

ارزیابی تغییر اقلیم ایستگاه بجنورد طی دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۵۰ با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی LARS WG و SDSM

غلامعباس فلاح‌قاله‌ری^۱، حسین یوسفی^{۲*}، احمد حسین‌زاده^۳، محمدرضا علیمرادی^۴، الیاس ریحانی^۵

۱. دانشیار دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار

۲. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

۳. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار

۴. دانشجوی دکتری تغییر اقلیم، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۶/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۹/۰۳)

چکیده

اقلیم زمین همواره در حال تغییر بوده است، ولی روند فعلی تغییرات اقلیمی زمین به دلیل تأثیر انسان بر آن، اهمیت بی‌سابقه‌ای پیدا کرده است. در پژوهش حاضر برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در ایستگاه بجنورد از مدل‌های LARS WG و SDSM به منظور ریزمقیاس‌نمایی استفاده شده است. در هر دو مدل سناریوهای A و B بررسی شده، اما در مدل SDSM از سناریوهای جدید RCP نیز استفاده شده است. نتایج بررسی وضعیت ایستگاه از نظر دما این نکته را روشن می‌کند که متوسط دمای ایستگاه طی دوره مطالعه حدود ۱۳/۵۲ درجه سانتی‌گراد است، اما بعد از سال ۲۰۰۰ دمای ایستگاه بیشتر از میانگین درازمدت آن قرار گرفته است. نتایج مدل LARS WG نشان می‌دهد بارش در ایستگاه تا سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد. در سناریوی B1 مقدار افزایش بارش تا سال ۲۰۵۰، ۲۵۸ میلی‌متر برآورد شده که ۱۶ میلی‌متر بیشتر از بارش پایه است و تمامی فصول در این سناریو افزایش بارش دارند و مقدار افزایش در سناریوی A2 به میزان ۲۵۶ میلی‌متر در سال می‌رسد. در مدل SDSM بارش افزایش می‌یابد و این افزایش بارش در سناریوهای A2 و B1 بیشتر از سناریوهای RCP است. این مقدار در سناریوی A2، ۲۸۹ میلی‌متر؛ در سناریوی B2، ۲۹۴ میلی‌متر؛ در سناریوی RCP ۲/۶، این مقدار ۲۶۴ میلی‌متر؛ در سناریوی RCP ۴/۵، ۲۷۳ میلی‌متر و در سناریوی RCP ۸/۵، این مقدار ۲۶۴ میلی‌متر افزایش می‌یابد. در مدل LARS WG دمای کمینه در هر دو حالت روند افزایشی دارد و بیشترین مقدار افزایش دمای کمینه به فصل زمستان سناریوی A2 به میزان ۰/۸ درجه سانتی‌گراد مربوط است. از نظر ماهانه در هر دو سناریو دمای بیشینه در ماه‌های مارس، آوریل و می بیشترین افزایش را نسبت به دیگر فصول را دارد. مدل SDSM دمای بیشینه و کمینه سالانه کمتری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد؛ اما از نظر ماهانه ماه‌های مارس، آوریل و می هم دمای کمینه افزایش یافته و هم دمای بیشینه افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده تطابق نتایج هر دو مدل با هم است.

کلیدواژگان: بجنورد، تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، SDSM، LARS WG.

مقدمه

امروزه، یکی از مباحث جهانی مهم و کلیدی، تغییر اقلیم ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و پدیده گرمایش است. بررسی‌ها نشان می‌دهند پدیده تغییر اقلیم می‌تواند بر بخش‌های مختلف مانند منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، صنعت، بهداشت و غیره، آثار منفی بر جای بگذارد [۱].

براساس آخرین گزارش مجمع بین دول تغییر اقلیم، میانگین دمای جهان تا ۵۰ سال آینده ۰/۶ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد و تا پایان قرن حاضر، حدود ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. این تغییرات در مقیاس منطقه‌ای بسیار زیاد خواهد بود. از جمله مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم، تأثیر بر مؤلفه‌های هواشناسی و همچنین وضعیت هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز همچون دما، بارش و تبخیر و تعرق است [۲]. مدل‌های گردش عمومی جو^(۱) (GCM)، براساس سناریوهای مختلف اقلیمی توسعه یافته‌اند و اثر گازهای گلخانه‌ای را شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها می‌توانند تغییرات اقلیم آینده را پیش‌بینی کنند. یکی از ضعف‌های مدل GCM این است که برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب در محدوده حوضه‌های آبخیز دقت کافی ندارند. برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از مدل‌های چرخه عمومی، روش‌های مختلفی وجود دارد که روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری یکی از آنهاست. ریزمقیاس‌نمایی به معنای ایجاد ارتباط بین پیش‌بینی‌کننده‌های جو بزرگ‌مقیاس و متغیرهای پیش‌بینی‌شونده در منطقه محلی است. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: الف) ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی؛ ب) ریزمقیاس‌نمایی آماری. روش ریزمقیاس‌نمایی آماری مزایای بیشتری در مقایسه با ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی دارد. در روش ریزمقیاس‌نمایی آماری، پیش‌بینی واقعی‌تر و منطقی‌تر براساس رابطه آماری صورت می‌گیرد و اجرای آن نیز آسان است. مدل SDSM^۲ از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری است که استفاده می‌شود [۳]. با توجه به تغییرات صورت‌گرفته برای بررسی اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای بر سامانه آب‌وهوای کره زمین، مطالعات زیادی صورت گرفته و تا کنون ده‌ها مدل با مؤلفه‌ها و ویژگی‌های مختلف (به‌طور مثال، مدل‌های گردش

عمومی جو GCM) براساس مهم‌ترین سناریوهای تغییر اقلیم و افزایش گازهای گلخانه‌ای در مراکز بزرگ پایش تغییرات آب‌وهوایی اجرا شده و داده‌های خروجی آنها برای ترزهای مختلف جو در اختیار پژوهشگران قرار گرفته است [۴]. مدل‌های گردش عمومی جو هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیم برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند، آنها به ریزمقیاس‌نمایی نیاز دارند تا با اعمال رفتارهای محلی در آنها پیش‌بینی‌هایشان در مقیاس‌های محلی بهبود یابند. باید قبل از استفاده، آنها را ریزمقیاس‌کنیم. در حقیقت، کوچک‌مقیاس کردن به فرایند حرکت از پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ‌مقیاس به پیش‌بینی‌شونده‌ها در مقیاس محلی گفته می‌شود. روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی جو وجود دارد که از آن جمله می‌توان روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری و دینامیک را نام برد. از مدل‌هایی که برای روش آماری استفاده می‌شوند می‌توان به مدل‌های LARS-WG و SDSM اشاره کرد. مدل LARS-WG (مولد مصنوعی داده‌های آب و هواشناسی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال و آینده به کار رود [۵].

