

## پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از

### ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3

(مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

بتول اشرف<sup>\*۱</sup> - محمد موسوی بایگی<sup>۲</sup> - غلامعلی کمالی<sup>۳</sup> - کامران داوری<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۱

#### چکیده

به دلیل تفکیک فضایی کم یا ساده‌سازی برخی پدیده‌های خردمقیاس در مدل‌های گردش عمومی جو، این مدل‌ها نمی‌توانند تقریب درستی از شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه ارائه دهند، لذا بایستی خروجی آن‌ها تا حد ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس گردد. در این تحقیق داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 با به‌کارگیری مدل LARS-WG5 طبق سه سناریوی A1B، A2 و B1 تأیید شده IPCC ریزمقیاس شده و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان بارش در سه فصل پاییز، زمستان و بهار در تمام شهرهای استان به استثنای تربت جام که در هر سه فصل مذکور و نیز کاشمر که در پاییز دارای روند کاهشی می‌باشند، افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش بارندگی مربوط به شهر قوچان و کمترین آن متعلق به ایستگاه سرخس می‌باشد. دمای کمینه در همه فصول و طبق هر سه سناریوی مذکور در غالب شهرستان‌ها دارای روند افزایشی است. تنها استثنای این مورد نیز در شهرستان سرخس و در فصل پاییز بر مبنای سناریوی A1B رخ داده است. در رابطه با دمای بیشینه و ساعت آفتابی، هرچند سه سناریوی مطرح، الگوی یکسانی را تبیین نمی‌کنند اما به صورت کلی می‌توان گفت در ۲۰ سال آتی، دمای بیشینه استان خراسان رضوی، افزایش و میزان ساعت آفتابی کاهش خواهد یافت. همچنین با وجود تغییرات کمتر دمای بیشینه نسبت به دمای کمینه، افزایش دمای متوسط هوا در این دوره قابل انتظار می‌باشد. بنابراین طبق این نتایج، شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آتی تفاوت محسوس با شرایط فعلی خواهد داشت و برنامه ریزی‌های بلندمدت و استراتژیک برای مدیریت این شرایط، ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، مدل گردش عمومی جو، مدل LARS-WG5

#### مقدمه

مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی<sup>۵</sup> می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره بلندمدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC<sup>۶</sup> مدل‌سازی نمایند (۱۰، ۱۲ و ۱۴). اما ضعف عمده آن‌ها قدرت تفکیک مکانی کم و نیز ساده‌سازی‌هایی است که برای فرایندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند (۱۹). برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین، لازم است که خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم،

اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که عمدتاً به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است. مهم‌ترین اثر تغییر اقلیم تأثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی نظیر طوفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام خواهد بود (۹). معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های

۴ و ۲۰۱ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\* - نویسنده مسئول: Email: samaneh\_ashraf@yahoo.com

۳ - دانشیار گروه هواشناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

5- Atmospheric-Ocean General Circulation Model  
6- Intergovernmental Panel on Climate Change

همچنین بابائیان و همکاران (۱) در تحقیق دیگری با استفاده از داده‌های سناریوی A1 مدل گردش عمومی جو ECHO-G تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور را طی سه دهه آینده مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق، حاکی از افزایش بارش‌های سنگین و فوق سنگین به ترتیب به میزان ۱۳ و ۳۹ درصد و در نتیجه افزایش احتمال رخداد سیل در دهه‌های آتی می‌باشد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین سالانه دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت. در مطالعه عباسی و همکاران (۳) اقلیم استان خراسان جنوبی با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G و مدل مولد هواشناسی-LARS-WG در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ بررسی و بیان شد که میانگین سالانه دما و بارش در این استان به ترتیب در حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد و ۴ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین کمال و مساح بوانی (۴) با استفاده از خروجی سناریوی A2 مدل HADCM3 و ریزمقیاس‌نمایی توسط مدل SDSM نوسانات و مقادیر متوسط متغیرهای دما و بارش حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۶۹ - ۲۰۴۰ میلادی را شبیه‌سازی نموده و افزایش دما در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد و تغییرات بارش بین ۱۰- تا ۲۰ میلی‌متر را گزارش نمودند.

در مطالعه حاضر از داده‌های سه سناریوی A1B, A2 و B1 مدل گردش عمومی جو HADCM3 برای ارزیابی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۰ - ۲۰۱۱ با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل LARS-WG5 استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، استان خراسان رضوی در شمال شرقی ایران می‌باشد که موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱، نشان داده شده است.

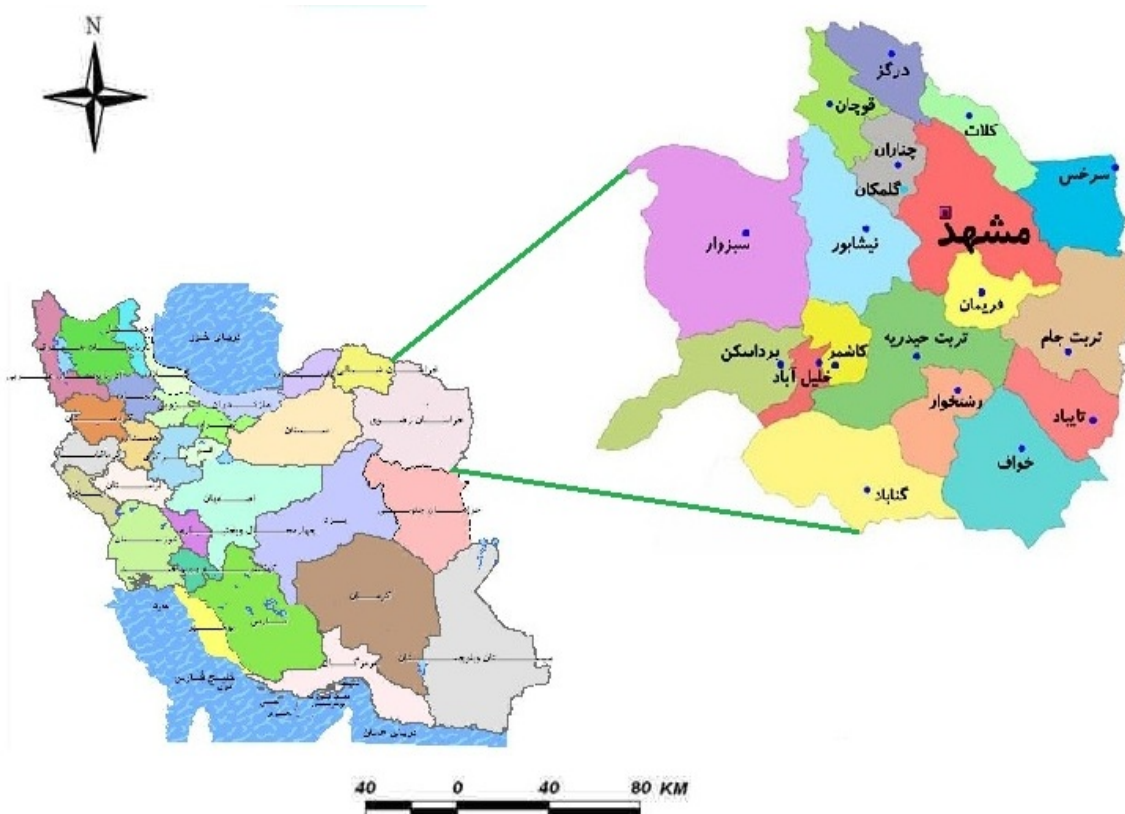
استان خراسان رضوی در منطقه معتدل شمالی قرار گرفته و از نظر موقعیت طبیعی به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود. بلندترین نقطه استان در ارتفاعات بینالود در شمال نیشابور با ارتفاع ۳۲۱۱ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه استان در دشت سرخس با ارتفاع ۲۳۵ متر از سطح دریا در حاشیه مرز ایران و ترکمنستان قرار دارد. بخش‌های شمالی منطقه، بیش‌تر کوهستانی هستند و بین آن‌ها دشت‌های حاصلخیز قرار گرفته است که به دلیل دارا بودن میزان بارندگی قابل توجه از شرایط مناسب کشاورزی برخوردار می‌باشند. اما بخش‌های جنوبی استان به سبب مجاورت با کویر و پست بودن ناحیه دارای میزان بارندگی کمی می‌باشند و شرایط مناسبی برای کشاورزی ندارند. اقلیم استان نیز به طور معمول خشک و نیمه خشک است.

