دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست‌ویکم، شماره‌ی ۷۴
تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۱۴-۱

مصطفی کرمپور[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 دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۸

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-WG$_5$ 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 برخودار 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 ۴۳/۵۱ 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.
*۲- دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: yarahmadi_elham@yahoo.com
۳- دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

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 قطب های کشاورزی است می‌گردد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، سناریوهای تغییراقلیم، 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 متغییرهای شبیه سازی شده توسط مدل‌های جفت شده‌ی جوی–اقیانوسی است که قادر هستند فراسنجه‌های جوی–اقیانوسی را با اتکا به سناریوهای تایید شده IPCC[4] برای یک بازه طولانی مدل‌سازی نمایند (Dibiki & Coulibaly, 2005: 145) این مدل‌ها تاثیر آئروسل‌ها 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 ریزمقیاس نمایی[5] آماری با استفاده از یک مدل مولد تصادفی داده‌های هواشناسی به نام LARS-WG5[6] 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- Itergovernmental Panel on Climate Change
5- Down-Scaling
6- long Ashton Research Station Weather Generator

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

ارزیابی طیف وسیعی از عدم قطعیت اثرات تغییر آب‌وهوا در مقیاس محلی بپردازد که بر اساس چهارمین گزارش ارزیابی IPCC تهیه شده است و مورد تائید قرار گرفته است (Semenov et al., 2010: 1). تحقیقات زیادی در بخش‌های مختلف دنیا به‌منظور 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 ایالات‌متحده، 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 به‌منظور 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 آتی موثر واقع شوند (Hashami, 2010: 130). در ایران نیز تحقیقات متعددی در مورد بررسی تغییرات فراسنجه های آب‌وهوایی 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). Haqtalab 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: 38). 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 ٤٪ 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 افزایشی 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 آتی این متغییر ها در بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ می‌باشد تا با بهره‌گیری از نتایج آن بتوان تدابیری

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

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 19´N °37 و 37´E °49 و ارتفاع از سطح مبنا ۸.٦ 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 فراسنج‌های 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 t و F 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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

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 داده-های 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 [۷](GPV) آن در مدل LARS-WG استفاده می‌شود، اقدام شد. مدل گردش عمومی جو MPEH5 که توسط یک شرکت آلمانی[۸] طراحی شده است، دارای قدرت تفکیکی برابر ۱/۹° ×۱/۹° طول و عرض جغرافیایی است و دارای سه سناریو تغییر اقلیم A2, A1B, B1 می‌باشد؛ بنابراین با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG5 و مدل گردش عمومی جو MPEH5 با توجه به هریک 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	۰/۵٤
MSE	۰/۰۱	۰/۰۲	۷٦/۸۸	۰/۲۹
MAE	۰/۱	۰/۲	۷/۰۵	۰/۳٦

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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

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 فراسنجه های اقلیمی بارش و دما در محدوده ی 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	میانگین حداقل دمای ماهانه		میانگین حداکثر دمای ماهانه		میانگین بارندگی ماهانه		میانگین تابش ماهانه		مدل و سناریوی استفاده شده
	مقدار ثبت شده	مقدار برآورد شده	مقدار ثبت شده	مقدار برآورد شده	مقدار ثبت شده	مقدار برآورد شده	مقدار ثبت شده	مقدار برآورد شده	
ژوئیه		۲۰/۹۷		۳۲/۹۸		۲۳/۲۱		۲۵/۵۷	MPEH5 A1B
آگوست	۲۲/۱۲	۲۳/۳۶	۳۱	۳۲/٤٦	۳۱/۵۸	۲۳/۲٦	۲٤/۸۹	۲۵/۵۱	MPEH5 A2
سپتامبر		۲۳/۸۹		۳۲/۹۸		۱٦/۰۳		۲۵/۷٤	MPEH5 B1
اکتبر		۲۳/۱۵		۳۲/۵۸		۵۲/٤٤		۲٤/۸۲	MPEH5 A1B
نوامبر	۲۱/۹۵	۲۳/۱۱	۳۰/۷٤	۳۲/۰۵	۵۸/۵۳	۵۳/۵۳	۲۳/٦۱	۲٤/۸۸	MPEH5 A2
دسامبر		۲۳/٦۵		۳۲/۰۹		۳۹/۹۲		۲۵/۲۲	MPEH5 B1
ژوئیه		۲۰/۳۸		۲۸/٦۱		۸۰/٦۱		۲۰/٦٤	MPEH5 A1B
آگوست	۱٤/٤۸	۲۰/٤٦	۲۷/۲۸	۲۸/٤۷	۱۰۹/۵۵	۸۱/۰۷	۲۰/۳۹	۱۷/۰۸	MPEH5 A2
سپتامبر		۲۰/٦۳		۱۵/۵۲		۱۰۰		۲۱/۰٤	MPEH5 B1
اکتبر		۱۵/۷۵		۲٤		۱٤٦/۹۱		۱۲/٤٦	MPEH5 A1B
نوامبر	۱٤/٤۸	۱٦/۰۹	۲۲/٦۷	۲٤/۱٤	۱٤۹/۷۱	۱۲۸/۳٤	۱۲/٦۷	۱۲/٦٤	MPEH5 A2
دسامبر		۱۵/۹۵		۲٤		۱۱۲/۵۷		۱۲/۸۲	MPEH5 B1
ژوئیه		۱۰/۵۳		۱۹/۰٤		۲۰۹/۷۱		۸/۹۸	MPEH5 A1B
آگوست	۹/۷۸	۱۰/۷٤	۱۷/٦۸	۱۹	۱۹٦/۷	۱۸٦/۲۹	۸/۹٤	۹/۰۱	MPEH5 A2
سپتامبر		۱۰/۷۹		۱۹/۰٤		۱٦۵/۱۵		۹/۲۷	MPEH5 B1
اکتبر		٦/۸		۱٤/۵۱		۱۷۰/۰۲		٦/٦٦	MPEH5 A1B
نوامبر	۵/۷۱	٦/٦۱	۱۳/٤۷	۱٤/۱۹	۱۵۲/۳۲	۱٦٦/۷۳	٦/۹۸	٦/۵۵	MPEH5 A2
دسامبر		٦/۹۲		۱٤/۵۱		۱۵٤/۵۲		٦/۷۸	MPEH5 B1
ژوئیه		۲۰/۹۷		۳۲/۹۸		۲۳/۱۲		۲۵/۵۷	MPEH5 A1B
آگوست	۲۲/۱۲	۲۳/۳٦	۳۱	۳۲/٤٦	۳۱/۵۸	۲۳/۲٦	۲٤/۸۹	۲۵/۵۱	MPEH5 A2
سپتامبر		۲۳/۸۹		۳۲/۹۸		۱٦/۰۳		۲۵/۷٤	MPEH5 B1
اکتبر		۲۳/۱۵		۳۲/۵۸		۵۲/۵۵		۲٤/۸۲	MPEH5 A1B
نوامبر	۲۱/۹۵	۲۳/۱۱	۳۰/۷٤	۳۲/۰۵	۵۸/۵۳	۵۳/۵۳	٦۱/۲۳	۲٤/۸۸	MPEH5 A2
دسامبر		۲۳/٦۵		۳۲/۰۹		۳۹/۹۲		۲۵/۲۲	MPEH5 B1
ژوئیه		۲۰/۳۸		۲۸/٦۱		۸۰/٦۱		۲۰/٦٤	MPEH5 A1B

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

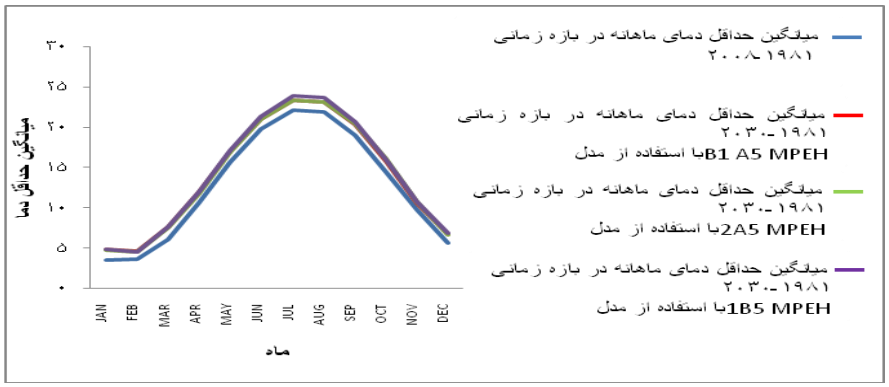
ادامه جدول ۲- داده‌های ثبت شده در ایستگاه رشت در بازه ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و مقادیر پیش‌بینی شده آن برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ تحت سه سناریوی مدل MPEH5

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

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

نتیجه‌گیری

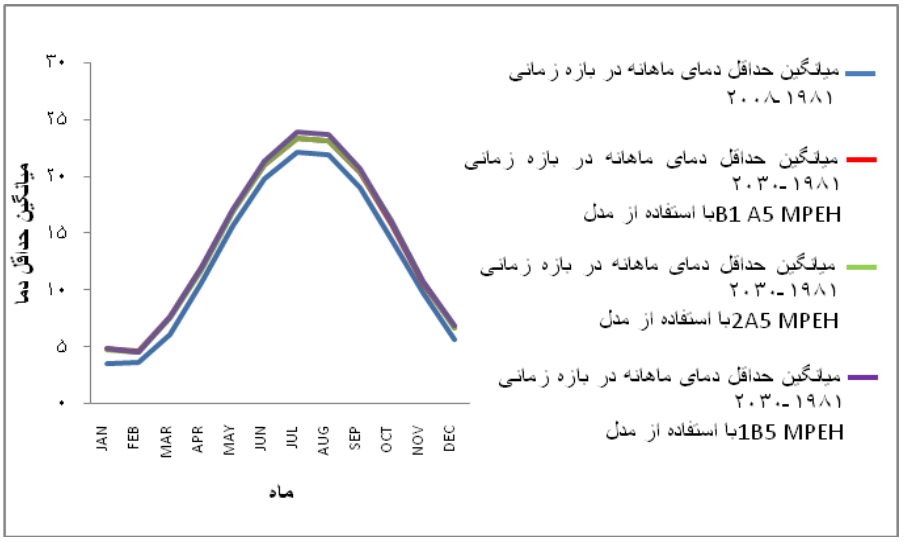
نتایج نشان می‌دهد که میانگین حداقل و حداکثر دمای پیش‌بینی شده دما توسط مدل MPEH5 با در نظر گرفتن سه سناریو A1B, A2, B1 در کلیه ماه‌ها و تمام فصول افزایش می‌یابد (شکل ۱ و ۲).



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

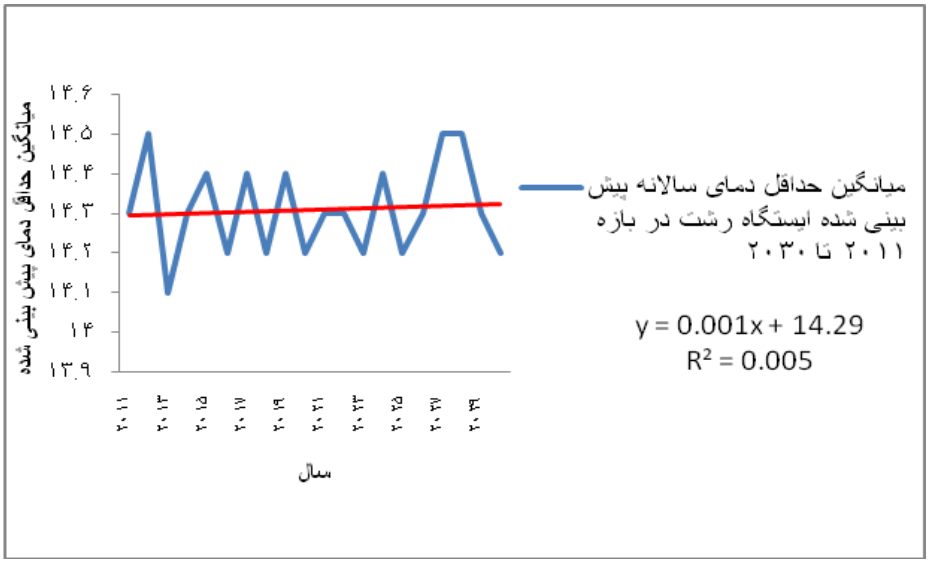
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]



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

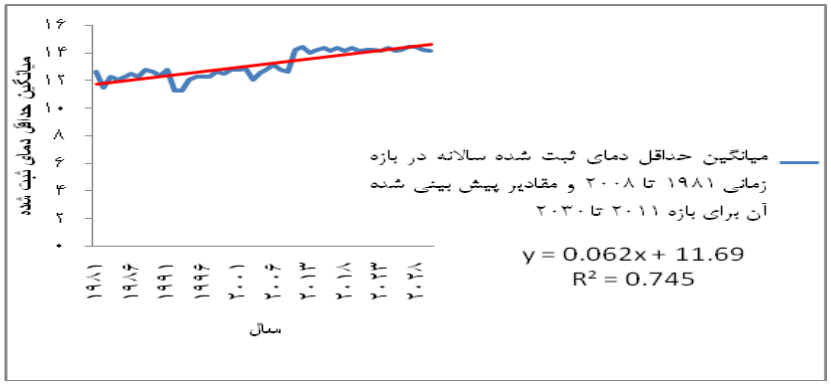
با این تفاوت که بیش‌ترین مقدار افزایش در میانگین دمای حداقل در فصل تابستان با ۱/۶۷ ° و کم‌ترین آن با ۱/۱ ° سلسیوس در پاییز رخ می‌دهد. در مورد میانگین حداکثر دمای پیش‌بینی شده، پاییز با ۶/۱۱° و بهار با ۷۴/۱° سلسیوس به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان افزایش میانگین حداکثر دمای فصلی را به‌خود اختصاص داده‌اند. 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

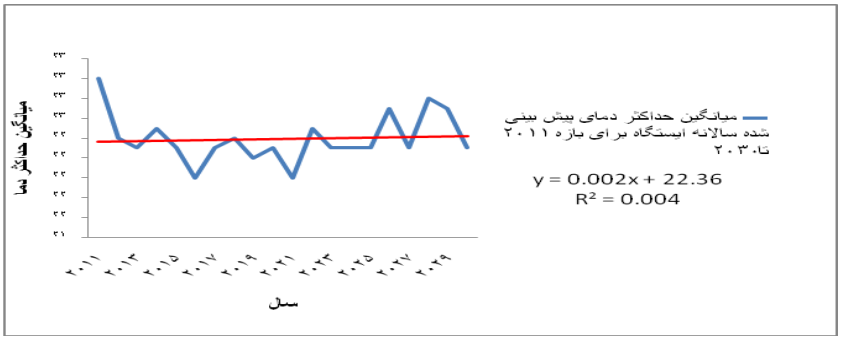
Figure 3: The average minimum temperature predicted in Rasht station during the period 2011 to 2030 and the trend of its changes

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]



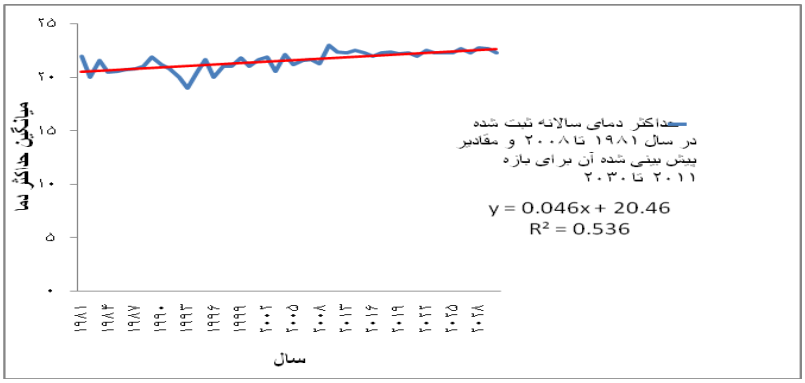
شکل ٤: میانگین حداقل دمای ثبت شده سالانه در ایستگاه رشت طی بازه ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و مقادیر پیش‌بینی شده آن برای بازه ۲۰۱۱ تا ۲۳۰ با مدل MPEH5 A2

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 ٥: 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 ٦: 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

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

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 ٤) ماه‌های اکتبر و سپتامبر به‌ترتیب با ۱/٦٤° و ۱/٤٨° سلسیوس بالاترین میزان افزایش در میانگین حداقل دمای آن‌ها پیش‌بینی شده است و فوریه و دسامبر به‌ترتیب با ۰/۸٤ درجه و ۰/۹° 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 MPEH ۵model 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	۱/۲٤	۱/۲۰	۱/٤۰
MSE	۱/۵۳	۱/٤۵	۱/۹٦
MAE	۱/۲۲	۱/۱۸	۱/۳۷
ERORR	-۱٤/۱۳	-۱۳/۰۷	-۱٤/۷٤
R	۱	۱	۱
R2	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹

جدول ٤- 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 MPEH ۵model 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	۱۵٦/۳۸	۱۸۹	٤۰۳/۱٦
MAE	۱۰/٦۲	۱۲/۱۷	۱۵/٤۱
ERORR	۵/۱۳	٤/۸۸	۱٦/٤٦
R	۰/۹۸۲	۰/۹۷۳	۰/۹٦۵
(R2)	۰/۹٦٤	۰/۹٤٦	۰/۹۳۱

با توجه به جدول (۲) و شکل (٤) در مورد پیش‌بینی میانگین دمای حداکثر ماهانه می‌توان نتیجه گرفت که زمستان و تابستان به‌ترتیب با ۱/۳٤ و ۱/۳۲ درجه سلسیوس بالاترین میزان افزایش فصلی و بهار و پاییز با ۰/۱۲ و ۱/۰۹ 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 ۳/۲ میلی‌متر بیش‌تر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

از میانگین ثبت شده پیش‌بینی کرده است در حالی که خروجی مدل با سناریوی A2 و B1 به‌ترتیب ٤٢/١٥ و ١٤٢/٦٦ 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 ٦) می‌توان نتیجه گرفت که نتیجه مدل MPEH5 تحت سناریو A1B در پیش‌بینی بارش آینده از مقبولیت بیش‌تری برخوردار است و سپس در مراحل بعدی به‌ترتیب 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 این‌که 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 به‌ترتیب مربوط به پاییز و سپس زمستان و بهار است و این در حالی است که در تابستان با کاهش میانگین بارش ٤٣/٥١ 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 سویی 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.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

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

دوره پایه و آینده	دوره پایه	MPEH5 A1B	MPEH5 A2	MPEH5 B1
زمستان	۱۰/۹۸	۱۱/۰٦	۱۲/۳۲	۳۸/۱۳
پاییز	۱۷/۹٤	۲٤/۰۵	۱۹/۰۳	۱٦/۰۸
تابستان	۲۹/٦۷	۳۱/۳۹	۳۰/۹۹	۲٦/۸۳
بهار	۲۳/۸۸	۲٤/۸۲	۲٤/٦	۲۵/٦۲

جدول ٦- 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

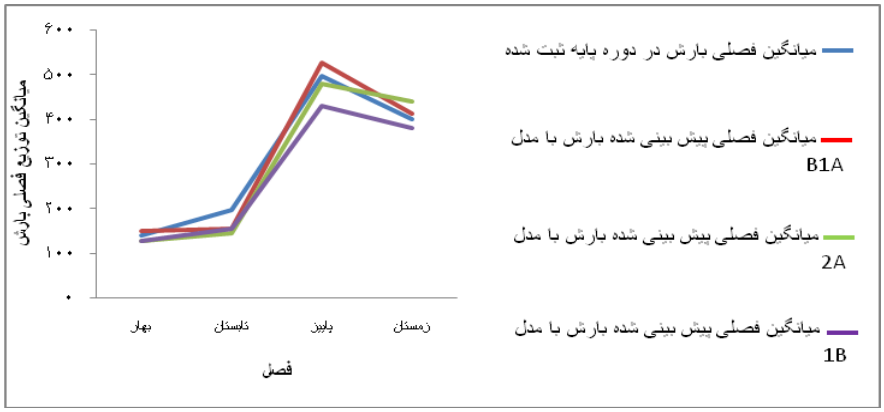
مدل یا سناریو	MPEH5 AB1	MPEH5 A2	MPEH5 B1
RMSE	۱۲/۵۱	۷۵/۱۳	۲۰/۰۸
MSE	۳۸/۱۵٦	۱۸۹	٤۰۳/۱٦
MAE	٦۲/۱۰	۱۷/۱۲	۱۵/٤۱
ERROR	۱۳/۵	٤/۸۸	۱٦/۸
R	۰/۹۸۲	۰/۹۷۳	۰/۹٦۵
(R^2)	۰/۹٦٤	۰/۹٤٦	۰/۹۳۱

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	۱٤۲/۰۷	۱۵۰/۵٤	۱۲۹/۵۵	۱۲۹/۳۳
تابستان	۱۹۹/٦٦	۱۵٦/۱۵	۱٤۷/۸۷	۱۵۵/۹٤
پاییز	٤۹۸/۷۳	۵۲٦/۸٤	٤۸۱/۳٦	٤۳۲/۲٤
زمستان	٤۰۳/۳	٤۱۳/۵۲	٤٤۲/۷۸	۳۸۳/٤۷
جمع سالانه	۱۲٤۳/٦۷	۱۲٤٦/۸۷	۱۲۰۱/۵۲	۱۱۰۱/۰۱

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]



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 نمایان گر پیچیدگی‌های حاکم بر رفتار بارش می‌باشد که پیش‌بینی آن را نسبت‌به 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.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

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].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]