لولی و همکارانش جریان رودخانه زرد را تحت شرایط تغییر اقلیم بررسی کردند. آنها در پژوهش خود از مدل‌های هیدرولوژیکی (SWAT) و ریزمقیاس‌نمایی SDSM استفاده کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد دما در حوضه آبریز رودخانه روند افزایشی به میزان ۵ درجه تا دهه ۲۰۸۰ دارد و همچنین بارش حوضه افزایشی از ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر تا ۲۰۸۰ را نشان می‌دهد. میزان افزایش بارش در فصل تابستان با ۷۵ تا ۱۱۵ میلی‌متر، مقدار درخور توجهی را نشان می‌دهد [۶].

سعادت‌فر و همکارانش تغییرات فصلی متغیرهای آب و هوایی در مراتع استان کرمان را با استفاده از مدل LARS-WG مطالعه و بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد تحت هر سه سناریو (A1B, B1, A2) میزان بارندگی کاهش یافته و دمای کمینه و بیشینه افزایش خواهد یافت [۷]. آیدا و همکارانش تأثیرات تغییر اقلیم بر میزان ذخیره آب مخازن سدها و تولید برق در مالزی را با استفاده از مدل LARS-WG بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد دما افزایش خواهد یافت و بارش در بعضی ماه‌های سال کاهش

1. General Circulation Model
2. Statistical Downscaling Model

SDSM، IDW و LARS-WG برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌کردن دما و بارش ایستگاه پارس‌آباد اردبیل پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد هر سه مدل عملکرد خوبی در شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌کردن داده‌های دما دارند. در مورد بارش نتایج سه مدل تفاوت درخور توجهی نسبت به یکدیگر نشان دادند. شدت افزایش بارش نسبت به دوره پایه در مدل IDW نسبت به دو مدل دیگر بیشتر و در مدل LARS-WG نسبت به دو مدل دیگر کمتر است؛ اما در مورد تبخیر و تعرق محاسبه نتایج دو مدل SDSM و IDW بیان‌کننده افزایش تبخیر و تعرق در تمامی ماه‌ها حتی به میزان ناچیز و حداکثر در اواخر بهار و تابستان است. در حالی که تبخیر و تعرق محاسبه‌شده در مدل LARS-WG برآورد بسیار کمتری را نسبت به دوره پایه نشان داده است که توانایی کم مدل در محاسبه این متغیر را نشان می‌دهد. در پژوهش یادشده مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی ایستگاه بجنورد و برآورد میزان بارش سنگین و تعداد روزهای داغ و یخبندان ایستگاه با استفاده از مدل گردش عمومی جو و سناریوهای A2، B1 و سناریوی سری زمانی پایه بدون در نظر گرفتن سناریوهای انتشار تحت مدل LARS WG انجام شده است [۱۴].

توصیف مدل‌های استفاده‌شده

مدل تولید داده‌های هواشناسی LARS-WG برای تولید بارش روزانه، تابش و بیشینه و کمینه دماهای روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکوف است که بارها از آن استفاده شده است. در این مطالعه از آخرین ورژن نرم‌افزار استفاده شده است. این مدل از سری‌های نیمه‌تجربی برای طول دوره‌های خشک و تر، بارش و تابش روزانه استفاده می‌کند. این مدل از سه بخش اصلی تشکیل شده که عبارت‌اند از: واسنجی مدل، اعتبارسنجی مدل و ایجاد داده‌های مصنوعی آب و هوا [۱۵].

SDSM یکی دیگر از ابزارهای ریزمقیاس‌نمایی آماری است که توسط ویلی و داوسون در سال ۲۰۰۲ برای ارزیابی آثار محلی تغییر اقلیم توسعه داده شد. این مدل که هسته

می‌یابد که این می‌تواند بر تولید برق آبی تأثیر منفی داشته باشد [۸]. گودرزی و همکارانش دو مدل ریزمقیاس‌نمایی تغییر عامل و ریزمقیاس‌نمای آماری در برآورد تولید رواناب را در رودخانه اعظم هرات در استان یزد تحت سناریوی A2 بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها تفاوت ۳۰ درصدی در برآورد رواناب بین دو روش را نشان داد [۹]. رشید محمود و همکارانش تغییرات حدی دما را در حوزه جلوم در کشورهای هند و پاکستان با استفاده از مدل SDSM تحت سه سناریوی A2 و B2 طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۰ و ۲۰۷۱ تا ۲۰۹۹ بررسی کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد تمامی فصول شاهد افزایش دما هستند، ولی این مقدار در بهار بسیار جدی‌تر از فصل زمستان است [۱۰]. آرون مندل و همکارانش ویژگی بارش (مقدار، شدت، فرکانس، مدت زمان) با استفاده از SDSM و تحت دو سناریوی A2 و B2؛ که برای حفاظت از آب و خاک تأثیر می‌گذارد، در قسمت‌های مرکزی هند را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد روند آینده به خلاف گذشته افزایش مقدار بارش دارد که این موضوع بر ویژگی‌های بارش (مقدار، شدت، فرکانس، مدت زمان) اثر می‌گذارد. در ضمن، این امر می‌تواند در مدیریت و حفاظت منابع آب و خاک منطقه اثر منفی داشته باشد [۱۱]. رضائی و همکارانش کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری در پیش‌بینی بارش در دو اقلیم خشک و فراخشک را با استفاده از مدل SDSM بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد میزان بارش سالانه تا سال ۲۰۹۹، در ایستگاه کرمان در سناریوهای A2، B2 به ترتیب ۱/۳ و ۰/۳ میلی‌متر کاهش و در ایستگاه بم ۴/۵۶ و ۵/۴۶ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد [۱۲]. کلانکی و کاراندیش در مطالعه‌ای تأثیرات بلندمدت تغییر اقلیم روی مؤلفه‌های اقلیمی در مناطق مرطوب را پیش‌بینی کردند. آنها در این مطالعه از نرم‌افزار LARS-WG برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 استفاده کردند. سپس، برای پیش‌بینی مؤلفه‌های اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ از سناریوهای A1B، A2 و B2 استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد افزایش معنادار کمترین و بیشترین دما سبب افزایش معنادار تبخیر-تعرق پتانسیل طی سال‌های ۱۹۸۱-۲۱۰۰ می‌شود. این افزایش در سناریوی A2 بیشتر است و افزایش بیشتر دماهای کاردینال در فصول سرد سال سبب جابه‌جایی فصل کشت خواهد شد [۱۳]. دهقان و همکارانش به ارزیابی مقایسه‌ای مدل‌های

داده‌های دیدبانی (پیش‌بینی‌شونده) با داده‌های بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی‌کننده) شدت و ضعف گوناگون دارد. گام چهارم؛ واسنجی (Calibration): در این گام مدل‌های آماری سالانه، فصلی و ماهانه مبتنی بر معادلات چندگانه با به‌کارگیری داده‌های پیش‌بینی‌شونده و پیش‌بینی‌کننده روزانه ساخته می‌شوند. گام پنجم؛ تولید داده (Weather Generator): با تولید داده مجموعه‌ای از داده‌های روزانه پیش‌بینی‌شونده با در نظر گرفتن سری داده‌های روزانه پیش‌بینی‌کننده‌ها و براساس معادلات پایه‌گذاری‌شده در بخش واسنجی، تولید می‌شود. گام ششم؛ آنالیز داده‌های دیدبانی (Summary Statistics): در این قسمت آنالیز داده‌های دیدبانی ریزمقیاس‌شده آنالیز داده شامل بررسی میانگین، بیشینه، کمینه، واریانس، مقادیر آستانه، صدک‌ها، روزهای تر و خشک و... در مقیاس‌های گوناگون سالانه، فصلی و ماهانه انجام می‌شود. گام هفتم؛ آنالیز فراوانی (Frequency Analysis): گزینه آنالیز فراوانی امکان ترسیم توزیع‌های گوناگون را برای داده‌ها فراهم می‌کند. گام هشتم؛ تولید سناریو (Scenario Generation): آخرین مرحله، تولید سناریوهای اقلیمی است [۱۷]. به‌طور کلی، توانمندی مدل مولد داده‌های آب و هوایی تأثیرات مستقیمی روی ارزیابی تغییر اقلیم در منطقه مطالعه‌شده دارد. بنابراین، ابتدا توانمندی این مدل با استفاده از ۳۴ سال داده‌های دیدبانی‌شده ایستگاه سینوپتیک بجنورد ارزیابی شده است.

معرفی منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده در پژوهش حاضر ایستگاه سینوپتیک بجنورد است. این ایستگاه در طول جغرافیایی ۵۷ درجه ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه ۲۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است که از نظر جغرافیایی در شمال شرقی ایران قرار دارد. متوسط بارش طی دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۵ این ایستگاه ۲۴۲ میلی‌متر و متوسط دما ۱۳/۵۲ سانتی‌گراد است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۷۰ متر است.

وضعیت ایستگاه طی سال‌های ۱۹۸۲-۲۰۱۵

طول دوره بررسی‌شده در ایستگاه ۳۴ سال و از ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ میلادی است. بررسی وضعیت ایستگاه از نظر دما این نکته را روشن می‌سازد که متوسط دمای ایستگاه طی دوره مطالعه‌شده حدود ۱۳/۵۲ درجه سانتی‌گراد است. با بررسی داده‌های اقلیمی ایستگاه مشخص می‌شود که بعد

اصلی آن تلفیقی از روش‌های تصادفی^۱ و رگرسیون است با هدف تبیین حداکثری تغییرپذیری اقلیم محلی (پیش‌بینی‌شونده) یک ایستگاه از تأثیرگذارترین متغیرهای بزرگ‌مقیاس (پیش‌بینی‌کننده) طراحی شده است. ورودی این مدل همانند مدل LARS-WG داده‌های دیدبانی روزانه ایستگاه (پیش‌بینی‌شونده)، متغیرهای بزرگ‌مقیاس NCEP (پیش‌بینی‌کننده) در دوره مشابه دیدبانی و برون‌داد متغیرهای بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار گوناگون برای دوره مطالعاتی آینده است. در هر دو مدل از سناریوهای A و B که با هدف ارائه تصویری از تغییر اقلیم آینده کره زمین در گزارش چهارم (AR4) هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم که در سال ۲۰۰۷ چاپ شدند، استفاده شده است [۱۶]. در مدل SDSM از سناریوهای RCP که در سال ۲۰۱۰ توسط یک کمیته علمی و زیر نظر هیئت بین‌دول تغییرات اقلیمی با هدف مهیا کردن مجموعه‌ای از اطلاعاتی که از نتایج آن بتوان عوامل اصلی تغییرات اقلیمی را ردیابی کرد و نتایج آن را بتوان برای مدل‌های اقلیمی اعمال کرد نیز استفاده شده است. مدل‌های اقلیمی از نتایج این سناریوها برای نشان دادن غلظت و انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌کنند. خانواده RCP شامل چهار سناریوی مختلف می‌شود که عبارت‌اند از: ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶. هر سناریو براساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط مشی‌ها در آینده است که در هر شرایطی می‌تواند به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی منجر شود. در هر نسخه از این سناریو، اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای براساس نقش آن بر سطح واداشت‌های تابشی به چهار دسته ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ W/m تا پایان قرن ۲۱، طبقه‌بندی شده‌اند [۱۷]. مدل SDSM هشت گام برای تولید داده‌های مصنوعی آب‌وهوا ایستگاه بجنورد دارد. گام نخست؛ کنترل کیفی داده‌ها (Quality control): در این گام کنترل داده‌های دیدبانی (پیش‌بینی‌شونده) ایستگاه مطالعه‌شده از نظر داده‌های مشکوک و مفقود انجام می‌گیرد. گام دوم؛ تبدیل داده‌ها (Data Transformation): در صورتی که داده‌هایی مانند بارش روزانه توزیع نرمال نداشته و چولگی داشته باشند، روی آنها فرایند تبدیل انجام می‌شود. گام سوم؛ غربالگری (Screening): ارتباط بین

1. Stochastic

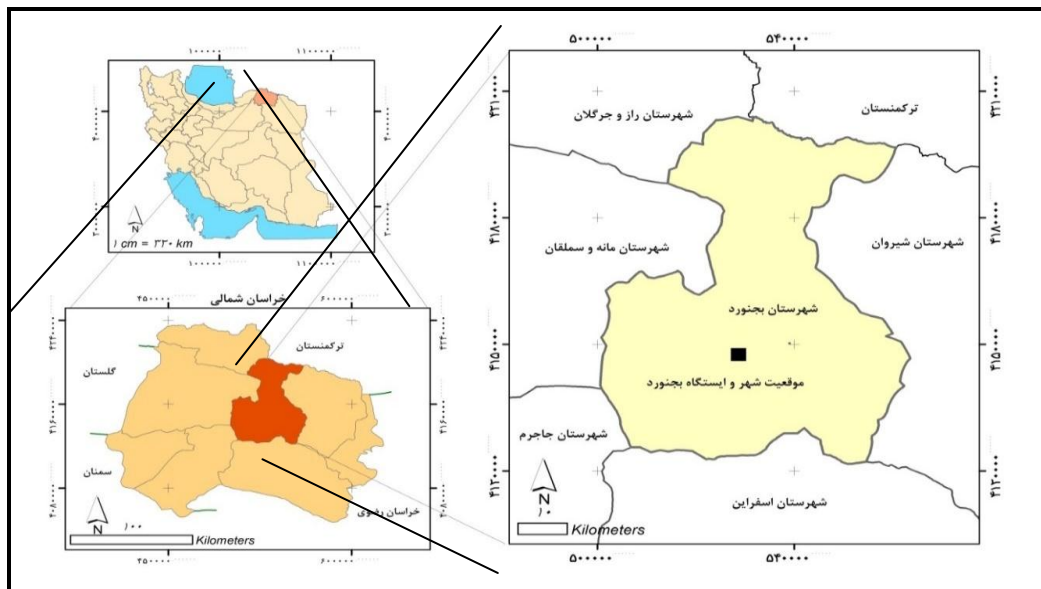
انتشار B1 که به سناریوی حداقل معروف است و حالت سوم سناریوی انتشار A2 یا سناریوی حداکثر (ادامه) وضعیت فعلی انتشار دی‌اکسید کربن در جو) برای تهیه و ساخت داده‌های مصنوعی استفاده شده است. مدل LARS-WG از سه بخش تشکیل شده است: واسنجی مدل، اعتبارسنجی مدل، ایجاد داده مصنوعی آب و هوا [۱۷]. در ادامه، نتایج مرحله اعتبارسنجی یعنی مرحله بررسی تفاوت بین دوره مشاهده شده و دوره ساختگی از طریق نمودار نشان داده شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد داده‌های مشاهده شده و داده‌های ساختگی از یک جامعه یکسان به دست آمده است.

از سال ۲۰۰۰ تعداد سال‌هایی که دمای ایستگاه بیشتر از میانگین درازمدت بوده افزایش یافته است. همچنین، با بررسی روند تغییرات دما مشخص می‌شود که روند تغییرات دما حالت صعودی داشته که به خوبی نشان‌دهنده روند افزایش دمای ایستگاه مطالعه شده است.

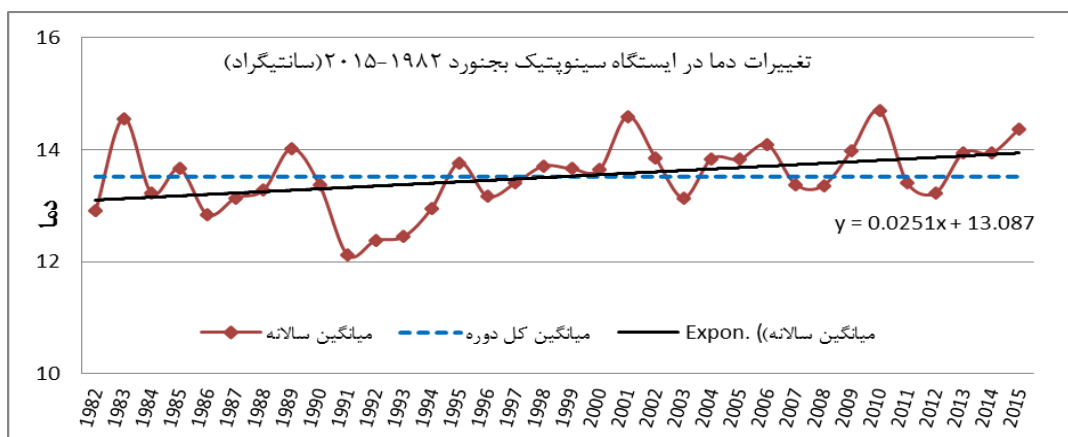
نتایج و بحث

مدل LARS-WG

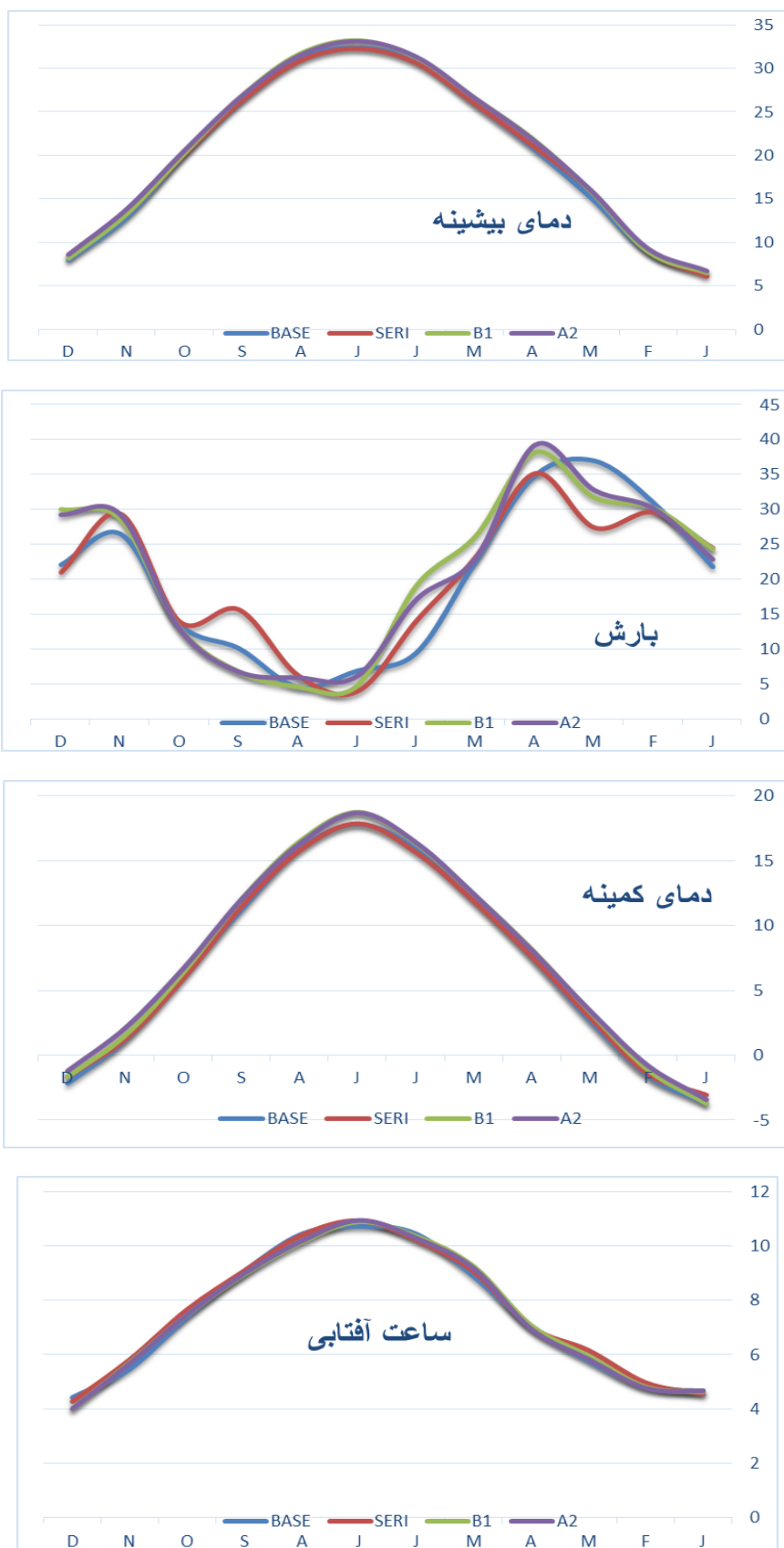
مدل داده‌های آب و هوا براساس سه نوع سناریو تهیه شده است. در سناریوی نخست، با در نظر گرفتن شرایط فعلی و بدون تأثیر سناریوهای انتشار، در حالت دوم سناریوی



شکل ۱. موقعیت ایستگاه بجنورد در استان و کشور



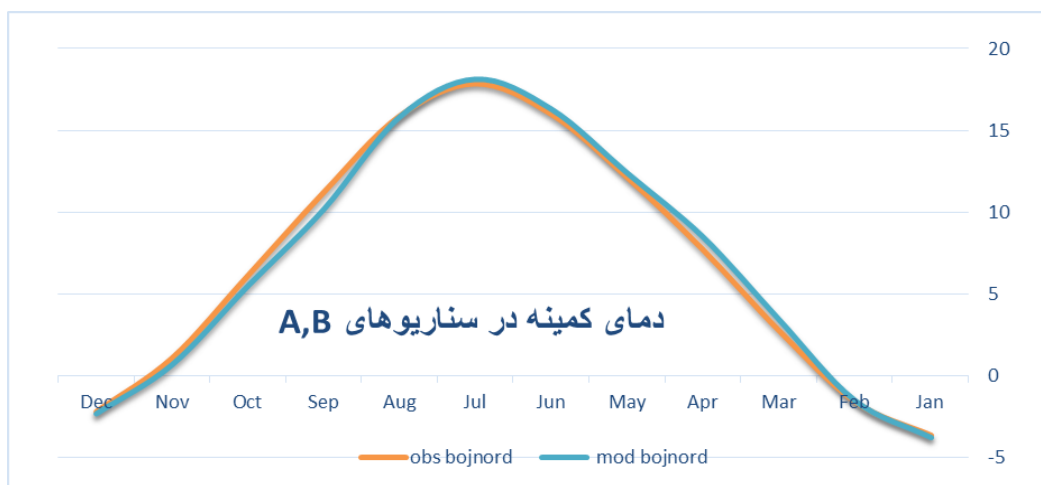
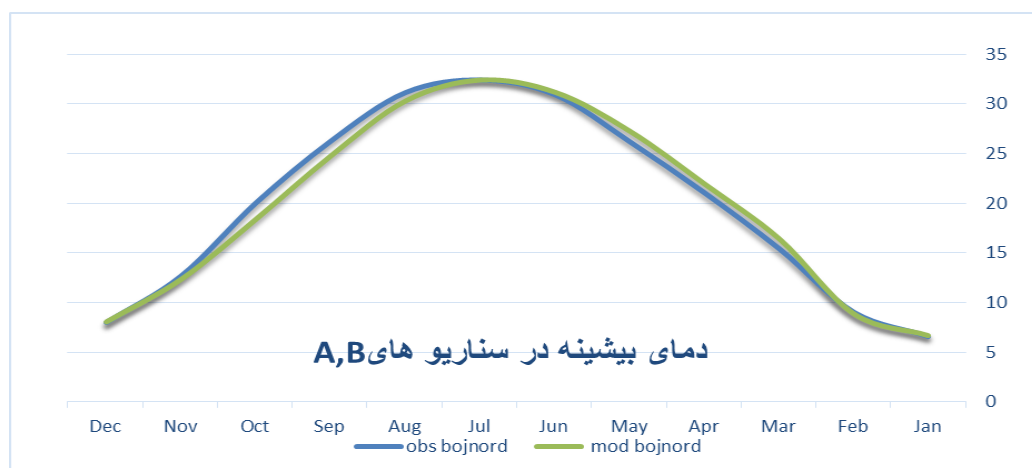
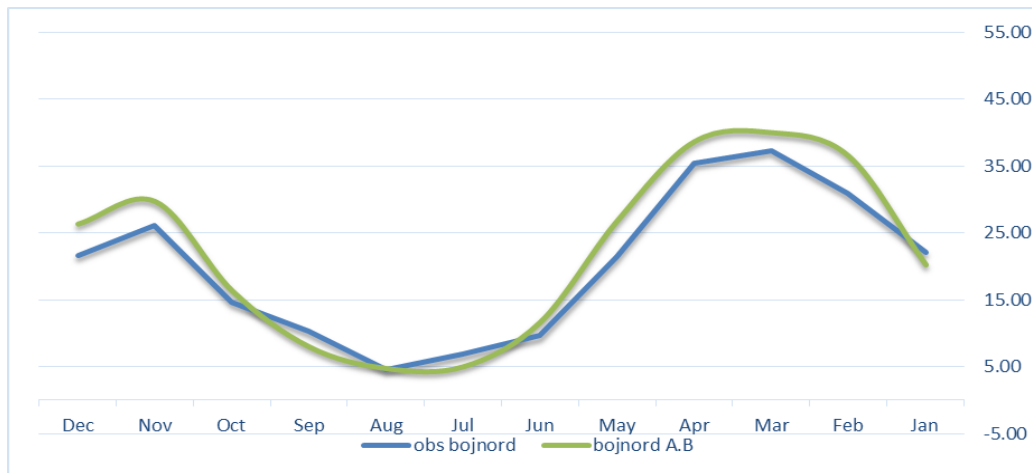
شکل ۲. نمودار روند تغییرات دما در ایستگاه بجنورد طی سال‌های ۱۹۸۲-۲۰۱۵



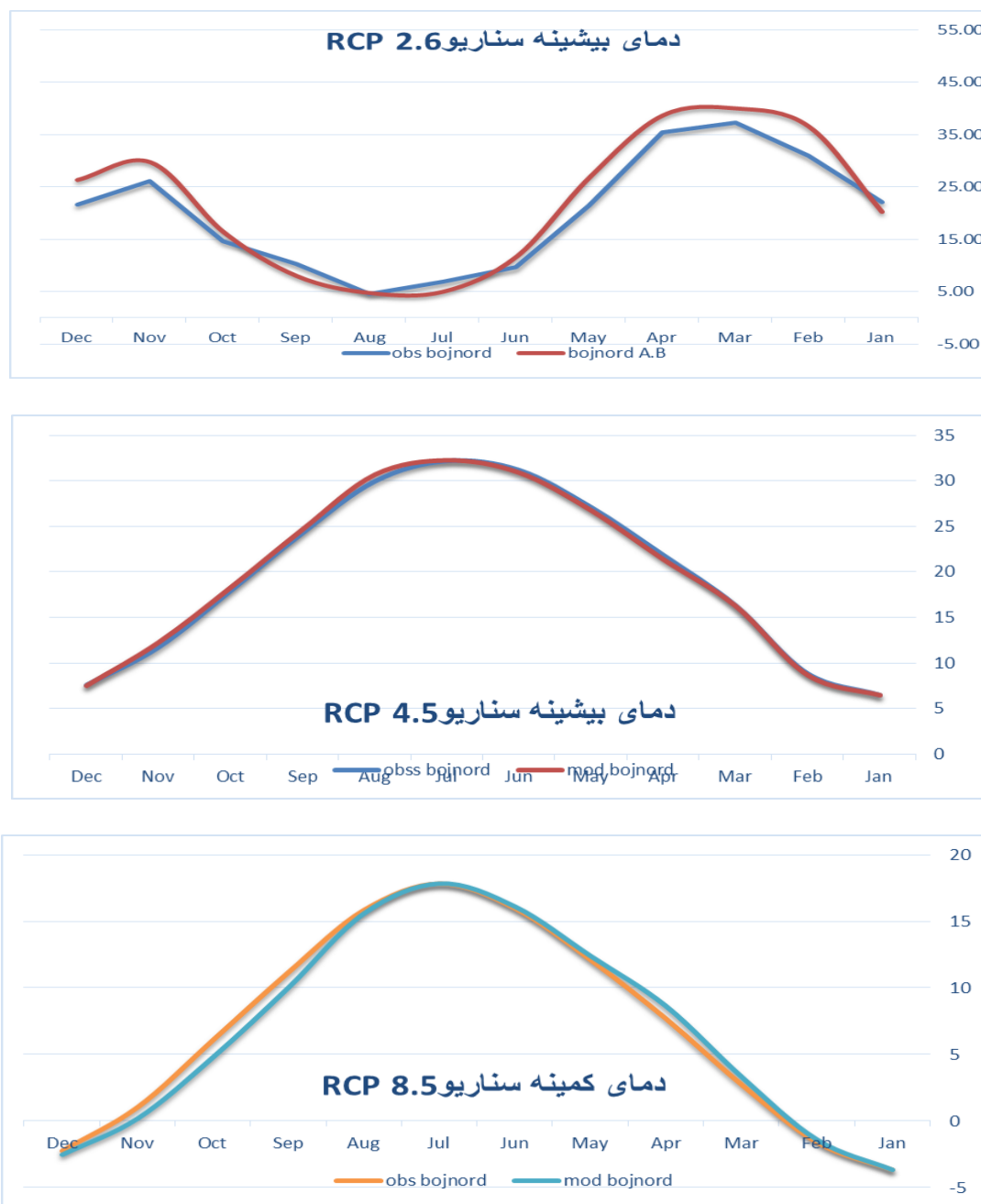
شکل ۳. نمودار صحت‌سنجی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه بجنورد در مدل LARS-WG

در ادامه، نتایج گام پنجم برای راستی‌آزمایی توانایی مدل در شبیه‌سازی اقلیم آینده ایستگاه تحت دو سناریوی A و B و سناریوهای انتشار RCP آورده شده است.

همان‌طور که از نمودارها مشخص است، مدل در تولید داده‌های دمای کمینه و بیشینه و ساعت آفتابی نسبت به بارش، دقت بیشتری دارد.



شکل ۴. نمودار صحت‌سنجی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه بجنورد در مدل SDSM و سناریوهای A و B



شکل ۵. نمودار صحت‌سنجی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه بجنورد در مدل SDSM و سناریوهای RCP

نتایج

حداکثر (ادامه) وضعیت فعلی انتشار دی‌اکسید کربن در جو) برای تهیه و ساخت داده‌های مصنوعی استفاده شده است. همچنین، سناریوی سومی که استفاده شده، سناریوهای جدید انتشار IPCC است که براساس میزان واداشت تابشی نام‌گذاری شده‌اند که شامل سناریوی انتشار RCP 8.5 است که این روند به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ منجر می‌شود. سناریوی RCP4.5 که در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰

در پژوهش حاضر، نتایج دو الگوی ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG در داده‌های بارش روزانه، دمای کمینه و بیشینه روزانه مقایسه شد. در مقاله حاضر داده‌های مصنوعی آب و هوا براساس سناریوهای مختلفی تهیه شده است. در سناریوی نخست، از سناریوی انتشار B1 (که به سناریوی حداقل معروف است) در تهیه و ساخت داده‌های هواشناسی استفاده شده است و حالت دوم سناریوی انتشار A2 یا سناریوی

افزایشی دارد. دمای هوا در فصول مختلف گرم تر شده که این روند در فصل زمستان و تابستان کاملاً مشهود است. به این معنا که دمای هوا در این فصول به سمت گرم شدن حرکت می کند. بیشترین مقدار افزایش دمای کمینه به فصل زمستان سناریوی A2 به میزان ۰/۸ درجه سانتی گراد مربوط است؛ و کمترین مقدار افزایش مربوط به سناریوی پایه در فصل زمستان برابر ۰/۴ درجه است. در مدل SDSM دمای کمینه سالانه در همه سناریوها کاهش می یابد. البته، این کاهش درصد بسیار ناچیزی است که بیشترین کاهش به سناریوی RCP 2.6 به میزان ۰/۰۹ و کمترین کاهش مربوط به سناریوی RCP 8.5 به میزان ۰/۰۴ مربوط می شود. البته، دمای کمینه طی ماه های فوریه تا می افزایش می یابد.

دمای بیشینه

در مدل LARS-WG دمای بیشینه در هر سه سناریو روند افزایشی دارد. بیشترین افزایش مربوط به سناریوی پایه به میزان ۰/۵۸ درجه سانتی گراد است. در هر سه سناریو دمای بیشینه در ماه های مارس، آوریل و می بیشترین افزایش را نسبت به دیگر فصول را دارد. در مدل SDSM دمای بیشینه سالانه در همه سناریوها کاهش یافته است. بیشترین کاهش مربوط به سناریوی B2 و کمترین کاهش مربوط به سناریوی RCP8.5 به میزان ۰/۰۵ درجه است. از نظر ماهانه دمای بیشینه در ژانویه و فوریه کاهش یافته و طی ماه های مارس، آوریل و می افزایش یافته است. نتایج مقایسه دو مدل تحت سناریوهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می ماند. سناریوی انتشار RCP2.6 دربرگیرنده کمترین میزان افزایش گازهای گلخانه ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق سناریوی انتشار RCP2.6، واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ می رسد و سپس کاهش می یابد و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی باید گازهای گلخانه ای به میزان درخور توجهی کاهش یابند. نتایج این دو مدل به شرح زیر است.

بارش

در مدل LARS-WG هر سه سناریو بارش ایستگاه را تا سال ۲۰۵۰ به صورت افزایشی نشان می دهند. این افزایش در سری داده های تولیدشده بر مبنای داده های مشاهده شده بدون در نظر گرفتن سناریوهای انتشار به میزان ۳ میلی متر است. در این سناریو بارش مارس تا می روند کاهشی، ولی بارش سپتامبر تا اکتبر افزایشی برآورد شده است. در سناریوی B1 مقدار افزایش بارش تا سال ۲۰۵۰، ۲۵۸ میلی متر برآورد شده که ۱۶ میلی متر بیشتر از بارش پایه است و تمامی فصول در این سناریو افزایش بارش را دارند. در سناریوی A2 این افزایش تا ۲۵۶ میلی متر می رسد و غیر از فصل پاییز بقیه فصول افزایش مقدار بارش را دارند. در مدل SDSM بارش سالانه در همه سناریوها افزایش می یابد. بیشتر افزایش در سناریوی B2 به میزان ۵۳ میلی متر و کمترین میزان مربوط به سناریوی RCP2.6 برابر ۲۳ میلی متر است.

دمای کمینه

در مدل LARS-WG دمای کمینه در هر سه حالت روند

جدول ۱. نتایج مدل های LARS WG و SDSM در سناریوهای مختلف تا سال ۲۰۵۱

YEAR	dec	nov	oct	sep	aug	jul	jun	may	apr	mar	feb	jan	2016-2051	rain
۰۶/۲۴۱	۶۶/۲۱	۱/۲۶	۶۶/۱۴	۳۲/۱۰	۶۱/۴	۸۸/۶	۵۹/۹	۵/۲۱	۴۲/۳۵	۳۵/۳۷	۸۴/۳۰	۱۲/۲۲	BASE	SDSM
۶۳/۲۸۹	۱۱/۵۰	۵۱/۳۲	۳۳/۱۹	۷۳/۱۳	۱۲/۲	۶۹/۱۶	۴۵/۱۲	۵۳/۲۸	۱۷/۳۶	۵۵/۲۴	۱۷/۳۰	۲۷/۲۳	A2	
۷۶/۲۹۴	۵۷/۵۱	۹۷/۳۴	۰۷/۲۱	۲۹/۱۳	۰۴/۲	۶۳/۱۴	۱۶/۱۱	۶۷/۲۹	۹۳/۳۵	۳۷/۲۶	۰۹/۲۹	۹۵/۲۴	B2	
۴/۲۶۴	۹۳/۱۷	۸۳/۲۹	۱۷/۱۲	۳۴/۲۲	۴۴/۵	۶۸/۶	۷۸/۱	۰۸/۱۹	۹۹/۴۷	۲/۳۹	۰۵/۳۷	۹۱/۲۴	rcp2/6	
۴۵/۲۷۳	۳/۱۷	۴۲/۳۲	۸۸/۱۲	۳۳/۲۵	۸۹/۳	۵۶/۵	۴۸/۱	۸۱/۱۸	۷۳/۵۱	۷۴/۳۷	۹۵/۳۶	۳۶/۲۹	rcp4/5	
۸۲/۲۶۴	۷۸/۱۸	۳۶/۳۰	۵۴/۱۲	۵۵/۲۴	۲۸/۵	۱۹/۶	۵/۱	۷۷/۱۸	۸۴/۴۸	۹۲/۳۳	۵۱/۳۸	۵۸/۲۵	rcp8/5	
۷۱/۲۵۶	۳۶/۲۹	۳۸/۲۹	۰۳/۱۳	۸۶/۶	۰۳/۶	۲۹/۶	۲۵/۱۷	۱۳/۲۳	۳۵/۳۹	۸۶/۳۲	۲۲/۳۰	۹۵/۲۲	A2	LARS
۵۶/۲۵۸	۱/۳۰	۶۸/۲۸	۱۳/۱۳	۸۴/۶	۶۹/۴	۸۷/۴	۲/۱۹	۳/۲۶	۲۸/۳۸	۷۷/۳۱	۲۹/۳۰	۴۱/۲۴	B1	

YEAR	dec	nov	oct	sep	aug	jul	jun	may	apr	mar	feb	jan	2016-2051	TMAX
۲۰/	۰۲/۸	۷/۱۲	۰۵/۲۰	۲۸/۲۶	۱۷/۳۱	۴۳/۳۲	۹۵/۳۰	۲۱/۲۶	۰۵/۲۱	۴۲/۱۵	۰۱/۹	۶۶/۶	BASE	SDSM
۶۷/۱۹	۷۸/۷	۶۱/۱۱	۳/۱۸	۱۹/۲۵	۳۷/۳۰	۳۷/۳۲	۹۵/۳۰	۷۴/۲۶	۲۷/۲۱	۳۵/۱۶	۸۶/۸	۲۳/۶	A2	
۶۶/۱۹	۵۸/۷	۷۱/۱۱	۲۶/۱۸	۱۶/۲۵	۳۱/۳۰	۳۱/۳۲	۹۹/۳۰	۸۹/۲۶	۳۵/۲۱	۲۳/۱۶	۸۳/۸	۳۴/۶	B2	
۹/۱۹	۷۸/۷	۰۷/۱۳	۱۷/۱۸	۲۶/۲۶	۴۱/۳۱	۲۴/۳۲	۵۱/۳۰	۰۵/۲۷	۶۱/۲۱	۵۹/۱۵	۸۵/۸	۲۴/۶	rcp2/6	
۸۸/۱۹	۸۲/۷	۹۷/۱۲	۲۲/۱۸	۹۹/۲۵	۲۳/۳۱	۳۳/۳۲	۳۷/۳۰	۰۲/۲۷	۶۷/۲۱	۷/۱۵	۹/۸	۳۴/۶	rcp4/5	
۹۴/۱۹	۹/۷	۷۶/۱۲	۶۶/۱۸	۰۷/۲۶	۶۵/۳۱	۳۴/۳۲	۵۲/۳۰	۰۱/۲۷	۵۶/۲۱	۷۷/۱۵	۸/۸	۲۲/۶	rcp8/5	
۵۵/۲۰	۶۴/۸	۸۴/۱۳	۶/۲۰	۹۲/۲۶	۵۷/۳۱	۱۵/۳۳	۳۳/۳۱	۶۲/۲۶	۸۶/۲۱	۰۳/۱۶	۲۶/۹	۸۱/۶	A2	LARS
۴۱/۲۰	۲/۸	۲۹/۱۳	۳/۲۰	۹۶/۲۶	۷۵/۳۱	۲۲/۳۳	۲۶/۳۱	۶۲/۲۶	۹۵/۲۱	۹۵/۱۵	۹۴/۸	۵۲/۶	B1	

YEAR	dec	nov	oct	sep	aug	jul	jun	may	apr	mar	feb	jan	2016-2051	TMIN
۹۷/۶	-۱۸/۲	۱/۱	۱۵/۶	۲۴/۱۱	۹۱/۱۵	۸۸/۱۷	۰۲/۱۶	۱۵/۱۲	۷۲/۷	۷۹/۲	-۵۵/۱	-۶۵/۳	BASE	SDSM
۹۱/۶	-۲۸/۲	۳۸/۰	۶/۵	۲۶/۱۰	۷/۱۵	۹۹/۱۷	۰۴/۱۶	۴۱/۱۲	۵۲/۸	۷۴/۳	-۶/۱	-۸۲/۳	A2	
۹۲/۶	-۱۸/۲	۵۲/۰	۶/۵	۲۱/۱۰	۶۷/۱۵	۹۹/۱۷	۰۶/۱۶	۳۴/۱۲	۴۸/۸	۵۱/۳	-۵/۱	-۷۲/۳	B2	
۸۷/۶	-۲۱/۲	۱۸/۰	۰۸/۵	۵۷/۱۰	۲۸/۱۵	۴۴/۱۷	۹۷/۱۵	۸۶/۱۲	۷/۸	۷۵/۳	-۳۹/۱	-۷۹/۳	rcp2/6	
۸۷/۶	-۲۳/۲	۱۹/۰	۰۶/۵	۴۸/۱۰	۳۴/۱۵	۴۷/۱۷	۹۵/۱۵	۸۴/۱۲	۸۱/۸	۷۲/۳	-۵/۱	-۷۱/۳	rcp4/5	
۹۲/۶	-۱۳/۲	۲۹/۰	۲۴/۵	۶۱/۱۰	۵۴/۱۵	۴۹/۱۷	۹۱/۱۵	۹۴/۱۲	۷۸/۸	۶۱/۳	-۵۲/۱	-۷۱/۳	rcp8/5	
۵۶/۷	-۲/۱	۱۴/۲	۷۵/۶	۰۷/۱۲	۳۶/۱۶	۷۱/۱۸	۳۹/۱۶	۳۷/۱۲	۰۳/۸	۳۷/۳	-۸۶/۰	-۳۹/۳	A2	LARS
۴۳/۷	-۶۳/۱	۵۹/۱	۴۷/۶	۱/۱۲	۵۴/۱۶	۷۷/۱۸	۳۳/۱۶	۳۸/۱۲	۱۲/۸	۳/۳	-۱۷/۱	-۶۹/۳	B1	

نتیجه گیری

به علت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، انتظار می‌رود پدیده تغییر اقلیم به خصوص افزایش دما منطقه مطالعه شده را تحت الشعاع قرار دهد. در نظر گرفتن این تغییرات در بررسی و ارزیابی‌ها با استفاده از تکنیک ریزمقیاس‌نمایی اهمیت خاصی دارد. با استفاده از تکنیک ریزمقیاس‌کردن، سری‌های زمانی جدیدی تولید می‌شوند که در نتیجه امکان تحلیل تغییرات در شرایط جوئی دوره‌های آتی را فراهم می‌آورند. در مقاله حاضر از مدل LARS WG و مدل SDSM استفاده شده است که نتایج مدل بیان می‌کند که هر دو مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی اقلیم منطقه دارند. از نظر بارش، هر دو مدل نشان دهنده افزایش بارش سالانه در ایستگاه هستند که میزان این افزایش در سناریوی پایه مدل LARS WG از حدود ۴ میلی‌متر تا سناریوی B2 مدل SDSM به میزان ۵۳ میلی‌متر در نوسان است. از نظر دما،

در مدل LARS WG دمای حوضه افزایش می‌یابد، در حالی که در مدل SDSM دمای سالانه کاهش اندکی را نشان می‌دهد. بر اساس میزان واداشت تابشی، این روند در سناریوی انتشار 8.5 RCP به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ منجر می‌شود. سناریوی RCP4.5 که در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ است، در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند. سناریوی انتشار 2.6 RCP دربرگیرنده کمترین میزان افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. اما هر دو مدل نشان می‌دهند ماه‌های مارس تا می، یا در واقع فصل بهار، ایستگاه نسبت به دوره پایه شرایط گرم‌تری را تجربه خواهد کرد؛ که این اتفاق می‌تواند روی صنعت

- Rangeland, Kerman, Iran). Journal of Rangeland Science. 2013; 3(3). [Persian]
- [8]. Aida T, Thamer A, Abdul H, Malek M, Mashohor S. Potential Impacts of Climate Change on Precipitation and Temperature at Jor Dam Lake, Pertanika. J. Sci. & Technol. 2016; 24 (1): 213 – 224.
- [9]. Goodarzi E, Massah Bavani A, Dastorani M, Talebi A. Evaluating effect of downscaling methods; change-factor and LARS-WG on surface runoff (A case study of Azam-Harat River basin, Iran). Desert. 2014; 19(2): 99-109. [Persian]
- [10]. Rashid M, Mukand S. Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. 2014; 5(66): 56–66.
- [11]. Arun Mondal p, Deepak K, Kundu S. Change in rainfall erosivity in the past and future due to climate change in the central part of India. 2016; 4(3): 186-194.
- [12]. Rezaei m, nohtani m, abkar a, mehri mirkazehe m. Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam). Journal of Watershed Management Research. 2014; 4(14): 113-177. [Persian]
- [13]. kelanki m and karandish f. Forecasting the long-term effects of climate change on climatic components in the region wet, journal of Water and Irrigation Engineering, 2015, 20(5), 131-148. [Persian]
- [14]. Dehqan z, fathian f, eslamian s. Comparative evaluation of SDSM, IDW and LARS-WG models to simulate and fine-scale the temperature and precipitation. Water and Soil Journal. 2013; 29(5). [Persian]
- [15]. Semenov M, Barrow E. LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. 2002.
- [16]. Wilby R, Dawson C, Barrow E. SDSM – a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental and Modelling Software*. 2002; 17: 145-157.
- [17]. Falah ghalhari gh. Climate data downscaling. Publisher sokhan gostar. First volume. [Persian]
- کشاورزی استان و فصل کاشت اثر منفی داشته باشد. در کل، می‌توان نتیجه گرفت با مقایسه شرایط اقلیم گذشته ایستگاه و نمودار دمای ایستگاه که روند افزایش دما را نشان می‌دهد، می‌توان گفت که مدل LARS WG نتایج بهتری را برای منطقه شبیه‌سازی کرده است؛ و داده‌های تولیدشده مدل SDSM تحت سناریوهای جدید RCP با داده‌های تولیدشده مدل LARS WG همخوانی بیشتری دارد.
- ### منابع
- [1]. Mozafari gh, shafiei sh. predictive and spatial analysis drought in Yazd province in the period from 2030 to 2011 AD using general circulation models of the atmosphere International Conference on Architecture. International Conference on Architecture, Urbanism, Civil Engineering, Art, Environment Future Horizons & Retrospect. tehran. 2015:1-9. [Persian]
- [2]. kelanki m and karandish f. Forecasting the long-term effects of climate change on climatic components in the region wet, journal of Water and Irrigation Engineering, 2015, 20(5), 131-148. [Persian]
- [3]. Tirgarfakheri f, arezomandi f. Application downscaling of GCMs to create a map of rainfall on the southern shores of the Caspian. International Symposium on Environmental and Water Resources Engineering. tehran: Environmental and Water Resources Engineering. 2015:1-10. [Persian]
- [4]. Mazafari gh, moradi h, khodaqoli m. Evaluation of drought conditions in Sistan and Balouchestan province during 1391 – 1410 Using the finer scale of exponential data of the general circulation model of the atmosphere. Quarterly Journal of Geographical Information. 2014; 93. [Persian]
- [5]. Falah ghalhari gh. Climate data downscaling. Publisher sokhan gostar. Second volume. [Persian]
- [6]. Lüliu L, Zhaofei L, Xiyan R, Thomas F, Ying X. Hydrological impacts of climate change in the Yellow River Basin for the 21st century using hydrological model and statistical downscaling model. Quaternary International. 2011; 244(2): 211-220.
- [7]. Saadatfar A, Barani H, Bahremand A, Massah Bavani A, Sepehry A, Abedi A. Statistical Downscaling HadCM3 Model for Detection and Prediction of Seasonal Climatic Variations (Case Study: Khabr