ریزمقیاس<sup>۱</sup> شونند (۱۱). ریزمقیاس‌نمایی را می‌توان به دو روش دینامیکی و آماری انجام داد (۸). در ریزمقیاس‌نمایی آماری<sup>۲</sup> می‌توان از روش‌های متداول آماری مانند رگرسیون و همچنین مدل‌های مولد هواشناسی<sup>۳</sup> استفاده کرد (۱۶). در روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی<sup>۴</sup>، معادلات حاکم بر بسته‌هوا در شبکه‌های ریزتری از شبکه مدل گردش عمومی جو<sup>۵</sup> با استفاده از روش‌های آنالیز عددی از قبیل تفاضل محدود حل می‌شوند که در صورت استفاده از این روش می‌توان به تقیصه دوم مدل‌های گردش عمومی جو یعنی ساده‌سازی فرایندهای جوی نیز فائق آمد (۷ و ۱۷). در روش‌های آماری می‌توان در عرض چند ثانیه، ریزمقیاس‌نمایی را برای یک سایت یا ایستگاه مشخص در چندین دهه انجام داد در حالی که روش‌های دینامیکی معمولاً با محدودیت زمانی مواجه می‌باشند (۸) لذا استفاده از روش‌های آماری، خصوصاً در مواقعی که هزینه کم‌تر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است (۳). امروزه استفاده از انواع مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری مانند LARS-WG, SDSM, CLIMGEN و MET & ROLL برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف جهان معمول بوده و مطالعات زیادی نیز در این زمینه صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. مک‌کی و همکاران (۱۳) توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های آنتاریوی جنوبی در کانادا بررسی نمودند. در تحقیق دوبروسکی (۵) داده‌های تولید شده توسط مدل MET & ROLL در جمهوری چک مورد ارزیابی قرار گرفت. ویلی و همکاران (۱۸) مدل SDSM را برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش انگلستان و ارزیابی تغییرات فصلی بارش این کشور در شرایط تغییر اقلیم مورد استفاده قرار دادند. زمنف (۱۵) با استفاده از مدل LARS-WG سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نموده و قابلیت این مدل برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه را مورد تأیید قرار داد. الشمی و همکاران (۶) با استفاده از مدل‌های مولد هواشناسی، اثرات تغییر اقلیم در جنوب انگلستان را مورد مطالعه قرار داده و نتایج مشابهی را بیان نمودند. بابائیان و نجفی نیک (۲) توانمندی مدل LARS-WG را برای تولید داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در ایستگاه‌های منتخب خراسان بزرگ مورد ارزیابی قرار داده و با توجه به میانگین و انحراف معیار داده‌های تولید شده و مقایسه آن با داده‌های مشاهده شده دوره آماری بر قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی داده‌های روزانه تأکید نمودند.

- 1- downscale
- 2- Statistical downscaling
- 3- Weather generator models
- 4- Dynamical downscaling
- 5- General circulation model

گردش عمومی جو HADCM3 از مدل LARS-WG5 که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد، استفاده شده است. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود.

خصوصیات جغرافیایی و نیز نوع اقلیم (بر اساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی دومارتن و امبرژه) هریک از ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که داده‌های سایر ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در سطح استان به دلیل کم بودن تعداد سال‌های آماری، قابل استناد نبوده و در مطالعه حاضر منظور نشده‌اند. در این تحقیق جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- خصوصیات جغرافیایی و نوع اقلیم ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک استان خراسان رضوی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم (دومارتن)	نوع اقلیم (امبرژه)
تربت جام	۶۰° ۳۵' E	۳۵° ۱۵' N	۹۵۰/۴	خشک	خشک سرد
تربت حیدریه	۵۹° ۱۳' E	۳۵° ۱۶' N	۱۴۵۰/۸	نیمه خشک	خشک سرد
سبزوار	۵۷° ۴۳' E	۳۶° ۱۲' N	۹۷۷/۶	خشک	خشک سرد
سرخس	۶۱° ۱۰' E	۳۶° ۳۲' N	۲۳۵	خشک	خشک معتدل
قوچان	۵۸° ۳۰' E	۳۷° ۴' N	۱۲۸۷	نیمه خشک	نیمه خشک سرد
کاشمر	۵۸° ۲۸' E	۳۵° ۱۲' N	۱۱۰۹/۷	خشک	خشک معتدل
گلمکان	۵۹° ۱۷' E	۳۶° ۲۹' N	۱۱۷۶	نیمه خشک	خشک سرد
گناباد	۵۸° ۴۱' E	۳۴° ۲۱' N	۱۰۵۶	خشک	خشک سرد
مشهد	۵۹° ۲۸' E	۳۶° ۱۶' N	۹۹۹/۲	نیمه خشک	خشک سرد
نیشابور	۵۸° ۴۸' E	۳۶° ۱۶' N	۱۲۱۳	نیمه خشک	خشک سرد

مذکور تولید شد. در جدول ۲، خصوصیات مدل HADCM3 و سه سناریوی تغییر اقلیم مورد استفاده، نشان داده شده است. سپس خروجی مدل (داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی در ۲۰ سال آتی) میانگین‌گیری شده و نرمال ماهانه پارامترهای اقلیمی در دوره ۲۰ ساله تحت مطالعه بر اساس سه سناریوی تغییر اقلیم ذکر شده به دست آمد. در گام بعدی از تفاضل مقادیر نرمال ماهانه دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) از دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱)، تغییرات ماهانه پارامترهای مورد بررسی محاسبه شد. سرانجام با میانگین‌گیری از تغییرات ماهانه، تغییرات فصلی نیز به دست آمده و نمودارهای مربوطه رسم شد.

### نتایج و بحث

جدول ۳ نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه را نشان می‌دهد. چنان‌چه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مقدار ضریب تعیین در همه موارد از میزان قابل توجهی برخوردار می‌باشد. همچنین مقادیر شاخص‌های خطاسنجی نیز نسبتاً پایین می‌باشد که مؤید انطباق نسبی و قابل قبول مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده دوره پایه است. لذا با توجه به این موارد، قابلیت و توانایی مدل در داده‌سازی مورد تأیید قرار گرفته و پس از آن شبیه‌سازی داده‌ها برای ۲۰ سال آتی صورت گرفت. همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، تغییرات ماهانه پارامترهای مورد بررسی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ برای همه ایستگاه‌های استان خراسان رضوی محاسبه شده و با میانگین‌گیری از آن‌ها، تغییرات فصلی به دست آمد. با توجه به این که چهار پارامتر ۱۰ ایستگاه مورد مطالعه قرار گرفته است، امکان ارائه همه این نتایج در مقاله مقدور نیست، بنابراین ایستگاه مشهد به عنوان نمونه انتخاب شده و نتایج ماهانه آن به طور کامل در جدول ۴ و تغییرات فصلی آن در شکل ۲ ارائه شده است. نمودارهای تغییرات فصلی مربوط به بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی ۹ ایستگاه سینوپتیک دیگر به صورت موضوعی و توأمان به ترتیب در شکل های ۳ تا ۶ آمده است.

با نگاهی اجمالی به تغییرات ماهانه پارامترهای ایستگاه مشهد در جدول ۴، مشاهده می‌شود که بر اساس برآورد مدل، میزان بارندگی در اغلب ماه‌های سال به استثنای ماه آگوست در هر سه سناریو و ماه‌های سپتامبر و نوامبر در سناریوی اول، افزایش می‌یابد. همچنین دمای کمینه و بیشینه در اغلب ماه‌ها روند افزایشی داشته است و افزایش دمای کمینه معمولاً از افزایش دمای بیشینه بیشتر است. ساعت آفتابی این شهر نیز در بیشتر ماه‌ها کاهش خواهد یافت که منطبق با افزایش بارندگی ناشی از افزایش میزان ابرناکی است.

به طور کلی تولید داده توسط مدل LARS-WG5 در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارتند از کالیبره کردن داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید داده‌های هواشناسی برای دوره آتی. بر این اساس برای اجرای این مدل در تحقیق حاضر، ابتدا با در نظر گرفتن دوره بیست ساله ۲۰۱۰-۱۹۹۱ به عنوان دوره پایه، داده‌های مورد نیاز مدل شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی ۱۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک نام برده شده در جدول ۱ در این دوره آماری از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله کالیبره کردن به پایان رسید. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌های ضریب تعیین  $(R^2)$ ، جذر میانگین مربعات خطا  $(RMSE)$  و میانگین خطای مطلق  $(MAE)$  که روابط آن‌ها در ادامه آمده است، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی (مشاهده شده) موجود در دوره پایه گردید (جدول ۳).

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

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

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

در این روابط  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب  $i$ امین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی شده توسط مدل،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$

میانگین کل داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  در جامعه آماری و  $n$  تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG5 در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی با توجه به مقادیر بالای ضریب تعیین و مقادیر پایین شاخص‌های خطاسنجی محاسبه شده، این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تولید داده مصنوعی برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از سه سناریوی A1B، A2 و B1 (به ترتیب بدینانه، متوسط و خوشبینانه) تأیید شده توسط IPCC، اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای

- 1- Coefficient of determination
- 2- Root Mean square error
- 3- Mean absolute error

جدول ۲- ویژگی های مدل گردش عمومی جو HADCM3 و سناریوهای تغییر اقلیم (۹)

طراح مدل	مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی - بریتانیا	خصوصیات مدل
متغیرهای پیشگویی جوی متغیرهای پیشگویی اقیانوسی قدرت تفکیک جوی قدرت تفکیک اقیانوسی قدرت تفکیک سطحی	دما، مؤلفه های افقی سرعت باد، فشار سطح، ظرفیت آب مایع، آب مایع موجود دما، شوری، مؤلفه های افقی سرعت باد در جو باروکلینیک، عمق لایه اختلاط عرض جغرافیایی ۲/۷۵ و طول جغرافیایی ۳/۷۵ درجه عرض جغرافیایی ۱/۲۵ و طول جغرافیایی ۱/۲۵ درجه استوا: ۴۱۷ کیلومتر × ۲۸۷ کیلومتر عرض ۴۵ درجه: ۲۹۵ کیلومتر × ۲۸۷ کیلومتر	خصوصیات مدل
A <sub>1</sub> B	رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن و پس از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری های نوین و مؤثر	خصوصیات سناریوهای تغییر اقلیم
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه ای در سراسر جهان همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد (کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر)	

جدول ۳- مقادیر آماره های واسنجی جهت ارزیابی مدل LARS-WG5 در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱)

ایستگاه	آماره	بارش	دمای کمینه	دمای بیشینه	ساعت آفتابی
	R <sup>2</sup>	0.9719	0.9989	0.9982	0.9945
ترت جام	RMSE	2.6987	0.2824	0.4028	0.2054
	MAE	2.1817	0.2533	0.3200	0.1658
ترت	R <sup>2</sup>	0.9627	0.9994	0.9991	0.9959
حیدریه	RMSE	5.9880	0.2473	0.3349	0.2416
	MAE	4.2892	0.2133	0.2758	0.1683
	R <sup>2</sup>	0.9867	0.9991	0.9987	0.9965
سبزوار	RMSE	1.8850	0.2675	0.3939	0.1339
	MAE	1.4567	0.2275	0.3417	0.1092
	R <sup>2</sup>	0.9736	0.9990	0.9991	0.9968
سرخس	RMSE	4.1366	0.3030	0.6338	0.2125
	MAE	3.1617	0.2392	0.5333	0.1400
	R <sup>2</sup>	0.9684	0.9994	0.9981	0.9958
قوچان	RMSE	4.3299	0.1874	0.4604	0.1601
	MAE	3.4042	0.1475	0.4025	0.1217
	R <sup>2</sup>	0.9816	0.9992	0.9993	0.9976
کاشمر	RMSE	2.6127	0.2508	0.3049	0.1288
	MAE	1.8033	0.2108	0.2742	0.1033
	R <sup>2</sup>	0.9733	0.9989	0.9983	0.9942
گلمکان	RMSE	2.5181	0.2391	0.4178	0.2032
	MAE	1.9333	0.1925	0.3750	0.1767
	R <sup>2</sup>	0.9944	0.9996	0.9988	0.9956
گناباد	RMSE	3.3976	0.2289	0.4158	0.1638
	MAE	2.7783	0.1950	0.3317	0.1108
	R <sup>2</sup>	0.9828	0.9991	0.9984	0.9971
مشهد	RMSE	3.0639	0.2507	0.4769	0.1900
	MAE	2.4258	0.1833	0.3667	0.1550
	R <sup>2</sup>	0.974	0.9994	0.9985	0.9893
نیشابور	RMSE	4.2759	0.2149	0.4375	0.2931
	MAE	2.8842	0.1925	0.3733	0.2017

جدول ۴- نرمال‌های ماهانه حالت پایه و ۲۰ سال آتی و تغییرات ماهانه پارامترهای اقلیمی ایستگاه مشهد در ۲۰ سال آتی طبق سناریوهای مدل

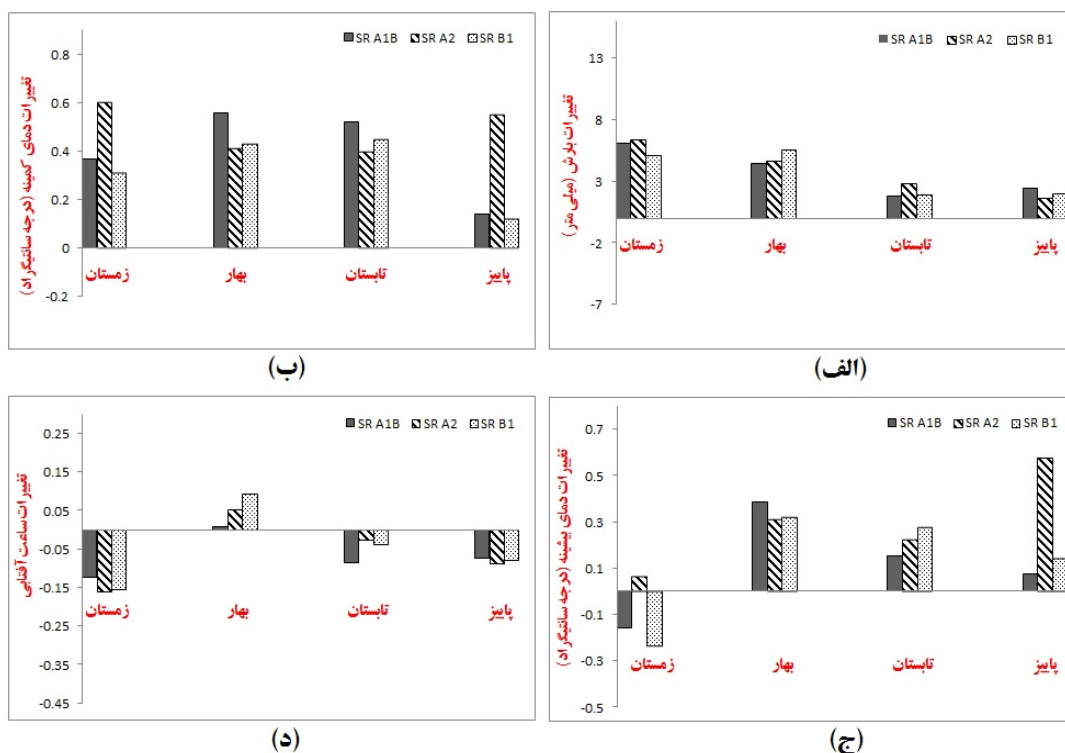
HADCM3													
Dec	Nov	Oct	Sep	Agu	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	سناریو	پارامتر
22.67	16.11	4.05	3.84	0.92	1.95	6.22	30.31	38.16	56.55	32.58	31.61	حالت پایه	
27.88	16.08	6.18	3.76	0.76	7.4	7.38	32.3	48.31	70.81	33.21	34.85	A1B	نرمال بارش
27.28	16.17	4.22	5.97	0.79	8.28	7.59	35.84	45.12	70.58	32.63	36.72	A2	
27.86	16.24	4.68	6.01	0.77	5.61	11.36	34.88	44.99	64.77	34.06	37.13	B1	
5.21	-0.03	2.13	-0.08	-0.16	5.45	1.16	1.99	10.15	14.26	0.63	3.24	A1B	تغییرات
4.61	0.06	0.17	2.13	-0.13	6.33	1.37	5.53	6.96	14.03	0.05	5.11	A2	
5.19	0.13	0.63	2.17	-0.15	3.66	5.14	4.57	6.83	8.22	1.48	5.52	B1	
0.03	3.68	8.47	13.73	18.61	20.43	18.23	13.72	9.46	3.94	-0.23	-2.22	حالت پایه	
0.08	3.9	8.62	14.12	18.67	21.54	18.64	14.31	10.13	4.62	-0.14	-1.89	A1B	نرمال دمای کمینه
0.72	4.35	8.76	14.17	18.72	21.07	18.58	14.22	9.85	4.92	0.37	-2	A2	
0.29	3.73	8.52	14.23	18.88	21.01	18.48	14.2	10.02	4.74	-0.26	-2.06	B1	
0.05	0.22	0.15	0.39	0.06	1.11	0.41	0.59	0.67	0.68	0.09	0.33	A1B	تغییرات
0.69	0.67	0.29	0.44	0.11	0.64	0.35	0.5	0.39	0.98	0.6	0.22	A2	
0.26	0.05	0.05	0.5	0.27	0.58	0.25	0.48	0.56	0.8	-0.03	0.16	B1	
10.48	16.07	23.45	29.43	33.92	34.81	32.83	27.07	21.72	15.07	10.36	7.55	حالت پایه	
10.42	16.44	23.36	29.59	33.87	35.16	33.44	27.57	21.77	15.35	9.77	7.38	A1B	نرمال دمای بیشینه
11.12	17.07	23.54	29.79	33.99	35.06	33.26	27.48	21.81	15.65	10.15	7.37	A2	
10.69	16.44	23.29	29.84	34.15	35	33.16	27.45	21.98	15.47	9.5	7.3	B1	
-0.06	0.37	-0.09	0.16	-0.05	0.35	0.61	0.5	0.05	0.28	-0.59	-0.17	A1B	تغییرات
0.64	1	0.09	0.36	0.07	0.25	0.43	0.41	0.09	0.58	-0.21	-0.18	A2	
0.21	0.37	-0.16	0.41	0.23	0.19	0.33	0.38	0.26	0.4	-0.86	-0.25	B1	
4.73	6.21	8.36	10.39	11.8	12.1	11.53	9.07	7.02	5.46	5.29	4.58	حالت پایه	
4.62	6.16	8.3	10.52	11.63	11.88	11.51	9.26	6.87	5.38	5.07	4.51	A1B	نرمال ساعت آفتابی
4.53	6.12	8.39	10.54	11.6	12.07	11.44	9.4	6.94	5.19	5.06	4.6	A2	
4.64	6.08	8.35	10.52	11.6	12.06	11.41	9.46	7.03	5.3	5.04	4.53	B1	
-0.11	-0.05	-0.06	0.13	-0.17	-0.22	-0.02	0.19	-0.15	-0.08	-0.22	-0.07	A1B	تغییرات
-0.2	-0.09	0.03	0.15	-0.2	-0.03	-0.09	0.33	-0.08	-0.27	-0.23	0.02	A2	
-0.09	-0.13	-0.01	0.13	-0.2	-0.04	-0.12	0.39	0.01	-0.16	-0.25	-0.05	B1	

ایستگاه مذکور معقول به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است که موارد گفته شده در بالا در مورد هر سه سناریو صادق است. شکل ۴ نشان می‌دهد که بر مبنای هر سه سناریوی مطرح، در همه فصول افزایش نسبی دمای کمینه در تمامی شهرستان‌های استان در ۲۰ سال آتی رخ خواهد داد. تنها مورد استثنا را می‌توان در پاییز شهرستان سرخس و بر مبنای سناریوی A1B که در واقع معرف بدبینانه‌ترین حالت تغییر اقلیم می‌باشد، مشاهده نمود.

در شکل ۵ مشاهده می‌شود که در رابطه با دمای بیشینه، سه سناریوی مطرح، الگوی مشخصی را تبیین نمی‌کنند اگرچه به صورت کلی می‌توان افزایش نسبی دمای بیشینه را در اغلب ایستگاه‌ها مشاهده نمود. همچنین می‌توان گفت که تغییرات دمای بیشینه کمتر از تغییرات دمای کمینه خواهد بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش نسبی دمای متوسط هوای استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آینده انتظار ناهنجاری نیست. شکل ۶ نشان می‌دهد که تغییرات ساعت آفتابی که تابعی از ابرناکی آسمان است در همه ایستگاه‌ها از روند یکسانی پیروی نمی‌کند.

تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی ایستگاه مشهد (شکل ۲) نیز معرف افزایش بارش و دمای کمینه در هر سه سناریو در همه فصل‌ها می‌باشد. دمای بیشینه نیز همین روند را به استثنای دو سناریوی A1B و B1 در فصل زمستان نشان داده است. ساعت آفتابی نیز در همه فصل‌ها کاهش یافته به جز فصل بهار که افزایش بسیار جزئی در آن دیده می‌شود.

چنانچه ذکر شد، تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی در سایر ایستگاه‌های استان به ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۶ به طور موضوعی و جهت مقایسه با یکدیگر نشان داده شده است. در شکل ۳ مشاهده می‌شود که در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میزان بارش در سه فصل پاییز، زمستان و بهار در تمام شهرهای استان به استثنای تربت جام که در هر سه فصل مذکور و نیز کاشمر که در پاییز دارای روند کاهشی می‌باشند، افزایش خواهد یافت. همچنین تغییرات بارش فصل تابستان در همه ایستگاه‌ها ناچیز خواهد بود. بیشترین میزان افزایش بارندگی مربوط به شهر قوچان و کمترین آن متعلق به ایستگاه سرخس می‌باشد. این امر با توجه به شرایط جغرافیایی و خصوصیات توپوگرافی دو



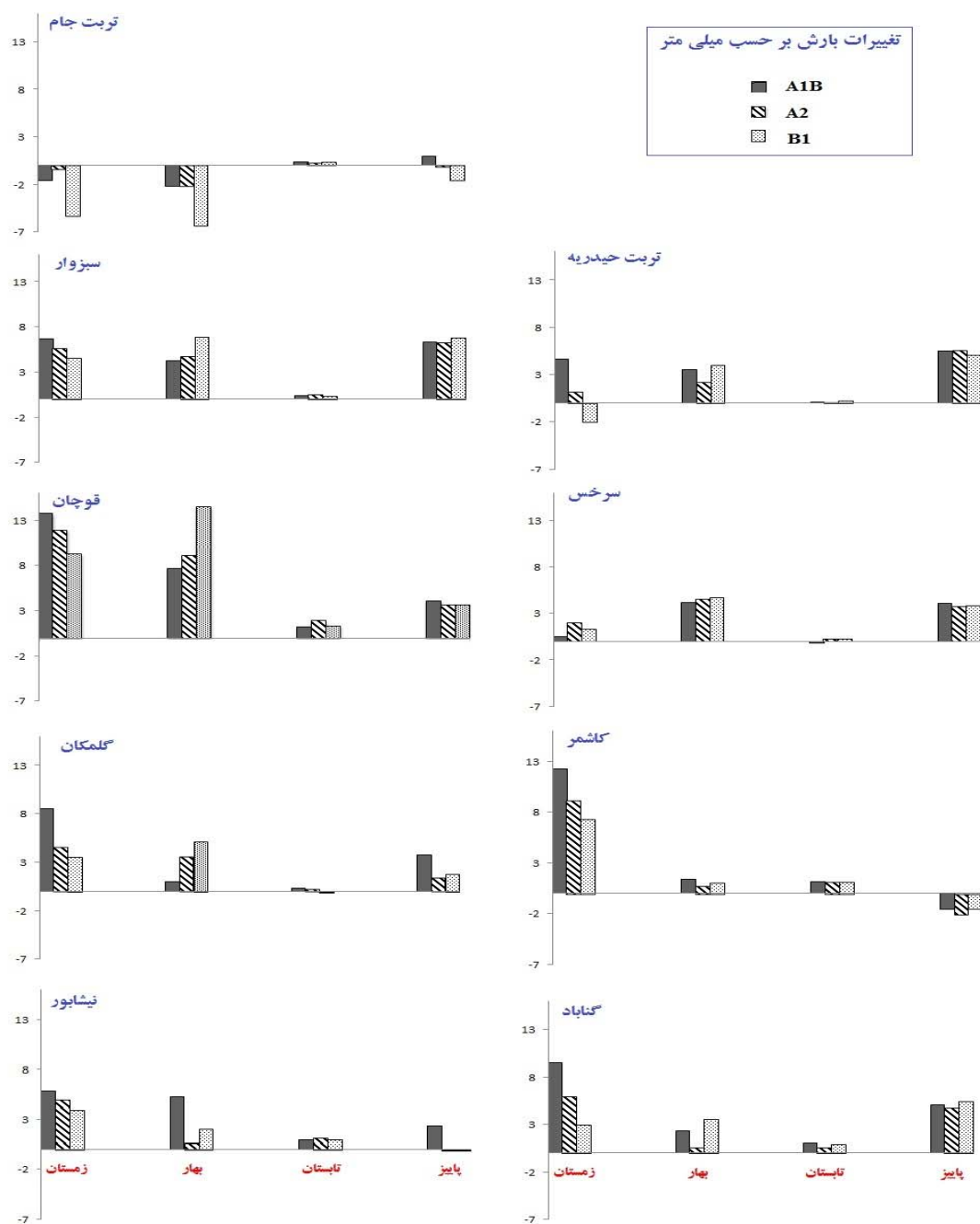
شکل ۲- پیش بینی تغییرات فصلی (الف) بارش، (ب) دمای کمینه، (ج) دمای بیشینه و (د) ساعت آفتابی ایستگاه مشهد در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای مدل HADCM3

در این دوره مواجه خواهد شد. ضمن این که قدر مطلق تغییرات دمای کمینه نسبت به تغییرات دمای بیشینه خواهد بود. این نتایج نشان می دهند که شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آتی تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت که در توافق با نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط بابائیان و همکاران (۱)، عباسی و همکاران (۳) و کمال و مساح بوانی (۴) در سایر مناطق کشور می باشد. بنابراین با توجه به این امر و نیز آگاهی از اثرات منفی مستقیم و غیرمستقیم تغییر اقلیم بر بخش های مختلف اعم از کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد، برنامه ریزی های بلندمدت و استراتژیک برای مدیریت شرایط جدید استان، امری اجتناب ناپذیر بوده و ضروری به نظر می رسد.

این امر با توجه به شرایط جغرافیایی استان که معمولاً در فصل های مختلف سال متأثر از جریان های مختلف جوی از سمت غرب، شمال و جنوب می باشد، طبیعی به نظر می رسد. با این وجود می توان گفت که اغلب شهرهای استان در فصل سرد سال با کاهش ساعت آفتابی همراه خواهند بود که این مطلب نیز منطبق بر افزایش بارندگی ناشی از ابرناکی آسمان است.

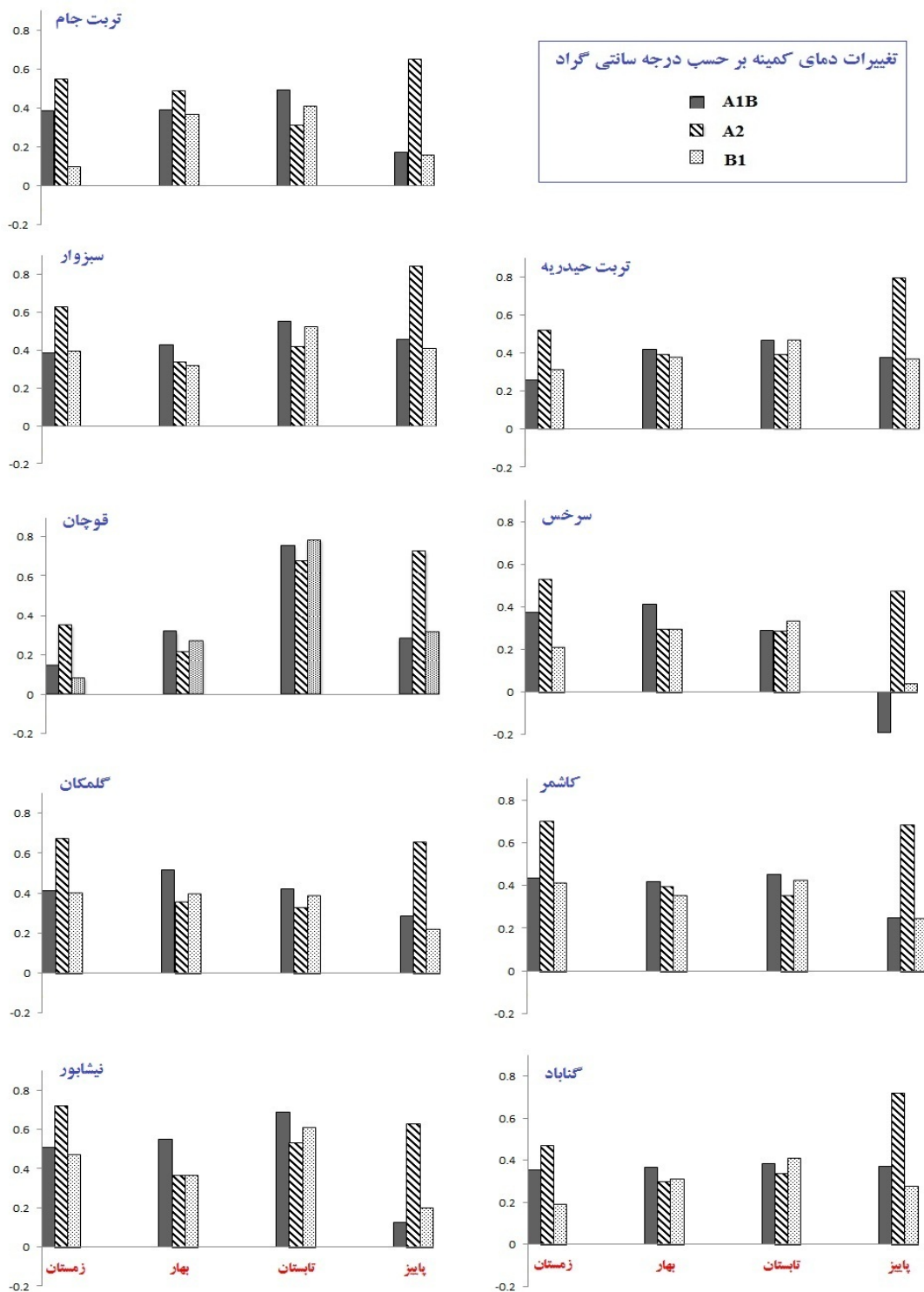
### نتیجه گیری

در این پژوهش ابتدا با اجرای مدل LARS-WG5 داده های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی در ایستگاه های منتخب استان خراسان رضوی شبیه سازی شد که نتایج حاصل، حاکی از توانمندی بالای این مدل مولد هواشناسی برای تولید داده های روزانه پارامترهای ذکر شده و مؤید تحقیقات صورت گرفته توسط زینف (۱۵)، الشمی (۶) و بابائیان و نجفی نیک (۲) می باشد. سپس با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده های مدل HADCM3 بر اساس سه سناریوی تغییر اقلیم A1B، A2 و B1 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ مشخص شد که استان خراسان رضوی با افزایش نسبی دمای متوسط هوا، میزان بارش و کاهش ساعت آفتابی

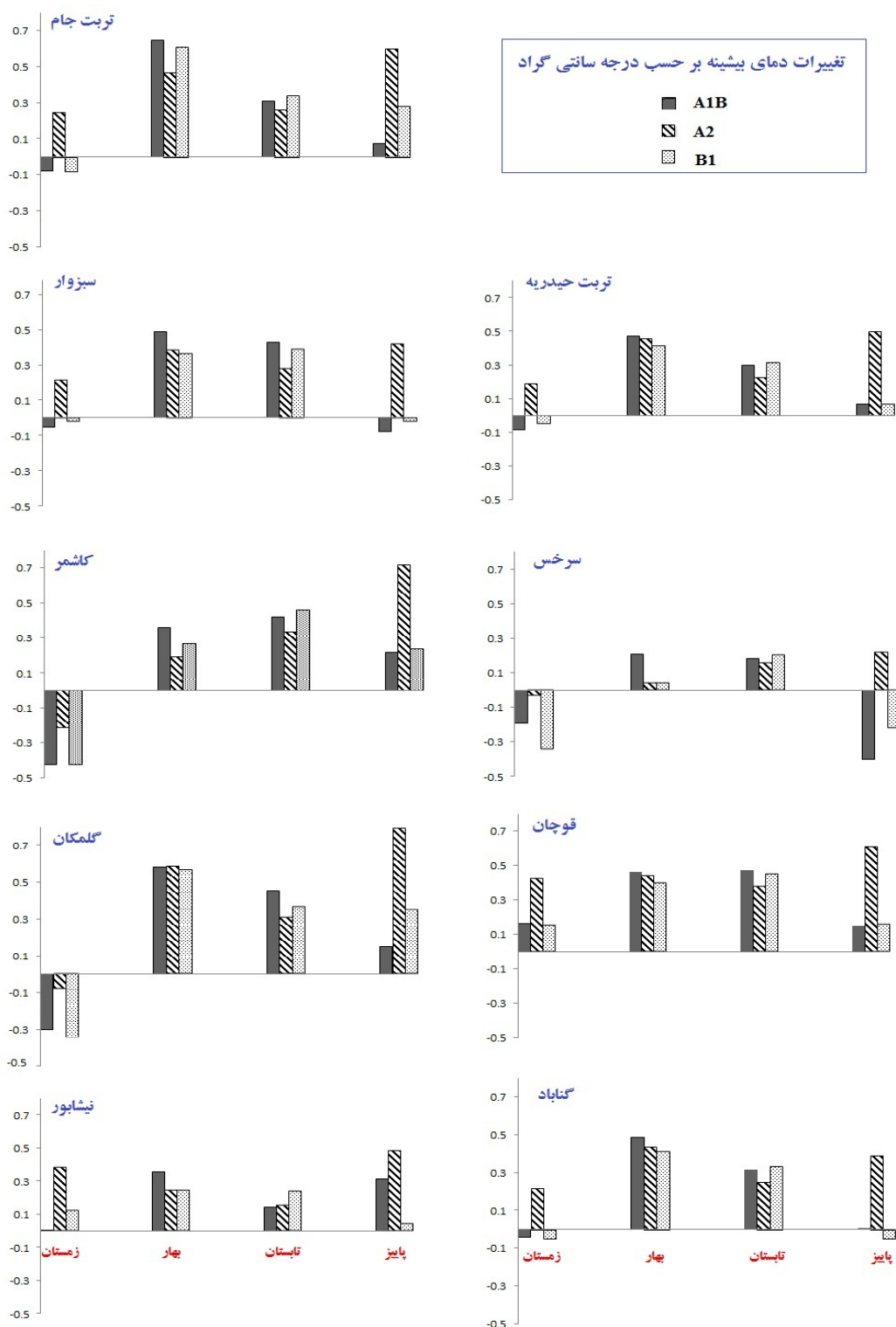


شکل ۳- پیش‌بینی متوسط تغییرات فصلی بارش استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری سناریوهای مدل HADCM3

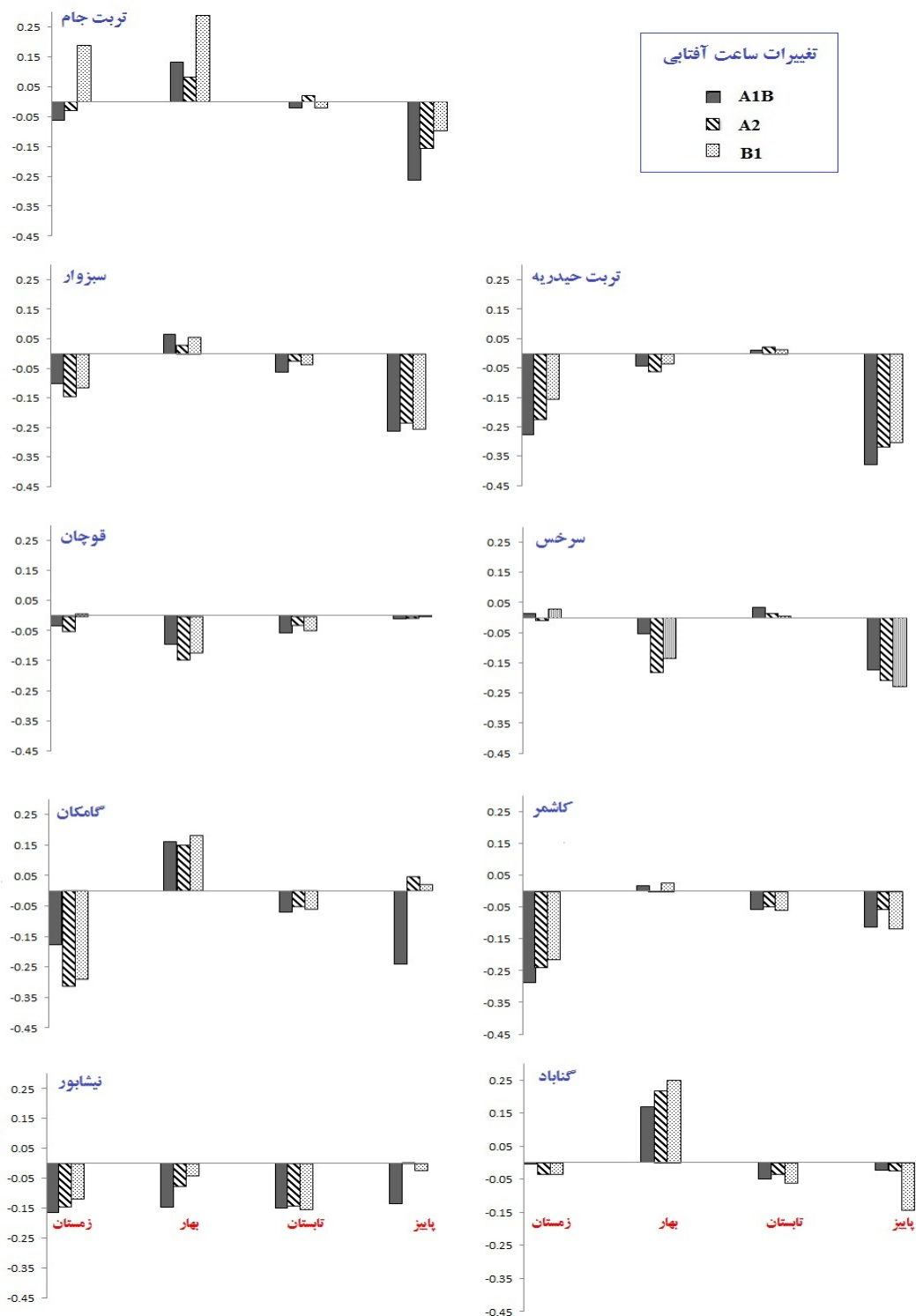




شکل ۴- پیش بینی متوسط تغییرات فصلی دمای کمینه استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای مدل HADCM3



شکل ۵- پیش‌بینی متوسط تغییرات فصلی دمای پیشینه استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمای آماری سناریوهای مدل HADCM3



شکل ۶- پیش بینی متوسط تغییرات فصلی ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری سناریوهای مدل HADCM3

## منابع

- ۱- بابائیان ا، نجفی نیک ز، عباسی ف، حبیبی نوخندان م، ادب ح، و ملبوسی ش. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو *ECHO-G* مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ۱۵۲-۱۳۵.
- ۲- بابائیان ا، و نجفی نیک ز. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل *LARS-WG* برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری (۲۰۰۳-۱۹۶۱). مجله نیوار، شماره ۶۲، ۶۵-۴۹.
- ۳- عباسی ف، ملبوسی ش، بابائیان ا، اثمري م. و برهانی ر. ۱۳۸۹. پیش بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل *ECHO-G* مجله آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۲، ۲۳۳-۲۱۸.
- ۴- کمال ع. و مساح بوانی ع. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی. مجله آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۵، ۹۳۱-۹۲۰.
- 5- Dubrovsky M. 1996. Validation of the stochastic Weather Generator Met & ROLL, Meteorologicko Zpravy, 149, 1362 – 1380.
- 6- Elshamy M.E., Wheeler H.S., Gedney N., and Huntingford C. 2005. Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. journal of hydrology, 326, 1-24.
- 7- Haltiner G., and Williams R. 1980. Numerical Prediction and Dynamic Meteorology, John Wiley & Sons, 115-120.
- 8- Hewitson B.C., and Crane R.G. 1996. Climate downscaling: Techniques and application. Climate Research, 7, 85-95.
- 9- IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press, 881 PP.
- 10- IPCC. 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Cambridge University Press, 878 PP.
- 11- Johnson G.L., Hanson C.L., Hardegree S.P., and Ballard E.B. 1996. Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models. Journal Applied Meteorology, 35, 1878-1896.
- 12- Lane M.E., Kirshen P.H., and Vogel R.M. 1999. Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. ASCE, Journal of Water Resource Planning and Management. 125(4): 194-204.
- 13- McKee T.B., Doesken N.J., and Kleist J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time. American Meteorological Society, Massachusetts, 233-236.
- 14- Mitchell T.D. 2003. Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. Climatic Change, 60: 217-242.
- 15- Semenov M.A., and Barrow E.M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.
- 16- Weichert A., and Burger G. 1998. Linear versus nonlinear techniques in downscaling. Climate Research, 10, 83-93.
- 17- Wilby R.L., and Harris I. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research, 42, 121- 134.
- 18- Wilby R.L., Conway D., and Jones P.D. 2002. Prospects for downscaling seasonal precipitation variability using conditioned weather generator parameters, hydrological processes. 16, 1215-1234.
- 19- Wilby R.L., Wigley T.M.L., Conway D., Jones P.D., Hewitson B.C., Main J., and Wilks D.S. 1998. Statistical downscaling of General Circulation Model output: A comparison of methods. Water Resources Reserch, 34, 2995-3008.



## Prediction of Seasonal Variations of Climatological Parameters over Next 20 Years by Using Statistical Downscaling Method of HADCM3 Data (Case Study: Khorasan Razavi Province)

B. Ashraf<sup>1\*</sup> - M. Mousavi Baygi<sup>2</sup> - G.A. Kamali<sup>3</sup> - K. Davari<sup>4</sup>

Received:18-4-2011

Accepted:23-7-2011

### Abstract

Due to low spatial resolution or simplifying of some micrometeorological phenomena, atmospheric general circulation models are not able to give a good estimation for weather conditions over study area. So their outputs should downscale into weather stations scales. In this research data of HADCM3 downscaled by using LARS-WG5 with three scenarios, confirmed by IPCC including A1B, A2 and B1 and seasonal variations of precipitation, min temperature, max temperature and sunshine hours of Khorasan Razavi province were investigated over 2011- 2030. Results show that the amount of precipitation in all stations will increase in autumn, winter and spring except Torbat-jam. Also the amount of precipitation in Kashmar during the autumn will decrease. The maximum and minimum increases in precipitation are belonging to Ghoochan and Sarakhs respectively. The results also show that the minimum temperature in all seasons and under three scenarios indicate rising trend in most cities. The only exception in this case occurred in autumn for Sarakhs based on A1B scenario. About maximum temperature and sunshine hours, although three scenario would not explain the same pattern, but generally in the next 20 years, the maximum temperature of Khorasan Razavi province, will increase and sunshine hours will decrease. Also despite the variation of maximum temperature is less than minimum temperature, is expected increase of average air temperature in this period. So according to these results, climatic conditions of Khorasan Razavi province in the next 20 years will have noticeable different with the present conditions and seems necessary, long-term and strategic planning to manage this situation.

**Keywords:** Climate change, Downscaling, General circulation model, LARS-WG5 model

1,2,4- MSc Student and Associated Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(\*- Corresponding Author Email: samaneh\_ashraf@yahoo.com)

3- Associated Professor, Department of Meteorology, Faculty of Science, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran