

پیش‌بینی تغییرات بارش ۲۰ سال آینده در استان کرمان با استفاده از مدل‌های ریز مقیاس‌کننده LARS-WG و گردش عمومی HadCM3

فریده السادات هاشمی نسب خیبری^۱ (نویسنده مسئول)، محمد موسوی بایگی^۲، بهرام بختیاری^۳، کامران داوری^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۰۵

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان: بررسی تغییرات الگوهای بارندگی با توجه به تغییر اقلیم در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ با استفاده از مدل LARS-WG (مطالعه موردی: استان‌های خراسان رضوی و کرمان)

چکیده

شبکه‌های محاسباتی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) به دلیل بزرگ مقیاس بودن و قدرت تفکیک کم برای استفاده در ابعاد یک ایستگاه باید ریز مقیاس شوند، از این‌رو، از مولدهای هواشناسی برای ریز مقیاس کردن استفاده می‌شود. با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی و مولدهای هواشناسی، می‌توان اقلیم منطقه را شبیه‌سازی نمود. در این پژوهش، داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 با سه سناریو تغییر اقلیم A1B، A2 و B1 توسط مدل LARS-WG در استان کرمان ریز مقیاس شد. نتایج حاصل از آن در ۹ ایستگاه سینوپتیک استان کرمان در دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ و دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ارزیابی مدل LARS-WG به بررسی میزان خطای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده پرداخته و مدل برای منطقه مناسب ارزیابی شد. پس از آن تغییرات بارش و طول بازه خشک و تر بررسی شد. نتایج حاصل از بررسی میانگین بارش در ۲۰ سال آینده نشان می‌دهد بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه‌های بم و رفسنجان با ۲۶/۵ درصد و کمترین میزان افزایش بارش مربوط به ایستگاه کهنوج با ۱۱ درصد می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی میانگین سالانه نشان دهنده افزایش میانگین سالانه بارش در همه ایستگاه‌ها می‌باشد. بررسی طول بازه تر و خشک نشان داد که طول بازه تر در تابستان برای همه ایستگاه‌ها در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ رو به افزایش می‌باشد. اگرچه در فصل زمستان بارش رو به کاهش می‌باشد، اما در مجموع میانگین بارش رو به افزایش است.

واژه‌های کلیدی: بزرگ مقیاس، سناریوهای تغییر اقلیم، شبیه‌سازی، قدرت تفکیک، مولدهای هواشناسی.

^۱ - دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران، ۰۹۱۳۱۴۳۶۳۲۸

Email: Farideh.hasheminasab@gmail.com (نویسنده مسئول)

^۲ - استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

^۳ - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران

^۴ - دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

مقدمه

تغییر اقلیم از بزرگ‌ترین چالش‌هایی است که بشر در قرن بیست و یکم با آن مواجه است که می‌تواند اثرات شدیدی بر منابع آب، کشاورزی، انرژی و گردشگری داشته باشد. توسعه استراتژی‌ها و تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد استفاده آب در آینده برای بخش‌های مختلف و مدیریت منابع آب در دسترس نیاز به اطلاعات تغییر اقلیم (از نظر بارش و درجه حرارت در مقیاس حوضه) دارند که به طور مستقیم می‌تواند با مدل‌های هیدرولوژی مورد استفاده قرار گیرد (هاشمی و همکاران، ۲۰۰۹).

تغییرات دمای کره زمین و روند رو به افزایش آن با توجه به شرایط آب و هوایی در سراسر جهان به عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۰). مدل‌های جهانی اقلیمی جفت شده جوی اقیانوسی^۱ منبع اصلی برای شبیه‌سازی حال و آینده اقلیم کره زمین با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم می‌باشد (IPCC2000^۲).

تا به امروز اطلاعات قابل اعتمادی برای مدل‌سازی بارش وجود نداشته، به این ترتیب مدل‌های بزرگ مقیاس مانند GCM^۳ نیاز به ریز مقیاس کردن در اندازه یک ایستگاه را دارند (هاشمی و همکاران، ۲۰۰۹). روش ریزمقیاس کردن داده‌ها می‌تواند به دو روش آماری و دینامیکی انجام شود، از میان روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری مولدهای هواشناسی بسیار مورد توجه می‌باشند. مدل‌های آماری مولدهای هواشناسی^۴ برای تولید یک سری ترکیبی از داده‌های طولانی مدت و داده‌های از دست رفته و تولید داده‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (ویلی، ۱۹۹۹). از مولدهای هواشناسی برای تولید سری های زمانی طولانی مدت متغیرهای آب و هوایی استفاده می‌شوند، از خروجی آن‌ها در مدل‌های رشد محصول، به منظور پیش‌بینی تولید محصولات کشاورزی استفاده می‌شود (هارکامپ و وایت، ۲۰۰۳؛ ریها و ویلکس، ۱۹۹۶).

روش‌های آماری ریز مقیاس کردن، برای شبیه‌سازی وقایع بارش بسیار مناسب می‌باشد (ویلی و همکاران، ۲۰۰۲). از سوی دیگر، دفعات و شدت بارش در حوادث بارش شدید احتمالا تحت تأثیر پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در اکثر نقاط جهان است، بنابراین خطر افزایش خشکسالی

و سیل در حوضه به وسیله ابزارهای ریزمقیاس‌آماری شبیه‌سازی می‌شود. به این ترتیب، ابزارهای ریز مقیاس آماری، توانایی شبیه‌سازی رویدادهای شدید اقلیمی به ویژه بارش در مقیاس حوضه را دارا می‌باشند (IPCC2007). Hashmi و همکاران در سال ۲۰۱۰ به مقایسه دو مدل^۵ LARS-WG و^۶ SDSM برای شبیه‌سازی بارش‌های شدید در حوضه کلوتا واقع در جزیره جنوبی نیوزیلند پرداختند که در آن نشان دادند هر دو مدل دارای توانایی‌های مشابه و خوبی در شبیه‌سازی رویدادهای بارش شدید می‌باشند و قابل استفاده برای پیش‌بینی‌های اقلیمی هستند.

در ایران برخی محققان به بررسی تغییرات روند بارش و دما در نقاط مختلف پرداخته‌اند. برای مثال، محمدی و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند در تمام مناطق ایران برای دهه‌های آینده تغییرات بارش دارای روند کاهشی هستند. این روند کاهش در نواحی شمالی ایران مقادیر کمتری را نسبت به نواحی جنوبی و مرکزی ایران نشان می‌دهد.

عباسی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی تغییر اقلیم ایران با استفاده از خروجی دو مدل گردش‌عمومی جو ECHAM4 و HadCM2، و با در نظرگیری ۱۸ سناریوی انتشار IPCC پرداختند. براین اساس، نتایج مدل HadCM2 حاکی از کاهش بارش‌های ایران تا دهه ۲۱۰۰ به میزان ۲/۵ درصد بوده است، در حالی که برای دوره مشابه در مدل ECHAM4 بارش‌های کشورمان به میزان ۱۹/۸ درصد افزایش نشان داده است. همچنین به مقایسه دو مدل LARS-WG و MAGICC-SENGEN با استفاده از مدل HadCM2 در کل کشور پرداختند که نتایج حاصل کاهش بارش را در کل کشور نشان داده است.

Semenov و همکاران (۱۹۹۸) به بررسی و مقایسه دو مدل LARS-WG و WGEN بر روی ۱۸ ایستگاه از ایالات متحده آمریکا، اروپا و آسیا، که نماینده طیف وسیعی از شرایط آب و هوایی بودند، پرداختند که مقایسه آن‌ها نشان داده که مدل LARS-WG از توانایی خوبی در تولید داده‌های آب و هوای مختلف از جمله حوادث شدید آب و هوایی برخوردار می‌باشد.

بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) به ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی

¹ Atmospheric-Ocean General Circulation Models

² Intergovernmental Panel on Climate Change

³ Global Climate Models

⁴ Weather Generator

⁵ Long Ashton Research Station Weather Generator

⁶ Statistical Down-Scaling Model

بین ناحیه کوهستانی و کویری، بین گرمی و سردی ویژگی‌های محیطی کم‌نظیر و اوضاع طبیعی خاصی را به وجود آورده است که در کمتر منطقه‌ای از فلات استثنایی ایران می‌توان مشاهده کرد. امتداد سلسله جبال زاگرس و کوه‌های مرکزی، استان پهناور کرمان را به دو بخش متمایز خشک کویری و معتدل کوهپایه‌ای تفکیک نموده که در تلاقی با یکدیگر از لحاظ اقلیمی سه منطقه کویری و حاشیه کویری، گرمسیری و سردسیری و کوهستانی را شکل داده‌اند. به همین دلیل از معدود مناطقی است که دارای چهره‌های گوناگون محیطی و طبیعی می‌باشد. میزان متوسط بارندگی سالیانه استان کرمان ۱۴۵ میلیمتر و میزان نزولات جوی وارده بر پهنا استان نزدیک به ۲۷ میلیارد متر مکعب برآورد شده است.

