترتیب ۴۲/۱۵ و ۱۴۲/۶۶ میلی‌متر کم‌تر از میانگین ثبت شده برآورد کرده‌اند (شکل ۷). از طرفی مقدار بارش پیش‌بینی شده توسط مدل در هر سه سناریو برای فصل زمستان، بیش‌تر از مقدار آن در دوره پایه بوده است که دلیل این امر افزایش دمای سطح آب دریا نسبت به گذشته می‌باشد که ضمن تزریق بیش‌تر رطوبت به جو در قالب محلی، می‌تواند با توجه به اختلاف دمای آب آن با سیستم‌های پرفشار گذرنده از روی آن، سبب ناپایداری آن‌ها و بارندگی شود (جدول ۵). همچنین میانگین بارش پیش‌بینی شده برای فصل تابستان در مقایسه با دوره پایه، نشان از کاهش آن دارد که این امر با توجه به افزایش دمای پیش‌بینی شده برای این فصل قابل توجیه است، چرا که از یک طرف قابلیت نگهداری رطوبت در هوا بیش‌تر می‌شود و مهم‌تر از آن، جابجایی هر چه بیش‌تر دامنه اثرات درپوش فوقانی جو یعنی STHP به عرض‌های بالاتر همراه با عقب‌نشینی پرفشار جنب قطبی، می‌تواند چنین پیامدی را به همراه داشته باشد. از آنجایی که پذیرش هر کدام اثری متفاوت در برنامه‌ریزی محیطی و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی، به‌ویژه کشاورزی خواهد داشت، بنابراین با بررسی معیارهای ارزیابی عملکرد مدل (جدول ۶) می‌توان نتیجه گرفت که نتیجه مدل MPEH5 تحت سناریو A1B در پیش‌بینی بارش آینده از مقبولیت بیش‌تری برخوردار است و سپس در مراحل بعدی به ترتیب A2 و B1 قرار دارند؛ بنابراین ایستگاه مورد نظر در آینده نسبت به دوره پایه با افزایش بارش سالانه ۳/۲ میلی‌متر مواجه می‌شود. آن چه که در این بین مهم است، تغییر در میزان توزیع بارش ایستگاه در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ نسبت به دوره پایه است. با توجه به این که استان یکی از قطب‌های کشاورزی است نتایج آن در ترکیب با روند تغییر دمای متناظر با آن قابل تامل است که باید از سوی متولیان امر برنامه‌ریزی مورد توجه جدی قرار بگیرد. بیش‌ترین افزایش بارش فصلی به ترتیب مربوط به پاییز و سپس زمستان و بهار است و این در حالی است که در تابستان با کاهش میانگین بارش ۴۳/۵۱ میلی‌متر همراه است (جدول ۷). نکته‌ای را که باید به آن توجه جدی داشت، بروز یک حالت معکوس در روند دما و بارش طی دوره‌های مورد مطالعه است تا جایی که با افزایش دما شاهد کاهش در میزان بارش بوده و برعکس آن. این وضعیت نشان می‌دهد که منطقه تحت تاثیر دوره‌ای پرفشار جنب‌حاره‌ای بوده و از بارش فصل سرد سال برخوردار است که شروع بارش با کاهش دما و حضور بادهای غربی در این مناطق همراه است. بررسی تغییرات دما و بارش نشان می‌دهد که نوسانات میزان بارش بیش‌تر است که این خود نمایان گر پیچیدگی‌های حاکم بر رفتار بارش می‌باشد که پیش‌بینی آن را نسبت به دیگر فراسنج‌ها مشکل می‌سازد. از طرفی افزایش دما می‌تواند سبب طولانی‌تر شدن فصول رشد و نمو گیاهان شده و همچنین بر نیاز آبی گیاهان بیفزاید، زیرا فرآیند تبخیر و تعرق را سرعت می‌بخشد. در نتیجه تاثیر سوپی بر منابع آب از نظر کمی و کیفی می‌گذارد؛ به گونه‌ای که ضمن کاهش میزان بارش منجمد و افزایش ارتفاع برف مرز، سبب تقلیل ذخیره آب می‌شود.

در نهایت با تشدید فرایند همرفتی در دامنه‌های مناطق کوهستانی، پتانسیل بارش‌های شدید و وقوع سیل در پایین‌دست حوضه‌ها را افزایش می‌دهد.

جدول ۵- مقایسه میانگین دمای ثبت شده ایستگاه در دوره پایه با مقادیر پیش‌بینی شده آن توسط مدل با سناریوهای مختلف در دوره ۲۰۳۰-

۲۰۱۱

Table 5- Comparison of the average recorded station temperature in the base period with its predicted values by the model with different scenarios in the period 2030-2011

| MPEH5 B1 | MPEH5 A2 | MPEH5 A1B | دوره پایه | دوره پایه و آینده |
|----------|----------|-----------|-----------|-------------------|
| ۳۸/۱۳ | ۱۲/۳۲ | ۱۱/۰۶ | ۱۰/۹۸ | زمستان |
| ۱۶/۰۸ | ۱۹/۰۳ | ۲۴/۰۵ | ۱۷/۹۴ | پاییز |
| ۲۶/۸۳ | ۳۰/۹۹ | ۳۱/۳۹ | ۲۹/۶۷ | تابستان |
| ۲۵/۶۲ | ۲۴/۶ | ۲۴/۸۲ | ۲۳/۸۸ | بهار |

جدول ۶- صحت سنجی و ارزیابی توان مدل MPEH5 با سناریوهای مختلف در برآورد میانگین بارش ایستگاه در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰

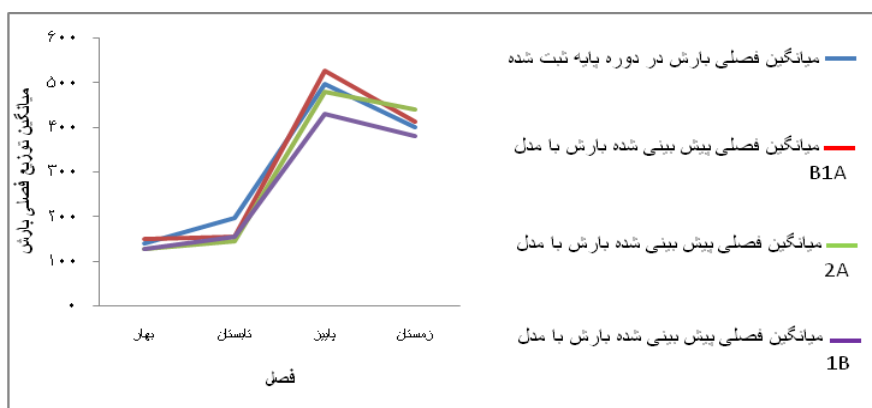
Table 6- Validation and power evaluation of MPEH5 model with different scenarios in estimating the average station rainfall in the period 2011 to 2030

| مدل یا سناریو | MPEH5 AB1 | MPEH5 A2 | MPEH5 B1 |
|-------------------|-----------|----------|----------|
| RMSE | ۱۲/۵۱ | ۷۵/۱۳ | ۲۰/۰۸ |
| MSE | ۳۸/۱۵۶ | ۱۸۹ | ۴۰۳/۱۶ |
| MAE | ۶۲/۱۰ | ۱۷/۱۲ | ۱۵/۴۱ |
| ERROR | ۱۳/۵ | ۴/۸۸ | ۱۶/۸ |
| R | ۰/۹۸۲ | ۰/۹۷۳ | ۰/۹۶۵ |
| (R ²) | ۰/۹۶۴ | ۰/۹۴۶ | ۰/۹۳۱ |

جدول ۷- توزیع فصلی بارش شهر رشت در دوره آماری پایه و مقایسه آن با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل MPEH5 با سناریوهای مختلف

Table 7- Seasonal distribution of rainfall in Rasht in the basic statistical period and its comparison with the values predicted by the MPEH 5 model with different scenarios

| فصل | دوره پایه | سناریو A1B | سناریو ۲A | سناریو ۱B |
|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| بهار | ۱۴۲/۰۷ | ۱۵۰/۵۴ | ۱۲۹/۵۵ | ۱۲۹/۳۳ |
| تابستان | ۱۹۹/۶۶ | ۱۵۶/۱۵ | ۱۴۷/۸۷ | ۱۵۵/۹۴ |
| پاییز | ۴۹۸/۷۳ | ۵۲۶/۸۴ | ۴۸۱/۳۶ | ۴۳۲/۲۴ |
| زمستان | ۴۰۳/۳ | ۴۱۳/۵۲ | ۴۴۲/۷۸ | ۳۸۳/۴۷ |
| جمع سالانه | ۱۲۴۳/۶۷ | ۱۲۴۶/۸۷ | ۱۲۰۱/۵۲ | ۱۱۰۱/۰۱ |



شکل ۷: مقایسه میانگین توزیع فصلی بارش ایستگاه رشت در دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ با مقادیر پیش‌بینی شده مدل MPEH

Figure 7: Comparison of the average seasonal distribution of precipitation in Rasht station in the period 1981 to 2008 with the predicted values of MPEH model

نکته‌ای را که باید به آن توجه جدی داشته داشت، بروز یک حالت معکوس در روند دما و بارش طی دوره‌های مورد مطالعه است تا جای که با افزایش دما شاهد کاهش در میزان بارش است و برعکس آن. این وضعیت نشان می‌دهد که منطقه تحت تاثیر دوره‌ای پرفشار جنب‌حاره‌ای بوده و از بارش فصل سرد سال برخوردار است که شروع بارش با کاهش دما و حضور بادهای غربی در این مناطق همراه است. بررسی تغییرات دما و بارش نشان می‌دهد که نوسانات میزان بارش بیش‌تر است که این خود نمایان‌گر پیچیدگی‌های حاکم بر رفتار بارش می‌باشد که پیش‌بینی آن را نسبت به دیگر فراسنجه‌ها مشکل می‌سازد. از طرفی افزایش دما می‌تواند سبب طولانی‌تر شدن فصول رشد و نمو گیاهان شده و همچنین بر نیاز آبی گیاهان بیفزاید، چون فرآیند تبخیر و تعرق را سرعت می‌بخشد. در نتیجه تاثیر سوئی بر منابع آب از نظر کمی و کیفی می‌گذارد، به گونه‌ای که ضمن کاهش میزان بارش منجمد و افزایش ارتفاع برف مرز، سبب تقلیل ذخیره آب می‌شود. در نهایت با تشدید فرآیند همرفتی در دامنه‌های مناطق کوهستانی، پتانسیل بارش‌های شدید و وقوع سیل در پایین‌دست حوضه‌ها را افزایش می‌دهد.

References

- Babaei, B., Mirzaei, F., Sohrabi, T., (2011), "Performance evaluation of LARS-WG model in 12 coastal stations of Iran", *Iranian Journal of Water Research*, 5 (9): 217-222. [In Persian].
- Dibike, B. Y., Coulibaly, P., (2004), "Hydrological impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models", *Journal of hydrology*, 307: 145-163.
- Dibike, Y. B., Coulibaly, P., (2005), "Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models", *J. Hydrol*, 307: 145-163.
- Fowler, H. J., Kilsby, C. G., (2007), "Using regional climate model data to simulate historical and future river flows in northwest England", *Climatic change*, 80 (3): 337-367.
- Hajarpoor, A., Yousofi, M., Kamkar, B., (2014), "Test of accuracy of WeatherMan, LARS-WG and CLIMGEN simulators in simulating the climatic parameters of three different climates (Gorgan, Gonbad and Mashhad)", *Journal of Geography and Development*, 35: 201-216. [In Persian].
- Hashemi Nasab Khasibi, F. S., Mousavi Baigi, M., Bakhtiari, B., Judgment, K., (2012), "Prediction of precipitation changes in the next 20 years in Kerman province using LARS-WG microscale models and HADCM3 general circulation", *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 12: 43-58. [In Persian].
- Hashmi, M. Z., Shamseldin, A. Y., Melville, B. W., (2011), "Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25 (4): 475-484. [In Persian].
- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D. R., Wolfe, D., (2011), "Climate impacts on agriculture: implications for crop production", *Review & Interpretation, Agronomy Journal*, 10 (2): 349-370.
- Khalili Aqdam, N., favorable, A., Soltani, Ah., Kamkar, B., (2012), "Assessing the ability of LARS-WG model in predicting some atmospheric parameters of Sananda", *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 19 (4): 85-122. [In Persian].
- Semenov, M. A., (2009), "Impacts of climate change on wheat in England and Wales", *Journal of the Royal Society Interface*, 6 (33): 343-350.
- Semenov, M. A., Stratonovitch, P., (2010), "Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts", *Climate research*, 41(1): 1-14.
- Moafi Madani. S. F., Malboosi, SH., Asmari, M., (2010), "Prediction of climate change in south khorasan in the period 2010-2010 using output microscale of ECHO-G model", *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 24 (2): 218-233. [In Persian].
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., Berg, A., (2011), "The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say?", *Global environmental change*, 21 (3): 1073-1083.
- Semenov, M. A., Brooks, R. J., (1999), "Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain", *Climate Research*, 11: 137-148
- Goodarzi, M., Habibi Nokhandan, M., helper, Jafari, A., (2013), "Climate modeling of Tehran and Mazandaran provinces using the LARS-WG 5 climate model and comparison of its changes in the northern and southern fronts of Central Alborz", *Environmental Science and Technology*, 15: 48-53. [In Persian].