پژوهش حاضر بر روی ۹ ایستگاه سینوپتیک استان کرمان که دارای آمار ۲۰ ساله می‌باشند، انجام شده است. به دلیل کمبود داده در برخی ایستگاه‌ها از ۲۰ سال داده روزانه استفاده شد تا یکنواختی سال‌های آماری همه ایستگاه‌ها وجود داشته باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

داده‌های مورد نیاز در این پژوهش دمای بیشینه و کمینه، بارش و ساعات آفتابی روزانه دوره ۱۹۹۱-۲۰۱۰ می‌باشد که از سازمان هواشناسی استان کرمان تهیه شده است. موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی ایستگاه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. در بین ایستگاه‌های کرمان ایستگاه کهنوج با ارتفاع ۴۶۹/۷ متر از سطح دریا دارای کمترین ارتفاع و ایستگاه بافت با ارتفاع ۲۲۸۰ متر از سطح دریا دارای بیشترین ارتفاع با دوره آماری طولانی مدت می‌باشند.

LARS-WG و با استفاده از مدل گردش عمومی ECHO-G با استفاده از سناریو A1 بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک ایران پرداختند. نتایج حاصل از آن کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور و کاهش بارش را در مناطقی مانند کرمان، یزد و خراسان جنوبی و رضوی را پیش‌بینی نموده است. با توجه به اینکه نتایج متفاوتی برای پیش‌بینی بارش آینده در ایران ارائه شده است. از این رو انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه ضروری می‌باشد.

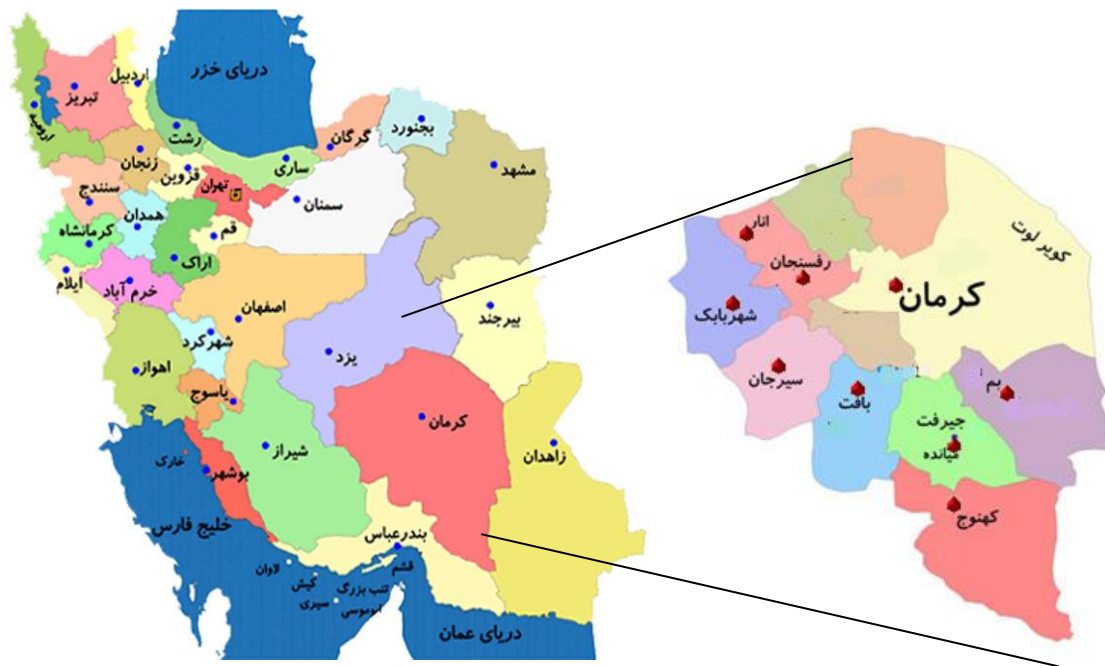
تحقیقات انجام شده در برخی نقاط ایران کاهش و در برخی مناطق افزایش بارش را پیش‌بینی نموده‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی روند تغییرات بارندگی در دهه‌های اخیر (۲۰۱۰-۱۹۹۱) و پیش‌بینی این تغییرات در دهه‌های آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) می‌باشد. به‌علاوه به مقایسه تغییرات بارش سالانه و تغییرات طول دوره خشک و مرطوب برای دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۱۰ و دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نیز پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

استان کرمان با مساحتی در حدود ۱۸۱۷۱۶ کیلومتر مربع در جنوب شرقی ایران قرار گرفته و براساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن تمامی ایستگاه‌های آن به استثنای بافت که نیمه خشک است، دارای اقلیم خشک می‌باشند. این استان در محل تلاقی رشته کوه‌های مرتفع زاگرس و مرکزی ایران به طول تقریباً ۱۶۰ کیلومتر واقع شده است و عرض این کویر کرمان را از سیستان و بلوچستان جدا می‌کند (شکل ۱). این تلاقی استثنایی بین بلندی و پستی،

جدول (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های استان کرمان

| نام ایستگاه | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا (متر) | میانگین بارندگی (میلی‌متر) | میانگین دمای حداقل (سانتی‌گراد) | میانگین دمای حداکثر (سانتی‌گراد) |
|--------------|---------------|---------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| انار | ۳۰/۵۳ | ۵۵/۱۵ | ۱۴۰۸/۸ | ۷۱/۶ | ۱۰ | ۲۶/۹ |
| بافت | ۲۹/۱۴ | ۵۶/۳۵ | ۲۲۸۰ | ۲۹۵/۲ | ۸/۸ | ۲۱/۵ |
| بم | ۲۹/۰۶ | ۵۸/۲۱ | ۱۰۶۶/۹ | ۵۷/۴ | ۱۷/۸ | ۲۹/۸ |
| رفسنجان | ۳۰/۲۵ | ۵۵/۵۴ | ۱۵۸۰/۹ | ۸۰/۱ | ۱۱/۵ | ۲۶/۲ |
| سیرجان | ۲۹/۲۸ | ۵۵/۴۱ | ۱۷۳۹/۴ | ۱۴۶/۶ | ۹/۶ | ۲۵/۴ |
| شهربابک | ۳۰/۰۶ | ۵۵/۰۸ | ۱۸۳۴/۱ | ۱۵۱/۶ | ۷ | ۲۵/۸ |
| کرمان | ۳۰/۱۵ | ۵۶/۵۸ | ۱۷۵۳/۸ | ۱۳۳/۵ | ۷/۶ | ۲۵/۴ |
| کهنوج | ۲۷/۵۸ | ۵۷/۴۲ | ۴۶۹/۷ | ۲۰۲/۳ | ۱۹/۹ | ۳۴ |
| میانده جیرفت | ۲۸/۳۵ | ۵۷/۴۸ | ۶۰۱ | ۱۷۹/۹ | ۱۷ | ۳۲/۶ |



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های استان کرمان

کردن، ارزیابی داده‌ها، و تولید داده برای دوره آینده است. خروجی این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش یا ساعات آفتابی می‌باشند.

در مرحله کالیبره کردن مدل داده‌های تهیه شده دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ برای ۹ ایستگاه استان کرمان پردازش و مرتب شده و داده‌ها آماده ورود به مدل LARS-WG5 شد. به این ترتیب مدل برای دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ اجرا شد و پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی به صورت روزانه برای دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ شبیه‌سازی شد.

در مرحله ارزیابی مدل، خروجی مدل مورد آنالیز قرار گرفت. برای ارزیابی مدل داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی شده برای دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند و پارامترهای شبیه‌سازی شده با استفاده از محاسبه ضریب تعیین R^2 فرمول (۱) و شاخص های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا فرمول (۲) و میانگین خطای مطلق فرمول (۳)، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده با استفاده از مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه شد.

در این پژوهش، برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 از مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG5 که یکی از مشهورترین مدل های مولد داده های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده شده است. مدل گردش عمومی HadCM3 یک مدل GCM (جفت شده جوی- اقیانوسی) است که در مرکز تحقیقاتی HCCPR5 در انگلیس اجرا شده و این مدل دارای شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است. داده‌های HadCM3 از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ موجود بوده و همه آن‌ها نسبت به میانگین و انحراف معیار داده‌ها از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ نرمال شده‌اند.

سه سناریو تغییر اقلیم A1B، A2 و B1 مطالعه حاضر استفاده شده است. هر یک نشان دهنده ویژگی‌هایی از جمله مربوط به رشد اقتصاد جهان، جمعیت جهان و آگاهی‌های اجتماعی می‌باشد. برای اجرای مدل LARS-WG از داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی در دوره آماری ۲۰ سال (۲۰۱۰-۱۹۹۱) استفاده شد که دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ به عنوان دوره پایه شناخته می‌شود. داده‌های ۲۰ سال گذشته ۲۰۱۰-۱۹۹۱ به عنوان مبنای تغییر اقلیم گذشته و برای شبیه‌سازی اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفته است. مدل LARS-WG در سه مرحله اجرا می‌شود، این مراحل شامل کالیبره

۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ محاسبه شد و نمودارهای تغییرات طول دوره خشک و مرطوب برای هر یک از ایستگاه ها ترسیم شد. بازه تر، برای هر ماه، در این مدل عبارت است از تعداد روزهای متوالی با حداقل بارش روزانه معادل ۱،۰ میلی متر فاصله هر دو بازه تر یک بازه خشک می باشد (زمنوف و همکاران، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

برای واسنجی مدل ضریب تعیین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل برای دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ در ۹ ایستگاه سینوپتیک استان کرمان محاسبه شد، در جدول (۲) مقادیر R^2 (ضریب تعیین) که برای نشان دادن دقت مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد، ارائه شده است. این نتایج نیز بیانگر این مطلب می‌باشند که داده‌های بارش مشاهده‌شده و تولیدشده دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱) از همبستگی معنی داری برخوردار می‌باشد و برای اطمینان از درستی واسنجی مدل از شاخص‌های خطاسنجی RMSE و MAE استفاده شد. مقادیر آن‌ها در جدول (۲) آمده است. با توجه به مقادیر مذکور در جدول مدل برای ایستگاه‌های استان کرمان نیز، مناسب ارزیابی می‌شود.

پس از ارزیابی مدل LARS-WG5 و اطمینان از مناسب بودن آن به بررسی داده‌های تولید شده با استفاده از مدل LARS-WG5 برای سه سناریو تغییر اقلیم با استفاده از مدل HadCM3 پرداخته شد. نتایج حاصل در جدول (۳) نشان می‌دهند که بارش در اغلب ماه‌ها روند افزایشی داشته و انتظار می‌رود که در ۲۰ سال آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مقدار بارش افزایش داشته باشد.

همچنین، شکل (۲) نشان دهنده نمودارهای تغییرات بارش در دوره ۲۰ سال آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از سه سناریو تغییر اقلیم می‌باشد که مدل افزایش بارش در آینده را پیش‌بینی نموده است.

$$R^2 = \frac{\sum_{m=1}^k X_m Y_m}{\sqrt{\sum_{m=1}^k X_m^2 Y_m^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (3)$$

پس از ارزیابی مدل LARE-WG5 با استفاده از شاخص‌های خطا سنجی و ضریب تعیین و اطمینان از مناسب بودن مدل، از مدل LARS-WG5 برای ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 اجرا شد و داده‌های دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از سه سناریو تغییر اقلیم، A1B، B1 و A2 تولید شد و به این ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مطرح شده برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تولید شد. پس از تولید داده‌ها برای ۲۰ سال آتی از خروجی بارش مدل میانگین‌گیری شده و نرمال ماهانه پارامتر بارش در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از سه سناریو تغییر اقلیم محاسبه شد.

سپس، تغییرات بارش ماهانه از تفاضل نرمال ماهانه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با مقادیر نرمال دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ محاسبه شد و نمودارهای تغییرات بارش مربوط به هریک از ۱۰ ایستگاه رسم شد. همچنین، برای بررسی تغییرات فصلی بارش، نمودارهای فصلی بارش در هر سه سناریو تغییر اقلیم، برای ۱۰ ایستگاه رسم شد.

به منظور بررسی روند تغییرات دراز مدت بارش نمودار میانگین بارش سالانه مربوط به هریک از ایستگاه‌ها نیز ترسیم شد تا به این طریق بتوان چگونگی روند تغییرات ۲۰ سال آتی را در مقایسه با ۲۰ سال گذشته مشاهده نمود. همچنین، برای بررسی روند تغییرات طول دوره خشک و مرطوب، تفاضل طول دوره خشک و مرطوب دوره آتی

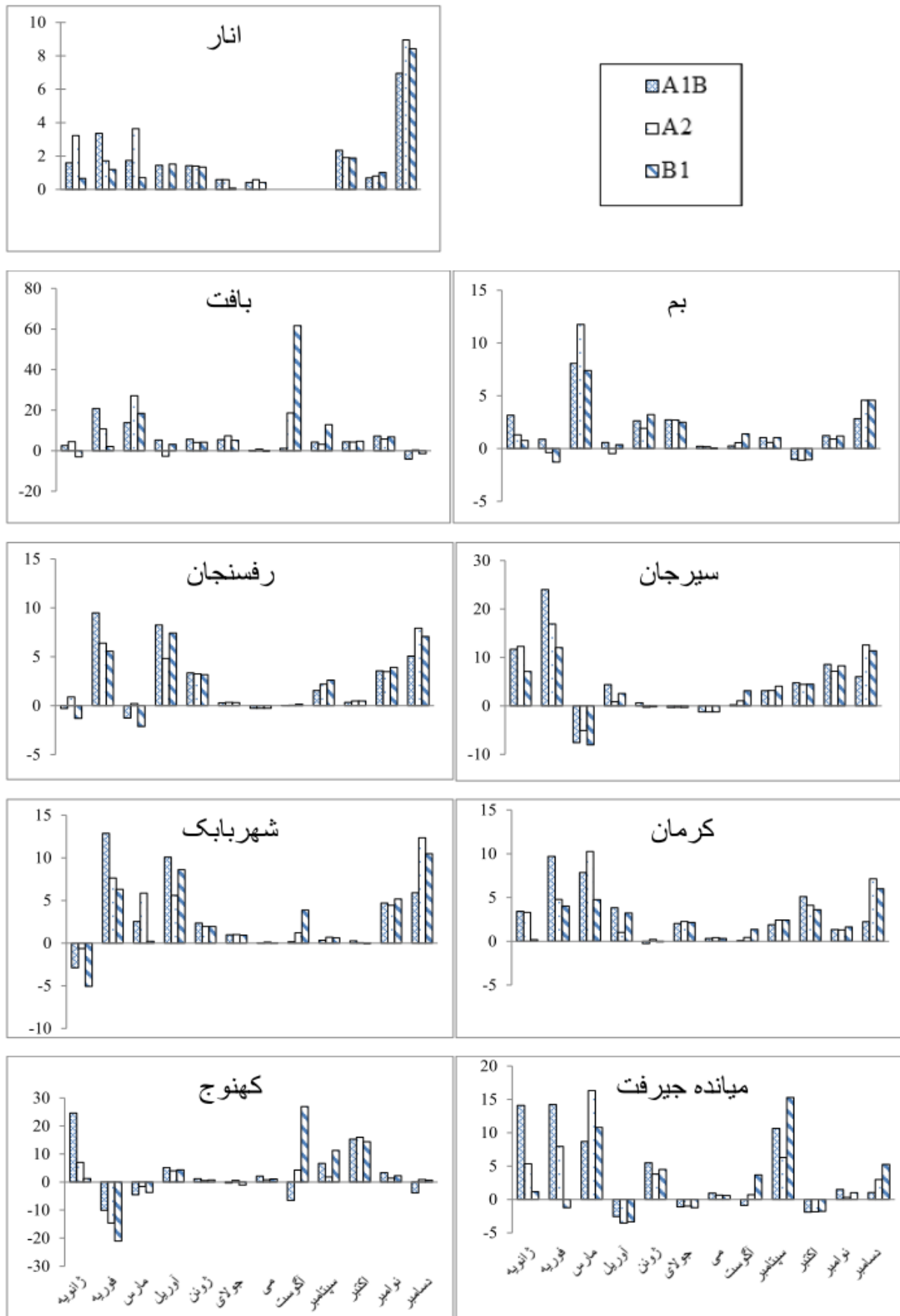
جدول (۲): بررسی شاخص همبستگی (R^2) و شاخص‌های خطاسنجی (RMSE و MAE) پارامتر بارش برای ۹ ایستگاه استان کرمان

| ایستگاه‌ها | انار | بافت | بم | رفسنجان | سیرجان | شهربابک | کرمان | کهنوج | میانده جیرفت |
|------------|-------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|-------|--------------|
| R^2 | ۰/۹۵۵ | ۰/۸۷۲ | ۰/۹۱۸ | ۰/۹۰۸ | ۰/۸۹۸ | ۰/۹۴۸ | ۰/۷۶۹ | ۰/۹۶۸ | ۰/۹۴۹ |
| RMSE | ۱/۵۴ | ۱/۰۱۳ | ۱/۷۳ | ۲/۲۲ | ۶/۳۰ | ۵/۴۳ | ۳/۳۰ | ۳/۳۱ | ۲/۷۷ |
| MAE | ۱/۱۸ | ۷/۰۷ | ۱/۵۳ | ۱/۴۹ | ۴/۲۲ | ۳/۷۹ | ۱/۹۳ | ۲/۷۹ | ۱/۸۲ |

جدول (۳): نرمال ماهانه دوره پایه و ۲۰ سال آتی پارامتر بارش ۹ ایستگاه استان کرمان با استفاده از سه سناریو تغییر اقلیم

مدل HadCM3 (A1B و A2 و B1)

| ایستگاه ها | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | ژوئن | جولای | می | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|
| انار | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۱۷/۲۱ | ۱۰/۰۶ | ۱۴/۲۲ | ۷/۴۳ | ۴/۲۲ | ۰/۶۳ | ۰/۱۵ | ۰ | ۱/۰۱ | ۴/۱۲ | ۱۱/۱۵ |
| | A1B | ۱۸/۸ | ۱۳/۴۱ | ۱۵/۹۵ | ۸/۸۸ | ۵/۶۴ | ۱/۲۱ | ۰/۵۷ | ۰ | ۳/۳۵ | ۴/۸۲ | ۱۸/۱ |
| | A2 | ۲۰/۴۴ | ۱۱/۷۸ | ۱۷/۸۶ | ۷/۴۵ | ۵/۶۲ | ۱/۲۲ | ۰/۷۳ | ۰ | ۲/۹۲ | ۴/۹۳ | ۲۰/۰۹ |
| | B1 | ۱۷/۸۷ | ۱۱/۲۶ | ۱۴/۹۳ | ۸/۹۵ | ۵/۵۶ | ۰/۷۱ | ۰/۵۷ | ۰ | ۲/۸۹ | ۵/۱۴ | ۱۹/۵۸ |
| بافت | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۵۵/۵۸ | ۵۰/۰۵ | ۵۲/۷۶ | ۱۹/۷۸ | ۷/۵۱ | ۴/۳۶ | ۴/۲۳ | ۸/۳۲ | ۱/۰۲ | ۳/۶۸ | ۶/۷۷ |
| | A1B | ۵۸/۱ | ۷۰/۸۷ | ۶۶/۵۹ | ۲۵/۰۳ | ۱۳/۲۱ | ۹/۸ | ۴/۲۶ | ۹/۴۸ | ۵/۲۴ | ۸/۰۷ | ۱۴/۰۳ |
| | A2 | ۶۰/۰۶ | ۶۰/۷۵ | ۷۹/۸۲ | ۱۷/۱۲ | ۱۱/۵۳ | ۱۱/۷۶ | ۵/۰۵ | ۲۶/۹۶ | ۴/۱۵ | ۷/۹۹ | ۱۲/۵۳ |
| | B1 | ۵۲/۵۶ | ۵۲/۱۱ | ۷۱/۱۵ | ۲۲/۹۹ | ۱۱/۶۴ | ۹/۵۷ | ۴/۲۲ | ۷۰/۰۱ | ۱۳/۹۱ | ۸/۳۹ | ۱۳/۶۵ |
| بم | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۱۱/۰۱ | ۷/۹۷ | ۱۴/۵۲ | ۷/۵۳ | ۵/۶۲ | ۱/۰۱ | ۰/۵۵ | ۰/۱۲ | ۱/۵۷ | ۱/۰۵ | ۵/۴۵ |
| | A1B | ۱۴/۱۷ | ۸/۸۶ | ۲۲/۵۹ | ۸/۱۲ | ۸/۲۶ | ۳/۷۳ | ۰/۷۷ | ۰/۳۸ | ۰/۵۵ | ۲/۲۸ | ۸/۳ |
| | A2 | ۱۲/۳۲ | ۷/۶ | ۲۶/۲۹ | ۷/۰۵ | ۷/۵۴ | ۳/۷۲ | ۰/۷۴ | ۰/۶۸ | ۰/۶۷ | ۰/۴۶ | ۱/۹۵ |
| | B1 | ۱۱/۷۸ | ۶/۷ | ۲۱/۹۱ | ۷/۹۱ | ۸/۸۴ | ۳/۵ | ۰/۵۶ | ۱/۵ | ۱/۱۳ | ۰/۵۲ | ۲/۲۴ |
| رفسنجان | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۱۶/۶۸ | ۱۵/۴۸ | ۱۳/۸۵ | ۹/۸۲ | ۴/۳۸ | ۰/۷۴ | ۰/۲۹ | ۰/۰۱ | ۱/۸۲ | ۴/۰۱ | ۱۲/۶۱ |
| | A1B | ۱۶/۴ | ۲۴/۹۷ | ۱۲/۵۹ | ۱۸/۰۷ | ۷/۷۴ | ۱/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۱/۹۲ | ۲/۱۶ | ۷/۵۷ |
| | A2 | ۱۷/۵۷ | ۲۱/۸۶ | ۱۴/۰۶ | ۱۴/۶۳ | ۷/۶۲ | ۱/۰۸ | ۰/۰۳ | ۰/۰۵ | ۲/۵۶ | ۲/۲۹ | ۷/۴۷ |
| | B1 | ۱۵/۳۹ | ۲۱/۰۴ | ۱۱/۷۲ | ۱۷/۲۳ | ۷/۵۴ | ۱/۰۵ | ۰/۰۲ | ۰/۱۶ | ۲/۹۸ | ۲/۳ | ۷/۹۲ |
| سیرجان | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۳۲/۴۶ | ۲۴/۰۹ | ۳۱/۶۸ | ۱۲/۷۷ | ۵/۹۵ | ۰/۶۳ | ۱/۳۱ | ۰/۳۵ | ۲/۵۹ | ۶/۱۷ | ۲۵/۳۵ |
| | A1B | ۴۴/۱۵ | ۴۸/۰۸ | ۲۴/۱ | ۱۷/۱۴ | ۶/۵۹ | ۰/۲۹ | ۰/۰۶ | ۰/۵۵ | ۳/۶۸ | ۷/۳۵ | ۱۴/۷۳ |
| | A2 | ۴۴/۷۴ | ۴۱ | ۲۶/۶۱ | ۱۳/۶۲ | ۵/۶۵ | ۰/۰۸ | ۰/۳۳ | ۱/۴ | ۳/۷۲ | ۷/۰۲ | ۱۳/۳۱ |
| | B1 | ۳۹/۵۴ | ۳۶/۱ | ۲۳/۶۳ | ۱۵/۳۴ | ۵/۷۵ | ۰/۰۷ | ۰/۲۸ | ۳/۴۹ | ۷/۶۲ | ۷/۰۶ | ۱۴/۴۳ |
| شهربابک | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۳۴/۳۸ | ۲۵/۶۷ | ۲۸/۷۸ | ۱۵/۰۶ | ۶/۵۳ | ۰/۴۳ | ۰/۱۷ | ۰/۷۶ | ۰/۱۵ | ۶/۴۳ | ۲۸/۸۱ |
| | A1B | ۳۱/۴۹ | ۳۸/۵۲ | ۳۱/۴ | ۲۵/۱۲ | ۸/۸۷ | ۱/۳۹ | ۰/۱۹ | ۰/۹۳ | ۰/۴۷ | ۲/۴۵ | ۱۱/۱۱ |
| | A2 | ۳۳/۷۴ | ۳۳/۲۹ | ۳۴/۷۱ | ۲۰/۶۵ | ۸/۴۷ | ۱/۴۳ | ۰/۲۷ | ۱/۹۵ | ۰/۸۳ | ۲/۲۵ | ۱۰/۸۶ |
| | B1 | ۲۹/۳۱ | ۳۱/۹۶ | ۲۹/۰۷ | ۲۳/۵۶ | ۸/۴۷ | ۱/۳۵ | ۰/۱۹ | ۴/۶۱ | ۰/۷۶ | ۲/۲ | ۱۱/۵۹ |
| کرمان | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۲۴/۶۴ | ۲۶/۲ | ۲۷/۱۸ | ۱۶/۱۴ | ۸/۶۳ | ۰/۷۹ | ۰/۱۲ | ۰/۳ | ۰/۳۶ | ۲/۷۴ | ۲۰/۸۷ |
| | A1B | ۲۸/۰۶ | ۳۵/۸۹ | ۳۵/۰۲ | ۱۹/۹۷ | ۸/۳۷ | ۲/۸۳ | ۰/۴۴ | ۰/۳۵ | ۲/۲۵ | ۷/۸۳ | ۴/۹۷ |
| | A2 | ۲۷/۹۴ | ۳۰/۹۸ | ۳۷/۴۲ | ۱۷/۱۴ | ۸/۸۳ | ۳/۰۶ | ۰/۵۴ | ۰/۷۴ | ۲/۷۸ | ۶/۸۵ | ۴/۹۲ |
| | B1 | ۲۴/۸۳ | ۳۰/۲۲ | ۳۱/۹۲ | ۱۹/۳۷ | ۸/۵۶ | ۲/۹۴ | ۰/۴۴ | ۰/۶۵ | ۲/۷۹ | ۶/۳۴ | ۵/۲۷ |
| کهنوج | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۵۴/۳۷ | ۳۹/۴ | ۳۴/۳۹ | ۴/۴۱ | ۰/۸۷ | ۴/۴۹ | ۲/۹۱ | ۱/۰۷۹ | ۱/۶۶ | ۳/۷۱ | ۴/۶۶ |
| | A1B | ۷۸/۹۵ | ۲۹/۲۹ | ۲۹/۸۵ | ۹/۵۱ | ۱/۹۸ | ۴/۱۵ | ۴/۹۷ | ۴/۲۳ | ۸/۲۶ | ۱۸/۹۷ | ۷/۹۶ |
| | A2 | ۶۱/۳۹ | ۲۴/۷۶ | ۳۲/۸۲ | ۸/۳۷ | ۱/۳۴ | ۵/۰۵ | ۳/۷۱ | ۱۵/۰۶ | ۳/۴۵ | ۱۹/۶۶ | ۶/۰۱ |
| | B1 | ۵۵/۶۱ | ۱۸/۳۴ | ۳۰/۶۵ | ۸/۷۱ | ۱/۵۸ | ۳/۳۷ | ۳/۹۵ | ۳۷/۶۵ | ۱۲/۹ | ۱۸/۰۴ | ۶/۹۱ |
| میانه | ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۴۲/۳۳ | ۳۹/۰۲ | ۳۸/۴۹ | ۱۲/۴۳ | ۳/۱۹ | ۲/۰۶ | ۱/۲۱ | ۱/۴۶ | ۱/۴۲ | ۴/۸۹ | ۴/۹۸ |
| | A1B | ۵۶/۴۳ | ۵۳/۲۴ | ۴۷/۱۶ | ۹/۸۳ | ۸/۶۸ | ۰/۹۳ | ۲/۱۳ | ۰/۵۴ | ۲/۹۹ | ۶/۴۵ | ۳۰/۲۵ |
| | A2 | ۴۷/۶۷ | ۴۶/۹۶ | ۵۴/۷۹ | ۸/۸۸ | ۶/۹۶ | ۱/۰۶ | ۱/۸۳ | ۲/۱۵ | ۷/۶۸ | ۳/۰۳ | ۵/۲۸ |
| | B1 | ۴۳/۴۶ | ۳۷/۷۸ | ۴۹/۲۶ | ۹/۰۵ | ۷/۴۸ | ۰/۸۱ | ۱/۷۹ | ۵/۱۲ | ۱۶/۶۸ | ۳/۱۱ | ۵/۹۶ |



شکل (۲): نمودارهای تغییرات بارش در دوره ۲۰ سال آینده ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از سه سناریو تغییر اقلیم

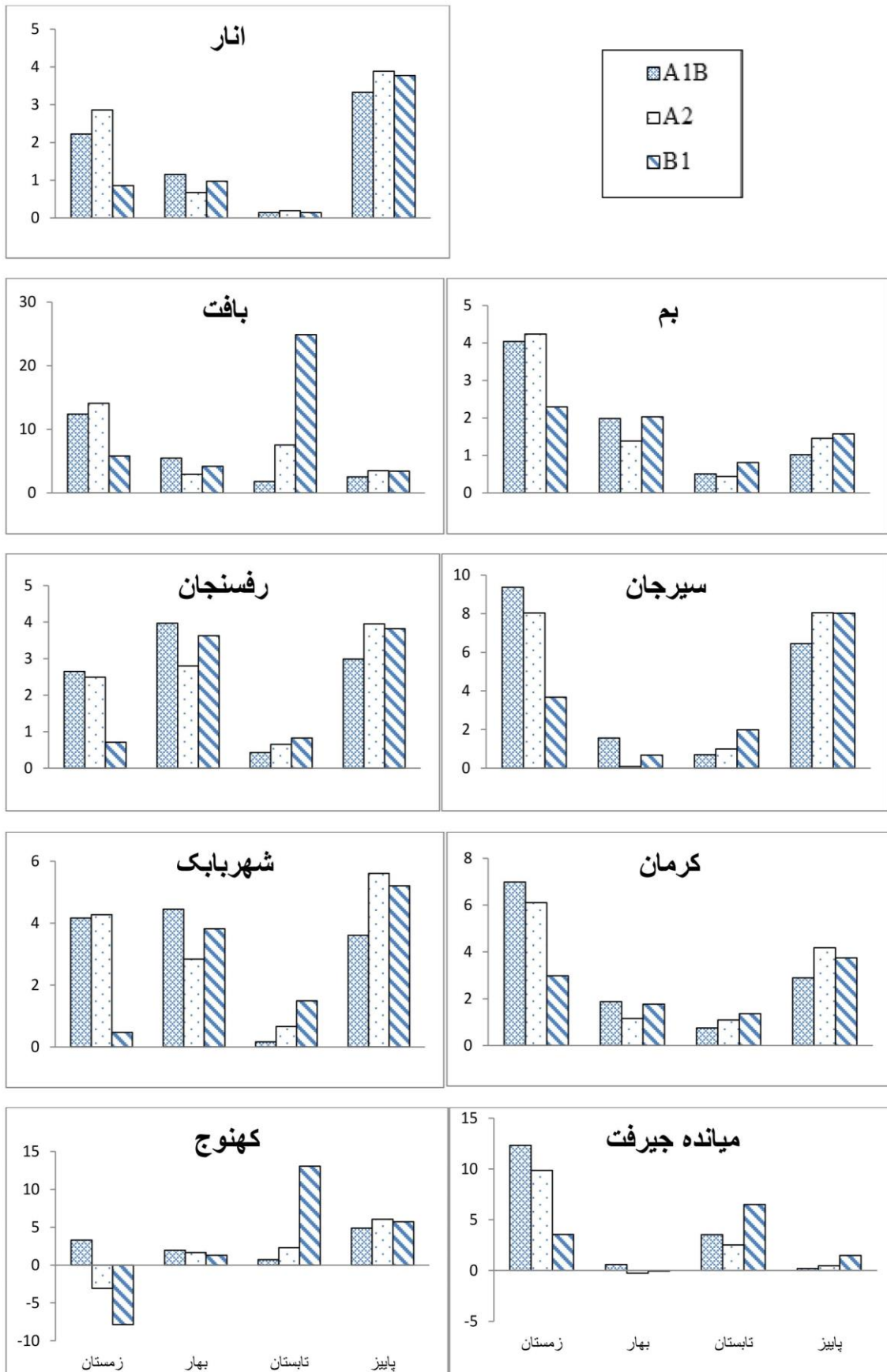
زمستان و در ایستگاه میانده جیرفت به مقدار جزئی در فصل بهار می‌باشد. همان‌طور که نمودارهای شکل (۳) نشان دهنده تغییرات بارش در فصول مختلف می‌باشد.

جدول (۴) نشان دهنده تغییرات بارش فصلی ۲۰ سال آتی می‌باشد که با نگاهی اجمالی به جدول مشخص می‌شود که بارش در هر چهار فصل و در همه ایستگاه‌ها به استثنای کهنوج و میانده جیرفت، دارای افزایش می‌باشند. کاهش بارش در ایستگاه کهنوج در فصل

جدول (۴): تغییرات فصلی ۲۰ سال آتی پارامتر بارش ایستگاه‌های استان کرمان طبق

سناریوهای (A1B و A2 و B1) مدل HADCM3

| ایستگاه‌ها | سناریوهای تغییر اقلیم | زمستان | بهار | تابستان | پاییز |
|--------------|-----------------------|--------|-------|---------|-------|
| انار | A1B | ۲/۲۲ | ۱/۱۵ | ۰/۱۴ | ۳/۳۳ |
| | A2 | ۲/۸۶ | ۰/۶۷ | ۰/۱۹ | ۳/۸۸ |
| | B1 | ۰/۸۵ | ۰/۹۸ | ۰/۱۴ | ۳/۷۷ |
| بافت | A1B | ۱۲/۳۹ | ۵/۴۶ | ۱/۸ | ۲/۵۱ |
| | A2 | ۱۴/۰۸ | ۲/۹۲ | ۷/۵۳ | ۳/۴۸ |
| | B1 | ۵/۸۱ | ۴/۱۸ | ۲۴/۸۶ | ۳/۴ |
| بم | A1B | ۴/۰۴ | ۱/۹۸ | ۰/۵ | ۱/۰۲ |
| | A2 | ۴/۲۳ | ۱/۳۸ | ۰/۴۴ | ۱/۴۶ |
| | B1 | ۲/۲۹ | ۲/۰۳ | ۰/۸۱ | ۱/۵۷ |
| رفسنجان | A1B | ۲/۶۵ | ۳/۹۷ | ۰/۴۳ | ۲/۹۹ |
| | A2 | ۲/۴۹ | ۲/۷۹ | ۰/۶۵ | ۳/۹۵ |
| | B1 | ۴/۷۱ | ۳/۶۲ | ۰/۸۳ | ۳/۸۲ |
| سیرجان | A1B | ۹/۳۷ | ۱/۵۶ | ۰/۶۹ | ۶/۴۴ |
| | A2 | ۸/۰۴ | ۰/۰۸ | ۰/۹۹ | ۸/۰۵ |
| | B1 | ۳/۶۸ | ۰/۶۷ | ۱/۹۹ | ۸/۰۲ |
| شهربابک | A1B | ۴/۴۶ | ۴/۴۵ | ۰/۱۷ | ۳/۶ |
| | A2 | ۴/۲۷ | ۲/۸۴ | ۰/۶۶ | ۵/۶ |
| | B1 | ۰/۴۷ | ۳/۸۱ | ۱/۴۹ | ۵/۲۱ |
| کرمان | A1B | ۶/۹۸ | ۱/۸۷ | ۰/۷۵ | ۲/۸۹ |
| | A2 | ۶/۱ | ۱/۱۵ | ۱/۰۹ | ۴/۱۷ |
| | B1 | ۲/۹۸ | ۱/۷۷ | ۱/۳۶ | ۳/۷۴ |
| کهنوج | A1B | ۳/۳۱ | ۱/۹۶ | ۰/۷ | ۴/۸۹ |
| | A2 | -۳/۰۷ | ۱/۶۶ | ۲/۲۹ | ۶/۰۴ |
| | B1 | -۷/۸۶ | ۱/۲۹ | ۱۳/۰۵ | ۵/۷۳ |
| میانده جیرفت | A1B | ۱۲/۳۳ | ۰/۵۹ | ۳/۵۴ | ۰/۲ |
| | A2 | ۹/۸۶ | -۰/۲۶ | ۲/۵۲ | ۰/۴۶ |
| | B1 | ۳/۵۵ | -۰/۰۵ | ۶/۵ | ۱/۴۸ |



شکل (۳): تغییرات فصلی پارامتر بارش ایستگاه‌های استان کرمان در ۲۰ سال آتی طبق سناریوهای مدل HADCM3

نشان داده که طول بازه تر در تمام ایستگاه‌های استان کرمان افزایش داشته است و همان‌طور که انتظار می‌رفت این افزایش در بیشتر ماه‌ها مشاهده می‌شود. همچنین، هر سه سناریو تغییر اقلیم این افزایش را نشان داده و بنابراین تعداد روزهای با بارش بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر رو به افزایش می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از تغییرات بارش فصلی و سالانه به نظر می‌رسد طول دوره مرطوب رو به افزایش خواهد بود.

مدل قادر به شبیه‌سازی مناسب بازه خشک نمی‌باشد و بر همین اساس شبیه‌سازی دوره خشک با خطا همراه می‌باشد، روند تغییرات طول دوره خشک در ایستگاه‌ها روند یکسانی را نشان نمی‌دهند. با توجه به این نتایج می‌توان این‌گونه استنباط نمود که اگرچه طول دوره خشک را افزایشی نشان داده، اما با توجه به افزایش مقدار بارش سالانه و افزایش روزهای تر، تعداد روزها با بارش شدید افزایش خواهد یافت که این امر باعث افزایش مقدار بارش سالانه شده است.

شکل (۶) بیانگر طول دوره خشک در ۲۰ سال آینده در ایستگاه‌های استان کرمان می‌باشد که دارای نوسانات زیاد با طول دوره متفاوت می‌باشند و از یک الگوی تغییرات خاص پیروی نمی‌کنند.

تغییرات بارش سالانه به صورت نمودارهای در شکل (۴) نشان داده شده است. این نمودارها نشان دهنده افزایش سالانه بارش نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ می‌باشد و هر سه سناریو این افزایش بارش را نشان داده است. همان‌طور که در نمودارها نمایان می‌باشد بارش در همه ایستگاه‌ها در ۲۰ سال آتی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ رو به افزایش خواهد یافت.

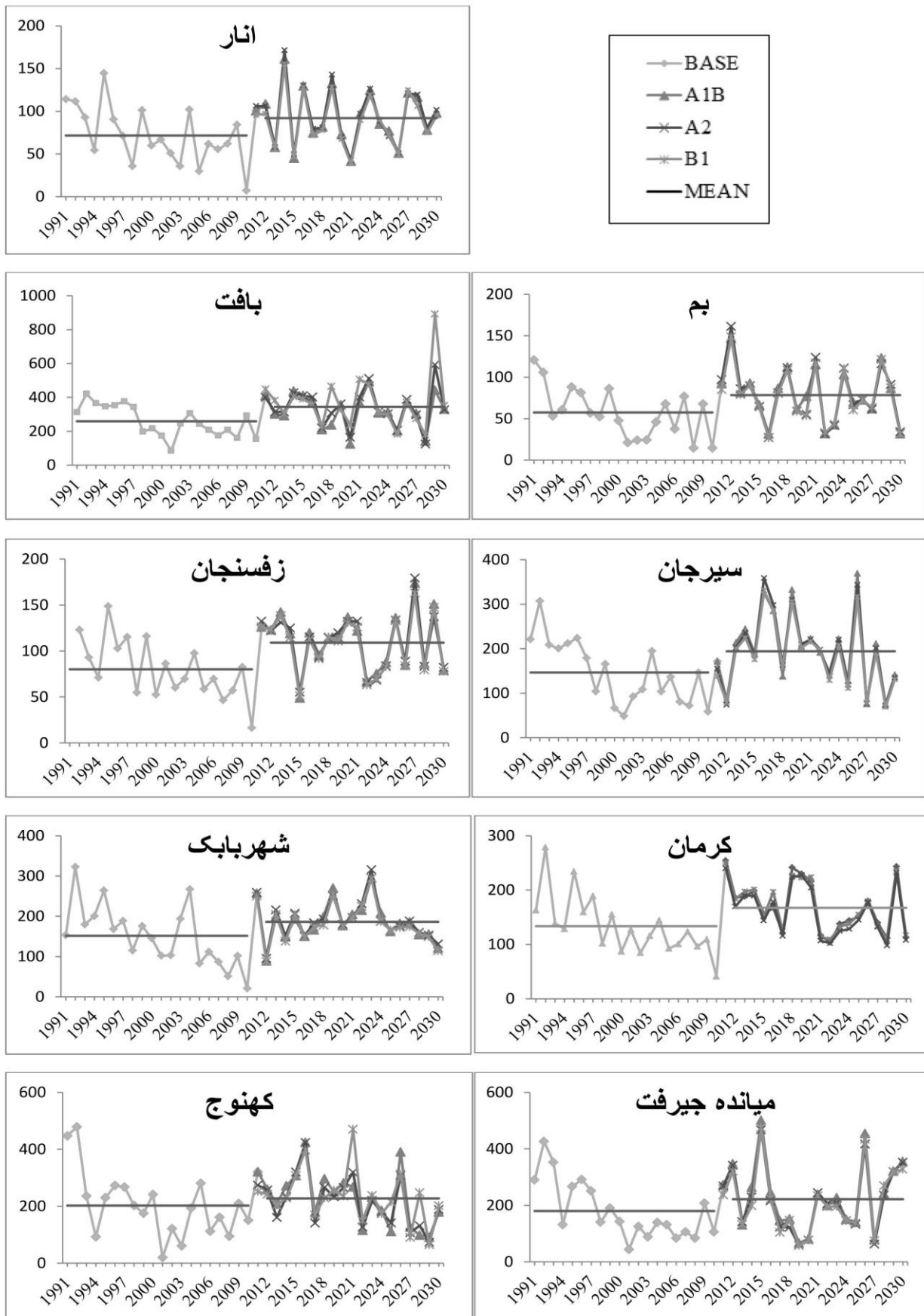
نتایج حاصل از بارش شبیه‌سازی شده ۲۰ سال آینده نشان می‌دهد که مجموع بارش سالیانه در ۲۰ سال آینده در مقایسه با ۲۰ سال دوره پایه افزایش خواهد داشت. نتایج حاصل در جدول (۵) ارائه شده است.

با توجه به مقادیر بیان شده در جدول (۵) افزایش بارش برای تمام ایستگاه‌ها در ۲۰ سال آینده برای هر سه سناریو تغییر اقلیم پیش‌بینی شده است. بیشترین افزایش میانگین بارش مربوط به ایستگاه‌های بم و رفسنجان با ۲۶/۵ درصد و کمترین افزایش مربوط به ایستگاه کهنوج با ۱۱ درصد می‌باشد. به این ترتیب، تغییرات بارش در ۲۰ سال آتی برای ایستگاه‌های استان کرمان بین ۱۱ تا ۲۶/۵ درصد خواهد بود.

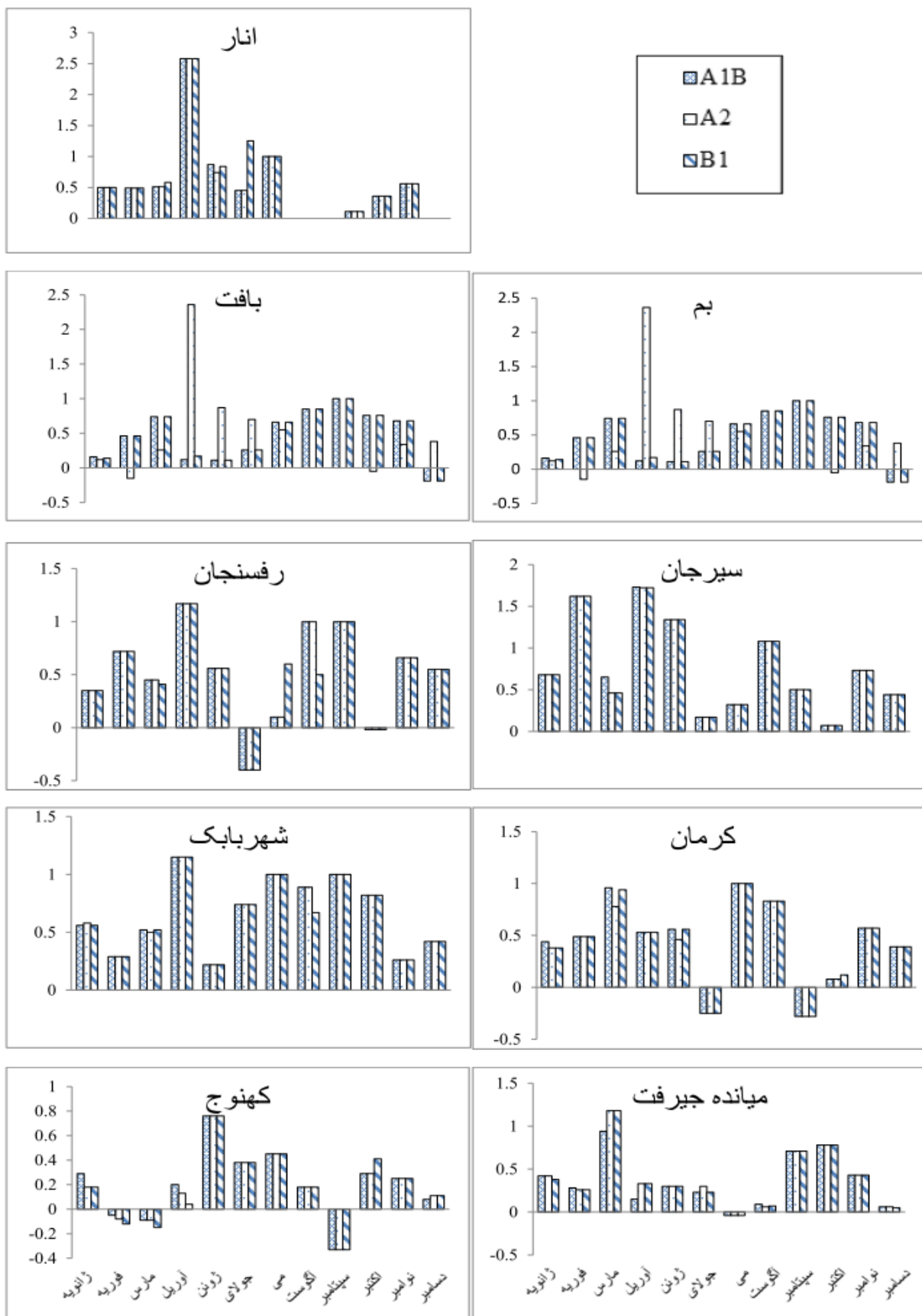
پس از بررسی بارندگی به بررسی تغییرات طول بازه تر و خشک در آینده پرداخته شد. با توجه به پیش‌بینی افزایش بارش در ۲۰ سال آینده انتظار می‌رود که بازه تر در دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ افزایش داشته باشد. شکل (۵)

جدول (۵): میانگین ۲۰ ساله بارش در ایستگاه‌های استان کرمان برای دوره پایه و سه سناریو تغییر اقلیم مدل HadCM3

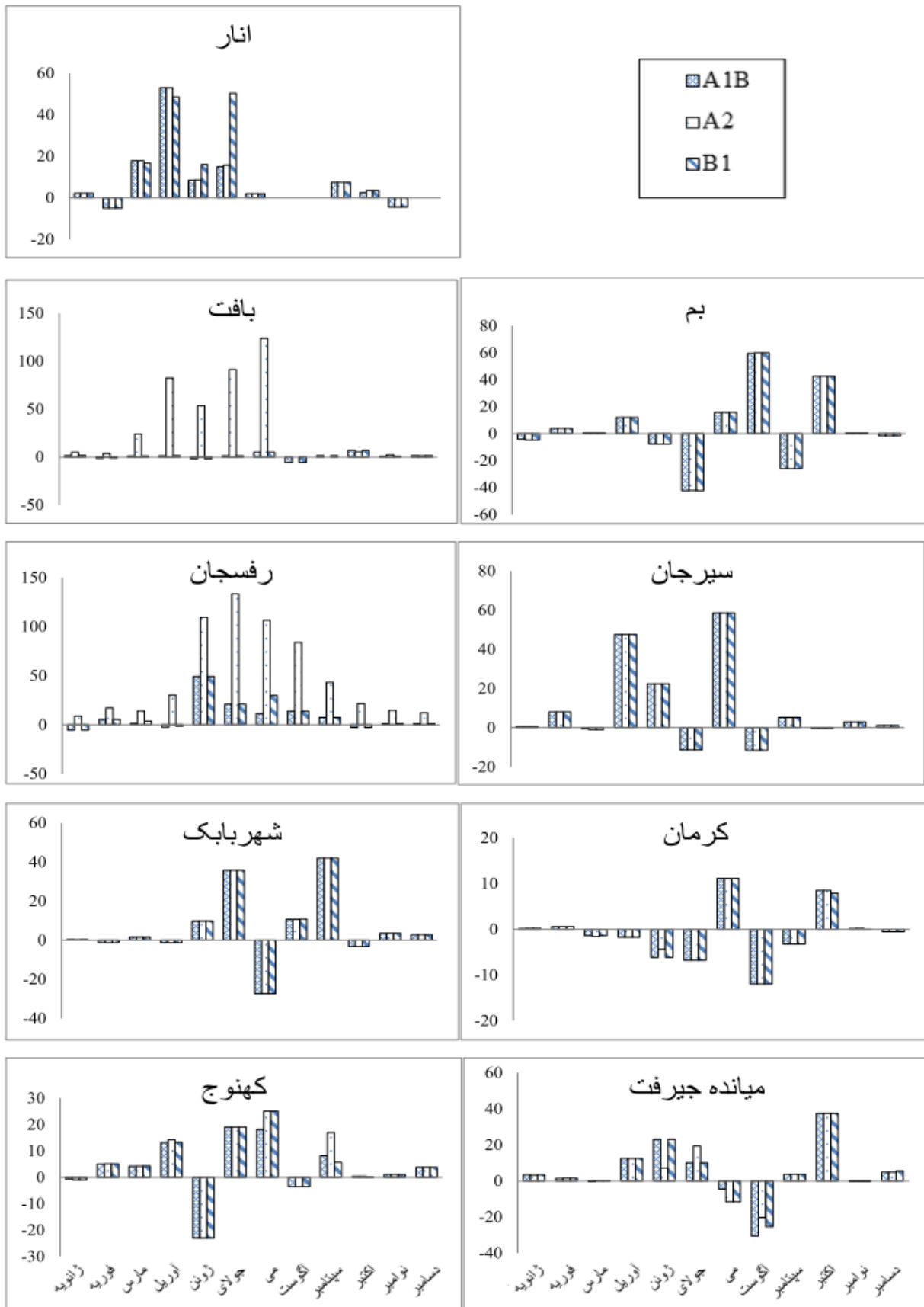
| میانگین ۲۰ ساله ایستگاه | انار | بافت | بم | رفسنجان | سیرجان | شهربابک | کرمان | کهنوج | میانده جیرفت |
|-------------------------|-------|--------|-------|---------|--------|---------|--------|--------|--------------|
| دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۱۰ | ۷۱/۶۱ | ۲۹۵/۱۶ | ۵۷/۳۹ | ۸۰/۱۲ | ۱۴۶/۶۳ | ۱۵۱/۶۲ | ۱۳۳/۴۸ | ۲۰۲/۲۳ | ۱۷۹/۸۸ |
| سناریو A1B | ۹۲/۶۲ | ۳۲۱/۴۴ | ۷۹/۳۵ | ۱۱۰/۱۴ | ۱۹۸/۷۲ | ۱۸۶/۶۱ | ۱۷۰/۰۲ | ۲۲۹/۹۵ | ۲۳۰/۶۴ |
| سناریو A2 | ۹۴/۶۷ | ۳۳۹/۰۴ | ۷۹/۲۳ | ۱۰۹/۷۷ | ۱۹۶/۰۱ | ۱۸۹/۵۷ | ۱۷۰/۰ | ۲۱۸/۵۲ | ۲۱۸/۴۳ |
| سناریو B1 | ۹۴/۶۷ | ۳۶۹/۷۰ | ۷۶/۸۲ | ۱۰۷/۰۶ | ۱۸۷/۳۲ | ۱۸۲/۴۰ | ۱۶۱/۹۰ | ۲۳۴/۲۱ | ۲۱۵/۱۳ |



شکل (۴): میانگین ۲۰ ساله بارش در ایستگاه‌های استان کرمان برای دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ و سه سناریو تغییر اقلیم آینده



شکل (۵): نمودار تغییرات طول بازه تر در دوره پایه و دوره آینده شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG با استفاده از سه سناریو تغییر اقلیم برای ۹ ایستگاه سینوپتیک استان کرمان



شکل (۶): نمودار تغییرات طول بازه خشک در دوره پایه و دوره آینده شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG با استفاده از سه سناریو تغییر اقلیم برای ۹ ایستگاه سینوپتیک استان کرمان

نتیجه گیری

بررسی نتایج تغییرات طول دوره خشک و تر مشخص شد که طول دوره تر در همه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی می‌باشد، درحالی که طول دوره خشک در ایستگاه‌های مختلف دارای نوسانات زیادی می‌باشد. مقادیر میانگین بارش ۲۰ سال آتی برای هر سه سناریو نشان می‌دهد که مقادیر بارش در طی سال‌های آتی رو به افزایش است و با افزایش بارش‌های حدی همراه خواهد بود. عباسی و همکاران در سال ۱۳۸۹ نتایج مشابهی برای استان خراسان جنوبی بدست آوردند که، علیرغم افزایش میانگین بارش در کل استان خراسان جنوبی، بارش فصل زمستان در مقایسه با دوره پایه کاهش خواهد یافت، اما در مقابل بارش‌های تابستانه بیشترین افزایش را خواهند داشت. نتایج این پژوهش نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهد و روند افزایشی تغییرات بارش در تابستان مشاهده شده است.

در این پژوهش، داده‌ها به منظور بررسی و ارزیابی تغییرات بارش با توجه به تغییر اقلیم استان کرمان در طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از خروجی مدل HADCM3 با سه سناریو A1B، A2 و B1 برای ۹ ایستگاه سینوپتیک کرمان با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شد. پس از این که مدل برای دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۹۱ ارزیابی شد و بر اساس شاخص‌های خطاسنجی و ضریب تعیین صحت و دقت مدل تعیین شد، به بررسی روند تغییرات بارش و تغییرات طول دوره خشک و تر در دوره آینده ۲۰۱۱-۲۰۳۰ پرداخته شد. با استفاده از نمودارهای میانگین طولانی مدت بارش، تغییرات ۲۰ سال آینده ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد مدل LARS-WG پیش‌بینی می‌کند که مقادیر بارش در طی ۲۰ سال آینده ۲۰۱۱-۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت. با

منابع

- ۱- باباییان، ا.، ز. نجفی نیک، ف. زابل عباسی، م. حبیبی نوخندان، ح. ادب و ش. ملبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه. شماره ۱۶، ص ۱۳۵-۱۵۲.
- ۲- عباسی، ف.، ش. ملبوسی، ا. بابائیان، م. اثمري و ر. برهانی. ۱۳۸۹. پیش بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. نشریه آب و خاک. شماره ۲۴، ص ۲۳۳-۲۱۸.
- ۳- عباسی، ف.، ا. بابائیان، م. حبیبی نوخندان، ل. مختاری، ش. ملبوسی و ش. عسکری. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه های آینده با کمک مدل MAGICC-SCENGEN. پژوهش های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۲، ص ۱۰۹-۹۱.
- ۴- محمدی، ح.، م. مقبل و ف. رنجبر. ۱۳۸۹. مطالعه تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC-SCENGEN. جغرافیا. شماره ۲۵، ص ۱۴۲-۱۲۵.
- 5- Hartkamp, A.D. and J.W. White. 2003. Comparison of three weather generators for crop modeling: A case study for subtropical environments. *Agricultural Systems*, 76(2): 539-560.
- 6- Hashmi, M.Z., A.Y. Shamseldin and B.W. Melville. 2009. Downscaling of future rainfall extreme events: a weather generator based approach. 18th World IMACS. MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17
- 7- Hashmi, M. Z., A.Y. Shamseldin and B.W.Melville. 2010. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *StochEnvironResRisk Assess.* DOI 10.1007.s00477-010-0416-x.
- 8- IPCC (2007) Climate Change 2007. the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Working Group I, The Physical Science Basis of Climate Change.
- 9- Riha, S.J. and D.S. Wilks. 1996. Impact of temperature and precipitation variability on crop model predictions. *Climatic Change*, 32(3): 293-311.
- 10- Semenov, M. 2007. Developing of high-resolution UKCUP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144-127.
- 11- Semenov, M and E. Barrow. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.

- 12- Semenov, M., R. Brooks, E. Barrow and C. Richardson. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Clim. Res.*, 10:95-107.
- 13- Special Report on Emission Scenarios (SRES). 2000. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index/htm/>
- 14- Wilby, R., C. Dawson and E. Barrow. 2002. SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environ. Model Soft.*, 17:145–157.
- 15- Wilby, R. L. 1999. The weather generation game: A review of stochastic weather models. *Progress in Physical Geography*, 23:329-357.

Prediction the Rainfall Changes with Downscaling LARS-WG and HadCM3 models in Kerman during the next 20 years (2030-2011)

F. Hashemin nasab¹, M. Mousavi baygi², B. Bakhtiari³, K. Davari²

Abstract

Atmospheric General Circulation Models have great scale and weak separate power so downscale stations have used. Therefore for downscale weather generator must be used. Using the output of general circulation models and weather generators can be used to simulate the regional climate. In this study, output data of HADCM3 atmospheric general circulation model with three climate change scenarios, A1B, A2 and B1 is downscale by the LARS-WG model in Kerman. Results has been assessed and analysed from the nine synoptic stations in Kerman in the recent period from 1991 to 2010 and future periods from 2011 to 2030. In LARS-WG model analysis, amount of error and real data evaluated for suitable region way and after that, rain changing, wet and dry spell length was surveyed. The results of the average rain during the next 20 years show that most rain be long Bam and Rafsanjan station with 26.5% and lowest rain belong to Kahnouj station with 11%. Results of this study show that the average annual increase in average annual rainfall is at all stations. Findings showed that during wet and dry spell lengths is growing for all stations in the period 2011-2030 in summer. Although winter rainfall is decreasing, but the average rainfall total is rising.

Keywords: Atmospheric General Circulation Models, Weather Generators, Downscale, Climate Change Scenarios.

¹ - MSc Agrometeorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (Corresponding author Email: farideh.hasheminasab@gmail.com)

² - Associated Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,

³ - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman,