

اثر پدیده‌ی تغییر اقلیم بر فراسنجه‌های اقلیمی همدان

محمد تقی اسدی^۱

حمید زارع ایبانه^{*۲}

zare@basu.ac.ir

نسورین دلاور^۱

آذر اسدی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: فرآیند تغییر اقلیم به ویژه تغییرات دما و بارش مهم‌ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است. چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی و صنایع بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند.

روش بررسی: در پژوهش حاضر از داده‌های خروجی پنج مدل گردش عمومی جو GFCM21، HADCM3، INCM3، IPCM4 و NCCCSM برای بررسی تغییرات چهار فراسنجه‌ی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش وساعت آفتابی همدان در دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ استفاده شد. برای این منظور با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و لحاظ سه سناریوی A1B، A2 و B1، تغییرات ماهانه‌ی فراسنجه‌ها محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد به‌طور متوسط، بیش‌ترین افزایش دمای کمینه مربوط به مدل GFCM21 تحت سناریوی A1B، برابر ۲/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و کم‌ترین آن در مدل INCM3 تحت سناریوی B1 معادل ۱ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. بیش‌ترین کم‌ترین افزایش دمای بیشینه به‌ترتیب به سناریوی A1B و B1 مدل GFCM21 با ۲/۴ و ۱/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش تعلق داشت. بیش‌ترین افزایش بارش مربوط به سناریوی B1 مدل IPCM4 به‌مقدار ۱۵/۸ درصد و بیش‌ترین کاهش در مدل GFCM21 تحت سناریوی A1B معادل ۱۳ درصد بود. بیش‌ترین افزایش تابش خورشیدی در مدل HADCM3 تحت سناریوی A1B با ۲۴ درصد و کم‌ترین مقدار آن در سناریوی A2 مدل NCCCSM به‌مقدار ۳/۱۷ درصد کاهش مشاهده گردید.

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد دمای کمینه و بیشینه در دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ افزایش می‌یابد. تغییرات بارش، هم به‌صورت افزایشی و هم به‌صورت کاهشی دیده شد. تغییرات ساعت آفتابی نیز بسیار کم و نامحسوس است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، مدل‌های گردش عمومی جو، LARS-WG، همدان.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران.

۲- استادگروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران (مسوول مکاتبات).

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

Climate Change Phenomenon Effect on the Hamadan Climate Parameters

Mohammadtaghi Asadi¹

Hamid Zareabyaneh^{2*}

zare@basu.ac.ir

Nasrin Delavar¹

Azar Asadi³

Admission Date: January 18, 2017

Date Received: October 8, 2016

Abstract

Background and Objective: Process of climate change, particularly changes in temperature and precipitation; have raised the most discussion in the realm of environmental science. Human systems that are dependent on climatic elements such as agriculture and industry were designed based on stable climate.

Method: In this study the output of general circulation models (GFCM21, HADCM3, INCM3, IPCM4 and NCCCSM) was used to simulate the climate parameters (minimum temperature, maximum temperature, precipitation and sunshine hours) in Hamadan station during 2046-2065. Three scenarios A1B, A2 and B1 were considered. Monthly changes of climate parameters were calculated by LARS-WG model.

Findings: The results showed that the most increasing in minimum temperature were seen under A1B scenario of GFCM21 model (2.5°C). The least increasing was related to INCM3 under B1 scenario (1°C). The highest and lowest increasing in maximum temperature were seen in GFCM21 model under A1B and B1 scenarios by 2.4 and 1.4°C, respectively. B1 scenario of IPCM4 model showed the highest increase in precipitation by 15.8 percent and A1B scenario of GFCM21 model reported the highest decrease by 13 percent. Solar radiation project by HADCM3 model, A1B scenario showed the most increase about 24 percent and based on NCCCSM model, A2 scenario lowest increase (by 13 percent) was seen.

Discussion and Conclusion: The results of this study indicated minimum and maximum temperatures will increase in period of 2046-2065. Both increases and decreases in precipitation were seen. Also variations sun hour is very little.

Key Words: Climate Change, Downscaling, General Circulation Models, LARS-WG, Hamadan

1- Graduate M.S.c in Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamadan

2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamadan
**(Corresponding Author)*

3- Graduate M.S.c in Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resource, University of Razi, Kermanshah

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه‌ی اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره‌ی زمین شده که به این پدیده، تغییر اقلیم^۱ اطلاق می‌شود (۱). فرآیند تغییر اقلیم به ویژه تغییرات دما و بارش مهم‌ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است. چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند. همچنین این پدیده بر تمامی فرآیندهای منابع طبیعی و به تبع آن بر زندگی بشر تأثیرگذار است (۲). با توجه به این که گرمایش جهانی، تغییرات اقلیمی و محیطی ناشی از آن هم‌چون ذوب شدن یخ و برف‌ها در نقاط مختلف کره‌ی زمین، بالا آمدن سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها و افزایش مخاطرات طبیعی، برای حیات انسان آثار مخرب بسیاری دارد بنابراین بررسی شرایط اقلیمی حال و آینده‌ی مناطق مختلف دارای اهمیت می‌باشد (۳). برای درک ماهیت پیچیده جو و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده باید از روابط کمی بین پارامترهای مؤثر استفاده شود. معتبرترین ابزار بررسی اثرات این پدیده بر سامانه‌های گوناگون، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده با مدل‌های گردش عمومی جو- اقیانوسی است. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره‌ی بلندمدت از سناریوهای تأیید شده‌ی هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم^۲ مدل‌سازی کنند (۴). از آنجایی که اجرای این مدل‌ها برابری دوره‌ی زمانی طولانی مدت نیازمند وقت زیاد و سرعت‌های بالای پردازش است، برای چیره شدن بر این مشکل باید ساده‌سازی‌هایی از جمله کاهش تفکیک فضایی و حذف برخی از فرآیندهای فیزیکی و ترمودینامیکی در مقیاس خرد صورت گیرد (۵). روش‌های مختلفی مانند روش‌های دینامیکی و روش‌های آماری برای کوچک مقیاس کردن خروجی مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد.

استفاده از روش‌های آماری، به ویژه در مواقعی که هزینه‌ی کم‌تر و ارزیابی سریع‌تر مورد نیاز باشد، قابلیت‌های بیش‌تری دارد.

مطالعات متعددی در ارتباط با بررسی تأثیرات تغییر اقلیم صورت گرفته است. دوستی و همکاران (۱۳۹۲) شاخص‌های اقلیمی حوضه‌ی آبخیز تمر استان گلستان را در شرایط تغییر اقلیم دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با استفاده از مدل HADCM3 تحت دو سناریوی A2 (سناریوی متوسط، مبین رشد سریع جمعیت جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن) و A1B (سناریوی بدبینانه، ترسیم‌کننده جهانی با رشد سریع اقتصادی به همراه رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر) بررسی کردند. نتایج نشان داد که میانگین دما تحت دو سناریوی مذکور به ترتیب ۲/۴۸ و ۲/۴۳ درجه سانتی‌گراد و بارش ۱۶ و ۲ درصد افزایش دارد. لیکن ساعت آفتابی کاهش خواهد یافت (۴). رجبی و شعبانلو (۱۳۹۰) با مطالعه‌ی تغییرات چند شاخص اقلیمی در کرمانشاه بر اساس مدل NCCCSM تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 (سناریوی خوش‌بینانه، بیان‌گر همگرایی جمعیت در سطح جهان) نشان دادند مقادیر دما در دوره‌های مختلف اقلیمی افزایشی و بارش، کاهش است (۶). مهسافر و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر سطح آب دریاچه‌ی ارومیه پرداختند. بدین منظور از مدل HADCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 استفاده شد. نتایج نشان داد در هر دو سناریو، افزایش دما و کاهش سطح آب دریاچه، قابل‌انتظار است (۷). سادی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ی تأثیر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی را در مدیترانه با استفاده از سناریوی A1B ارزیابی کردند. نتایج، کاهش کلی بارش سالانه به میزان $55/1 \pm 39/1$ میلی‌متر، افزایش درجه حرارت هوا به میزان $1/57 \pm 0/57$ درجه سانتی‌گراد و افزایش تبخیر و تعرق مرجع سالانه حدود $92/3 \pm 42/1$ میلی‌متر را نشان داد (۸). به منظور شبیه‌سازی تغییرات پارامتر اقلیمی تشعشع خورشیدی در نیجریه بر اثر تغییرات مقدار CO_2 در سه دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ نسبت به

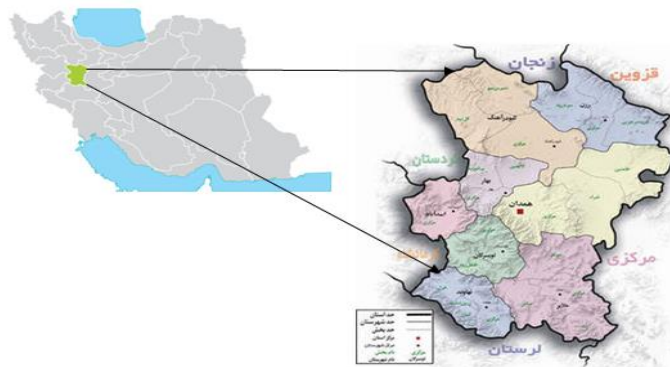
1- Climate change

2- International Panel in Climate Change

در آینده گرم‌تر و خشک‌تر خواهد شد (۱۲). با توجه به واقع شدن کشور ایران در این منطقه، لازم است چنین پژوهش‌هایی در نقاط مختلف کشور انجام شود تا بر اساس یافته‌های آن‌ها برنامه‌ریزی‌های کلان مدیریتی جهت ارایه راهکارهای مناسب برای مقابله با عوارض منفی این پدیده و سازگاری با آن اعمال گردد. پژوهش حاضر در همین راستا و به منظور ارزیابی تغییرات اقلیمی در سال‌های آتی در منطقه‌ی همدان صورت گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

استان همدان با مساحت ۱۹۳۶۸ کیومترمربع، ۲/۱ درصد از کل مساحت کشور را دربرمی‌گیرد. این استان بین مدارهای ۵۹' ۳۳° تا ۴۴' ۳۵° عرض شمالی و ۴۷' ۴۷° تا ۳۰' ۴۹° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. به استناد گزارش‌های ۲۰ ساله ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان، بیشینه‌ی مطلق درجه حرارت هوا در این ایستگاه ۳۹/۸، کمینه‌ی مطلق آن ۳۱/۱- بامیانگین دمای ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. ماه‌های تیر و مرداد به‌عنوان گرم‌ترین ماه سال با بیشینه دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد و دی و بهمن، سردترین ماه‌های سال، با میانگین ۲۱/۳- درجه سانتی‌گراد می‌باشند. به‌همین ترتیب میزان بارندگی سالانه بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است که در ماه‌های مختلف سال متغیر می‌باشد. استان همدان با ۱۴۳ روز یخبندان در سال یکی از سردترین استان‌های کشور محسوب می‌شود. سردترین ماه‌های سال، دی، بهمن، اسفند و گاهی فروردین است. شکل ۱ موقعیت این استان را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه مورد مطالعه

Figure 1. Location of Case Study Stations

دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ پژوهشی توسط اوناکین و همکاران (۲۰۱۵) صورت گرفت. در این پژوهش از مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM3 استفاده شد. نتایج بیان‌گر کاهش صفر درصدی (در شمال) تا ۳/۲۷ درصدی (در جنوب) برای دوره‌ی اول می‌باشد. احتمالاً بیش‌ترین کاهش در دوره‌ی دوم از ۰/۱۱ تا ۳/۳۹ درصد رخ خواهد داد. دوره سوم نسبت به دو دوره‌ی دیگر هم با افزایش و هم با کاهش تابش خورشیدی در سراسر کشور مواجه خواهد شد (۹). ترامبلی و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر تغییر اقلیم روی واقعه رگبار در مراکش، توسط ۱۵ مدل گردش عمومی جو و تحت سناریوی AIB پرداختند. نتایج کاهش ۱۲ درصدی بارش را در دوره‌ی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نشان داد (۱۰). یزلانگ و همکاران (۲۰۰۶) بارش و دمای دوره‌ی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ را در کشور چین تحت دو سناریوی A2 و B2 مدل‌سازی کردند و دریافتند که بارش‌های سیل‌آسای تابستانه و خشک‌سالی‌های زمستانه در جنوب این کشور تشدید می‌شود (۱۱).

در منطقه‌ی خاورمیانه تغییر اقلیم چالشی بزرگ محسوب می‌شود، مخصوصاً اگر به افزایش خشک‌سالی‌های پی‌درپی و مداوم و هم‌چنین به رشد تقاضا برای آب و کمبود آن توجه شود، این چالش ابعاد وسیعی به خود می‌گیرد. خاورمیانه در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک واقع شده و منابع آب محدودی دارد و تغییر اقلیم، منابع آب را تحت تأثیر قرار خواهد داد به‌نحوی که در حوضه‌های آبریز، آن را تا ۱۲ درصد تا سال ۲۰۵۰ کاهش خواهد داد. بر اساس برآورد IPCC این منطقه

مواد و روش‌ها

ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو از مدل LARS-WG بهره گرفته شد.

معرفی نرم‌افزار LARS-WG

مدل LARS-WG در سال ۱۹۹۰ در بوداپست مجارستان به‌عنوان ابزاری برای ریزمقیاس‌نمایی آماری ابداع شد. این مدل برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی از توزیع‌های آماری پیچیده بهره می‌گیرد. به‌گونه‌ای که مدل‌سازی طول دوره‌های خشک، تر، بارش روزانه و سری‌های تابش بر اساس برآزش توزیع‌های نیمه تجربی می‌باشد. مدل‌سازی دمای کمینه و بیشینه به‌صورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر، به‌کمک سری‌های فوریه است. تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی انجام می‌شود (۱۴). این مدل ریزمقیاس‌نمایی، به ۱۵ مدل تغییر اقلیم لینک می‌باشد به‌عبارتی خروجی ۱۵ مدل تغییر اقلیم را در بازه‌های زمانی مختلف و تحت سناریوهای مختلف در بانک اطلاعاتی مدل LARS-WG موجود بوده که با توجه به کامل بودن خروجی‌های ۵ مدل تغییر اقلیم مذکور، برای بازه‌ی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سه سناریوی مورد بررسی، جهت بررسی تغییر اقلیم آتی همدان مورد استفاده قرار گرفتند. برای ارزیابی نزدیکی مقادیر مشاهداتی و مقادیر برآوردی پارامترهای آب و هوایی از مدل LARS-WG از آماره‌های ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین^۲ (R^2) مطابق روابط ۱ و ۲ استفاده شد.

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

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

که در آن‌ها X_i مقادیر مشاهداتی، Y_i مقادیر برآورد شده، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه‌ی آماری و n

در انجام این تحقیق از داده‌های هواشناسی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی در مقیاس زمانی روزانه‌ی ایستگاه هم‌دید فرودگاه همدان استفاده شد. به‌منظور دستیابی به نتایج بهتر و دقیق‌تر در مباحث مربوط به تغییر اقلیم، استفاده از اطلاعات هواشناسی در بازه‌ی زمانی طولانی‌تر می‌تواند نقش مهمی داشته باشد چراکه شناخت وقایع حدی، با داشتن بازه‌ی زمانی کوتاه مدت امکان‌پذیر نمی‌باشد. بدین ترتیب در این پژوهش از ۲۰ سال داده‌ی هواشناسی در سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۱ استفاده گردید. آماده‌سازی اطلاعات در محیط Excel به‌تفکیک چهار ستون به‌تعداد فراسنجه‌های هواشناسی و ۷۳۰۰ ردیف به تعداد روزهای سال انجام شد. برای بررسی کیفی داده‌ها نیز ابتدا کشیدگی و چولگی آن‌ها محاسبه و سپس آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک استفاده شد تا از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل گردد. آزمون ران تست نیز در تعیین تصادفی بودن داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن با ریزمقیاس‌سازی، خروجی مدل‌های اقلیمی GFCM21، HADCM3، INCM3، IPCM4 و NCCCSM پیش‌بینی فراسنجه‌های اقلیمی برای دوره آتی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ صورت‌گرفت. سناریوهای تغییر اقلیم مورد استفاده نیز عبارت بودند از: سناریوی بدبینانه‌ی A1B که ترسیم‌کننده جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است به طوری که بیشینه‌ی رشد جمعیت در نیمه‌ی قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت، کاهش خواهد بود. همچنین براساس این سناریو، رشد سریع فناوری‌های نوین و مؤثر در دوره‌های آتی رخ خواهد داد. سناریوی A2 که مبین رشد سریع جمعیت جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در مناطق مختلف بوده و بنابراین تغییر اقلیم متوسطی برای دوره‌های پیش رو را ترسیم می‌کند. برطبق سناریوی خوش‌بینانه‌ی B1، در دهه‌های آتی هم‌گرایی جمعیت در سطح جهان رخ خواهد داد و تغییر در ساختار اقتصادی با کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر، صورت خواهد گرفت (۱۳). جهت

1- Root Mean Square Error

2- Coefficient of Determination

بازه (۲، -۲) باشند داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار هستند. با توجه به جدول، هر چهار فراسنجه دارای توزیع نرمال می‌باشند. جدول ۲ نیز میان همین موضوع است. چرا که سطح معناداری در آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک (Sig) بیش‌تر از ۰/۰۵ بود، بنابراین فرض نرمال بودن داده‌ها پذیرفته می‌شود. نتایج آزمون ران تست نیز مقدار Sig، ۰/۲۵۱، ۰/۲۵۱ را برای فراسنجه‌های دمای کمینه، بارش و ساعت آفتابی و مقدار ۰/۸۱۸ را برای دمای بیشینه نشان داد که با توجه به بزرگ‌تر بودن این مقادیر از ۰/۰۵، فرض همگنی داده‌ها نیز تأیید شد.

تعداد داده‌ها می‌باشد. آماره RMSE به‌عنوان یک روش مناسب مقایسه‌ای و اعتبارسنجی در بسیاری از مطالعات به‌کار رفته است (۴). در مطالعه‌ی حاضر نیز پس از اطمینان از درستی نتایج و ارزیابی قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌ای، اقدام به اجرای مرحله سوم یا شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ گردید.

نتایج و بحث

جدول ۱ مقادیر چولگی و کشیدگی فراسنجه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. در حالت کلی چنان‌چه چولگی و کشیدگی در

جدول ۱- بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از کشیدگی و چولگی

Table1. Check the Normality of Data Using Skewness and Kurtosis Test

چولگی		کشیدگی		فراسنجه
خطای استاندارد	آماره	خطای استاندارد	آماره	
۰/۰۵۷	۰/۳۶۳	۰/۰۲۹	-۰/۶۲۷	دمای کمینه
۰/۰۵۷	-۰/۹۴۵	۰/۰۲۹	-۰/۲۵۵	دمای بیشینه
۰/۵۱۲	۰/۲۱۲	۷۰/۳۰۳	۰/۸۵۵	بارندگی
۰/۰۵۸	-۰/۵۲۷	۰/۰۲۹	-۰/۷۳۹	ساعت آفتابی

جدول ۲- بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک

Table2. Check the Normality of Data Using Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk Test

شاپیرو-ویلک		کولموگروف-اسمیرنوف		آزمون فراسنجه
Sig.	آماره	Sig.	آماره	
۰/۰۹۱	۰/۹۱۲	۰/۲۰۰	۰/۱۳۱	دمای کمینه
۰/۰۶۴	۰/۸۱۴	۰/۰۷۱	۰/۱۹۲	دمای بیشینه
۰/۱۲۰	۰/۹۱۹	۰/۰۷۱	۰/۱۹۲	بارندگی
۰/۰۶۰	۰/۵۲۸	۰/۰۵۳	۰/۲۳۰	ساعت آفتابی

قطعیت بیش‌تری نسبت به سایر فراسنجه‌ها برخوردار می‌باشد که مقادیر خطاسنجی بالاتری را نشان می‌دهد. اشرف و همکاران (۱۳۹۰) نیز در ایستگاه‌های مختلف استان خراسان رضوی ضریب تعیین ۰/۹۶ تا ۰/۹۸ در مورد بارش و ۰/۹۸ تا ۰/۹۹ در مورد سه فراسنجه‌ی دیگر، ریشه‌ی میانگین مربعات خطای ۰/۱۸ تا ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد برای دمای کمینه و بیشینه، ۰/۱۲ تا ۰/۲۹ مگاژول بر مترمربع بر روز برای تابش و ۱/۸ تا ۵/۹ میلی‌متری را برای بارش گزارش کردند (۱۳). به‌طور مشابه دوستی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی تغییر اقلیم

جدول ۳ نیز نتایج ارزیابی مدل LARS-WG را در شبیه‌سازی فراسنجه‌های اقلیمی همدان در بازه‌ی ۲۰۱۰-۱۹۹۱ نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، مقدار ضریب تعیین در کلیه‌ی فراسنجه‌ها به غیر از بارش برابر ۰/۹۹ می‌باشد. در مورد بارش مقدار این ضریب، ۰/۹۸ است. هم‌چنین مقادیر شاخص خطاسنجی ریشه‌ی میانگین مربعات خطا نیز پایین است. بیش‌ترین مقدار آن معادل ۰/۹۴ میلی‌متر مربوط به بارش و کم‌ترین مقدار، برابر ۰/۲ مگاژول بر مترمربع بر روز متعلق به تابش خورشیدی می‌باشد. احتمالاً بارش از عدم

در این پژوهش نیز در بازه ی ذکر شده در مطالعات قبلی بوده، این مقادیر قابل قبول می باشند. در مجموع نتایج، مؤید انطباق نسبی و قابل قبول مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل LARS-WG و مقادیر مشاهده شده در دوره ی پایه است.

حوضه ی تمر استان گلستان، مقدار این آماره ی خطاسنجی را در مورد دمای کمینه و بیشینه و بارش به ترتیب، ۰/۰۳، ۰/۰۴ و ۱/۰۲ بیان کردند (۴). بنابراین باتوجه به این که ریشه ی میانگین مربعات خطای مربوط به چهار فراسنجه ی مورد بررسی

جدول ۳- ارزیابی مدل LARS-WG در شبیه سازی فراسنجه های اقلیمی همدان در دوره ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۹۱)

Table 3. Evaluation of LARS-WG Model's Ability to Simulate Weather Parameters in the Period 1991-2010

آماره	دمای کمینه (درجه سانتی گراد)	دمای بیشینه (درجه سانتی گراد)	بارندگی (میلی متر)	تابش (مگاژول بر مترمربع بر روز)
RMSE	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۹۴	۰/۲
R ²	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹

همکاران (۲۰۱۱) نیز در ارومیه که اقلیم نسبتاً مشابه با این منطقه دارد، افزایش ۲/۸۰ درجه سانتی گراد دما را تحت سناریوی A2 در دوره های آتی گزارش کردند. بارندگی و ساعت آفتابی در برخی ماه ها افزایش و در برخی دیگر کاهش خواهند داشت (۷). البته عمده تاً در مطالعات دیگر نیز تغییرات مختلف بارش دیده می شود، به عنوان مثال دو و همکاران (۲۰۱۳) نیز در بررسی تغییر اقلیم در جنوب چین روند خاصی را برای بارش گزارش نکردند. عدم قطعیت، یکی از دلایلی است که برای آن می توان در نظر گرفت. تغییرات بارندگی تحت این مدل به این صورت است که در سناریوی A1B میانگین تغییرات در دوره ی آتی کاهش ۹۱ میلی متری را نشان می دهد در حالی که سناریوی B1 افزایش ۳۲ میلی متری را نشان می دهد. ساعت آفتابی در سناریوی A1B تغییری نداشته و در دو سناریوی دیگر کاهش نامحسوس ۰/۱ ساعتی را خواهد داشت. کاهش تعداد ساعات آفتابی یا به عبارتی افزایش ساعات ابرناکی در سناریوی B1 با افزایش بارش منطبق می باشد (۱۵).

بررسی فراسنجه های اقلیمی تحت مدل های گردش عمومی

تغییرات دمای کمینه، دمای بیشینه، بارندگی و ساعت آفتابی پیش بینی شده برای دوره ی آتی نسبت به میانگین این فراسنجه ها در دوره ی پایه تحت مدل GFCM21 برای ایستگاه مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج بیان گر این است که به طور متوسط براساس هر سه سناریو دمای کمینه و بیشینه در دوره ی آتی به ترتیب ۲/۰۳ و ۱/۹۳ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت. احتمالاً افزایش انتشار گازهای گلخانه ای و عدم حفظ پایداری در طبیعت به واسطه ی مداخله ی انسان می تواند از دلایل این امر باشد. بیشترین مقدار تغییرات در دمای کمینه تحت سناریوی A1B و به مقدار ۳/۴ درجه سانتی گراد و کمترین تغییرات تحت سناریوی B1 به مقدار ۰/۸ درجه سانتی گراد می باشد. همچنین بیشترین مقدار تغییرات در دمای بیشینه تحت سناریوی A1B و به مقدار ۳/۸ درجه سانتی گراد و کمترین تغییرات تحت سناریوی B1 به مقدار ۰/۴ درجه سانتی گراد می باشد. مهسافر و

جدول ۴- تغییرات فراسنجه‌های اقلیمی همدان در دوره‌ی ۲۰۴۵ - ۲۰۴۶ نسبت به دوره‌ی پایه، بر اساس مدل

GFCM21 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1

Table 4. Changes in Hamadan Climatic Parameters in the Period 2046 - 2065 compared to the Baseline, Based on GFCM21 model under Scenario A1B, A2 and B1

GFCM21 مدل												
B1				A2				A1B				سناریو
ساعت آفتابی	بارندگی (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		فراسنجه
		بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه	
۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	پایه
-۰/۱	۳۲/۳	۱/۴	۱/۵	-۰/۱	-۴۰/۷	۲/۰	۲/۱	۰/۰	-۹۱/۱	۲/۴	۲/۵	میانگین تغییرات
۰/۷	۳۹۰/۲	۲/۶	۲/۳	۰/۶	۵۰۶/۱	۳/۶	۳/۲	۰/۸	۳۶/۰	۳/۸	۳/۴	بیشینه تغییرات
-۱/۰	-۱۳۹/۸	۰/۴	۰/۸	-۱/۱	-۲۸۷/۰	۰/۹	۱/۳	-۱/۰	-۳۳۷/۲	۱/۲	۱/۹	کمینه تغییرات
۱/۷	۵۳۰/۰	۲/۲	۱/۵	۱/۸	۷۹۳/۱	۲/۷	۲/۰	۱/۸	۳۷۳/۲	۲/۶	۱/۵	دامنه تغییرات

آفتابی دارای تغییرات افزایشی و کاهشی هستند. تغییرات بارندگی به این صورت است که میانگین تغییرات در دوره‌ی آتی در سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب افزایش ۱۱/۱، ۶۶ و ۳۲/۹ میلی‌متری، تقریباً معادل ۲، ۱۲/۴ و ۶/۲ درصد را تجربه خواهد کرد. دوستی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به‌ازای همین مدل تحت سناریوی A2 و A1B به ترتیب ۲/۴۸ و ۲/۴۳ درجه سانتی‌گراد افزایش دما و ۱۶ و ۲ درصد افزایش بارش را در حوضه‌ی تمر گلستان گزارش کردند (۴). بر اساس نتایج این مدل ساعت آفتابی در سناریوی A1B و B1 تغییری نداشته و در سناریوی A2 کاهش ناچیزی خواهد داشت. مدل قبل نیز تغییرات این فراسنجه را بسیار کم پیش‌بینی کرد.

تغییرات پیش‌بینی شده‌ی فراسنجه‌های اقلیمی مورد مطالعه براساس مدل HADCM3 در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که به‌ازای هر سه سناریو، دمای کمینه و بیشینه به‌طور متوسط ۲ و ۱/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابند. این تغییرات با نتایج مدل قبل اختلاف بسیار ناچیزی دارد. بیش‌ترین مقدار تغییرات در دمای کمینه تحت سناریوی A1B به اندازه ۳/۵ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین مقدار تغییرات آن مربوط به سناریوی B1 و به‌مقدار ۰/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیش‌ترین میزان تغییرات دمای بیشینه هم مربوط به سناریوی A1B و به‌مقدار ۳/۷ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین تغییرات تحت سناریوی B1 به‌مقدار ۰/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به‌همین ترتیب مشابه مدل قبل بارندگی و ساعت

جدول ۵- تغییرات فراسنجه‌های اقلیمی همدان در دوره‌ی ۲۰۶۵ - ۲۰۴۶ نسبت به دوره‌ی پایه، بر اساس مدل

HADCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1

Table 5. Changes in Hamadan Climatic Parameters in the Period 2046 - 2065 compared to the Baseline, Based on HADCM3 model under Scenario A1B, A2 and B1

HADCM3 مدل												
B1				A2				A1B				سناریو
ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		فراسنجه
		بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه	
۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	پایه
۰/۰	۳۲/۹	۱/۷	۱/۸	-۰/۱	۶۶/۰	۱/۹	۲/۰	۰/۰	۱۱/۱	۲/۱	۲/۲	میانگین تغییرات
۱/۲	۳۸۶/۵	۳/۳	۳/۳	۰/۸	۴۰۴/۹	۳/۵	۳/۳	۰/۹	۱۸۱/۵	۳/۷	۳/۵	بیشینه تغییرات
-۱/۰	-۱۴۴/۵	۰/۲	۰/۸	-۱/۱	-۶۰/۳	۰/۵	۱/۰	-۰/۹	-۵۵/۰	۰/۶	۱/۲	کمینه تغییرات
۲/۲	۵۳۱/۰	۳/۰	۲/۴	۱/۸	۴۶۵/۲	۳/۰	۲/۳	۱/۸	۲۳۶/۵	۳/۱	۲/۲	دامنه تغییرات

که در سناریوی A1B، ۵۶ میلی‌متر کاهش و در سناریوی B1، ۴۶ میلی‌متر افزایش دیده می‌شود. مقایسه‌ی این مدل با دو مدل قبل، عدم قطعیت در پیش‌بینی مدل‌های تغییر اقلیم را آشکارتر می‌سازد. چرا که اختلاف در نتایج مدل‌ها در مورد این فراسنجه به‌وضوح مشاهده می‌شود. به‌عنوان مثال نتایج مدل HADCM3 تحت سناریوی A1B افزایش بارش، اما این مدل کاهش آن را نشان می‌دهد. البته سادی و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاهش $39/1 \pm 55/1$ میلی‌متری بارش سالانه و افزایش ۰/۸۴ تا ۲/۳۱ درجه سانتی‌گرادی درجه حرارت هوا را برای منطقه‌ی مدیترانه در دوره‌ی آتی تحت سناریوی A1B بیان کردند (۸). در ارتباط با تغییرات ساعت آفتابی باید گفت به‌ازای هیچ یک از سه سناریو، تغییری انتظار نمی‌رود.

با استفاده از مدل INCM3 نیز فراسنجه‌های اقلیمی دوره‌ی آتی ایستگاه همدان، پیش‌بینی گردید. تغییرات این فراسنجه‌ها در مقایسه با دوره‌ی پایه در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج حکایت از افزایش متوسط به‌ترتیب ۱/۳ و ۱/۷ درجه سانتی‌گرادی دمای کمینه و بیشینه را تحت هر سه سناریو دارد که در مقایسه با دو مدل قبل، افزایش کم‌تری را نشان می‌دهد. بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات در دمای کمینه مربوط به سناریوی A1B به ترتیب، به اندازه ۲/۷ و صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیش‌ترین تغییرات دمای بیشینه مربوط به سناریوی A1B به مقدار ۳/۴ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن تحت سناریوی B1 معادل ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بارندگی و ساعت آفتابی، مشابه با مدل‌های قبل، هم افزایش و هم کاهش خواهد داشت. تغییرات بارندگی به این‌صورت است

جدول ۶- تغییرات فراسنجه‌های اقلیمی همدان در دوره ۲۰۶۵ - ۲۰۴۶ نسبت به پایه، بر اساس مدل INCM3 تحت

سناریوهای A1B، A2 و B1

Table 6. Changes in Hamadan Climatic Parameters in the Period 2046 - 2065 compared to the Baseline, Based on INCM3 model under Scenario A1B, A2 and B1

مدل INCM3												
B1				A2				A1B				سناریو
ساعت آفتابی	بارندگی (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)		فراسنجه
		بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه	
۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	پایه
۰/۰	۴۶/۱	۱/۴	۱/۰	۰/۰	۲۹/۲	۱/۸	۱/۳	۰/۰	-۵۶/۲	۱/۹	۱/۳	میانگین تغییرات
۰/۶	۴۶۷/۶	۲/۳	۱/۸	۰/۵	۳۹۹/۷	۲/۸	۲/۴	۰/۷	۷۷/۶	۳/۴	۲/۷	بیشینه تغییرات
-۰/۹	-۶۹/۶	۰/۵	۰/۱	-۰/۸	-۶۸/۹	۰/۹	۰/۳	-۱/۰	-۱۷۷/۲	۰/۸	۰/۰	کمینه تغییرات
۱/۵	۵۳۷/۲	۱/۹	۱/۷	۱/۴	۴۶۸/۶	۱/۹	۲/۱	۱/۶	۲۵۴/۸	۲/۵	۲/۷	دامنه تغییرات

به مقدار ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بارندگی و ساعت آفتابی دارای تغییرات افزایشی و کاهش‌ی هستند. تغییرات بارندگی به این صورت است که سناریوی A1B ۲۲/۲ میلی‌متر، سناریوی A2 ۱۱/۱ میلی‌متر و سناریوی B1 ۸۳/۷ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد. در مدل HADCM3 نیز متوسط تغییرات تحت هر سه سناریو در جهت افزایش نسبت به دوره‌ی پایه خواهد بود. ساعت آفتابی در دو سناریوی A1B و A2، ۰/۱ و تحت سناریوی B1 به اندازه ۰/۲ ساعت کاهش خواهد داشت. اوناکین و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاهش ۰/۱۱ تا ۳/۳۹ درصدی تشعشع خورشیدی در دوره‌ی آتی را برای نیچریه تحت شرایط اقلیمی پیش‌بینی کردند (۹).

جدول ۷ تغییرات فراسنجه‌های اقلیمی همدان را بر اساس مدل IPCM4 بیان می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که به‌ازای هر سه سناریو دمای کمینه و بیشینه به ترتیب ۱/۷ و ۱/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. تغییرات دمای کمینه تحت این مدل کم‌تر از دو مدل GFCM21 و HADCM3 و بیش‌تر از تغییرات در مدل INCM3 می‌باشد. در مورد دمای بیشینه، افزایش پیش‌بینی شده کم‌تر از هر سه مدل قبل است. بیش‌ترین تغییرات دمای کمینه مربوط به سناریوی A1B معادل ۲/۶ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین مقدار مربوط به سناریوی B1 برابر ۰/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیش‌ترین مقدار تغییرات دمای بیشینه مربوط به سناریوی A1B به مقدار ۳/۲ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین مقدار تحت سناریوی B1

جدول ۷- تغییرات فراسنجه‌های اقلیمی همدان در دوره ۲۰۶۵ - ۲۰۴۶ نسبت به پایه، بر اساس مدل IPCM4 تحت سناریوهای A2، A1B و B1

Table 7- Changes in Hamadan Climatic Parameters in the Period 2046 - 2065 compared to the Baseline, Based on IPCM4 model under Scenario A1B, A2 and B1

مدل IPCM4										سناریو		
B1				A2				A1B			فراسنجه	
ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی گراد)		
		بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه			بیشینه		کمینه
۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	پایه
-۰/۲	۸۳/۷	۱/۴	۱/۵	-۰/۱	۱۱/۱	۱/۶	۱/۷	-۰/۱	۲۲/۲	۲/۰	۲/۱	میانگین تغییرات
-۰/۳	۲۴۶/۲	۲/۴	۲/۱	-۰/۴	۲۵۵/۵	۲/۶	۲/۴	-۰/۴	۱۱۱/۹	۳/۲	۲/۶	بیشینه تغییرات
-۰/۸	-۶۱/۴	-۰/۵	-۰/۸	-۰/۷	-۷۶/۳	-۰/۷	۱/۰	-۰/۸	-۵۴/۸	-۰/۹	۱/۳	کمینه تغییرات
۱/۱	۳۰۷/۶	۲/۰	۱/۳	۱/۱	۳۳۱/۸	۲/۰	۱/۴	۱/۲	۱۶۶/۷	۲/۴	۱/۶	دامنه تغییرات

تغییرات آبی فراسنجه‌های اقلیمی همدان تحت مدل NCCCSM در جدول ۸ نشان داده شده است. نتایج بیانگر این است که براساس هر سه سناریو به‌طور متوسط دمای کمینه و بیشینه به ترتیب ۲ و ۱/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. در مجموع می‌توان گفت که دما در دهه‌های آبی با افزایش نسبت به دوره‌ی پایه روبه‌رو می‌شود. نتایج مدل‌های مختلف تغییر اقلیم نیز گویای این امر می‌باشد. این تغییرات افزایشی که با افزایش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای، جنگل‌زدایی، رشد و پیشرفت صنایع و به‌تبع آن مصرف سوخت‌های فسیلی شکل گرفته‌اند، می‌تواند بر بخش‌های مختلف تأثیرگذار باشد. بر اساس این مدل بیش‌ترین مقدار تغییرات در دمای کمینه مربوط به سناریوی A2 معادل ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین مقدار تغییرات هم متعلق به سناریوی B1 به مقدار ۱ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین تغییرات دمایی بیشینه مربوط به سناریوی A2 برابر ۳/۳ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین تغییرات تحت سناریوی B1 معادل ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که با نتایج رجبی و شعبانلو (۱۳۹۰) مبنی بر افزایش دما در کرمانشاه براساس مدل مذکور مطابقت دارد (۶). تغییرات در بارندگی به این‌صورت است که در سناریوی A1B، A2 و B1 میانگین تغییرات در دوره‌ی آبی ۲۶/۲، ۵۷/۱ و ۷۳/۱ میلی‌متری افزایش می‌یابند. دو مدل HADCM3 و IPCM4 نیز به‌طور میانگین، افزایش بارش را تحت هر سه سناریو گزارش کردند. در این مدل نیز همانند سایر مدل‌ها، تغییرات ساعت آفتابی ناچیز می‌باشد. میانگین تغییرات این فراسنجه در سناریوهای مذکور به ترتیب ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۲ کاهش را نشان می‌دهد.

تغییرات آبی فراسنجه‌های اقلیمی همدان تحت مدل NCCCSM در جدول ۸ نشان داده شده است. نتایج بیانگر این است که براساس هر سه سناریو به‌طور متوسط دمای کمینه و بیشینه به ترتیب ۲ و ۱/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. در مجموع می‌توان گفت که دما در دهه‌های آبی با افزایش نسبت به دوره‌ی پایه روبه‌رو می‌شود. نتایج مدل‌های مختلف تغییر اقلیم نیز گویای این امر می‌باشد. این تغییرات افزایشی که با افزایش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای، جنگل‌زدایی، رشد و پیشرفت صنایع و به‌تبع آن مصرف سوخت‌های فسیلی شکل گرفته‌اند، می‌تواند بر بخش‌های مختلف تأثیرگذار باشد. بر اساس این مدل بیش‌ترین مقدار تغییرات در دمای کمینه مربوط به سناریوی A2 معادل ۳/۱ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین مقدار تغییرات هم متعلق به سناریوی B1 به مقدار ۱ درجه سانتی‌گراد است. بیش‌ترین تغییرات دمایی بیشینه مربوط به سناریوی A2 برابر ۳/۳ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین تغییرات تحت سناریوی B1 معادل ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که با نتایج رجبی و شعبانلو (۱۳۹۰) مبنی بر افزایش دما در کرمانشاه براساس مدل مذکور مطابقت دارد (۶). تغییرات در بارندگی به این‌صورت است که در سناریوی A1B، A2 و B1 میانگین تغییرات در دوره‌ی آبی ۲۶/۲، ۵۷/۱ و ۷۳/۱ میلی‌متری افزایش می‌یابند. دو مدل HADCM3 و IPCM4 نیز به‌طور میانگین، افزایش بارش را تحت هر سه سناریو گزارش کردند. در این مدل نیز همانند سایر مدل‌ها، تغییرات ساعت آفتابی ناچیز می‌باشد. میانگین تغییرات این فراسنجه در سناریوهای مذکور به ترتیب ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۲ کاهش را نشان می‌دهد.

جدول ۸- تغییرات فراسنجه‌های اقلیمی همدان در دوره ۲۰۶۵ - ۲۰۴۶ نسبت به پایه، بر اساس مدل NCCCSM تحت

سناریوهای A1B, A2 و B1

Table 8. Changes in Hamadan Climatic Parameters in the Period 2046 - 2065 compared to the Baseline, Based on NCCCSM model under Scenario A1B, A2 and B1

مدل NCCCSM												
B1				A2				A1B				سناریو
ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی گراد)		ساعت آفتابی	بارندگی (میلی متر)	دما (درجه سانتی گراد)		فراسنجه
		بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه			بیشینه	کمینه	
۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	۷/۹	۵۲۹/۳	۱۹/۶	۴/۰	پایه
-۰/۲	۷۳/۱	۱/۴	۱/۵	-۰/۳	۵۷/۱	۲/۲	۲/۳	-۰/۱	۲۶/۲	۲/۱	۲/۲	میانگین تغییرات
-۰/۴	۴۰۲/۰	۲/۲	۱/۹	-۰/۳	۴۳۱/۸	۳/۳	۳/۱	-۰/۴	۲۴۴/۴	۳/۰	۲/۷	بیشینه تغییرات
-۰/۸	-۴۷/۸	-۰/۵	۱/۰	-۱/۰	-۸۱/۸	-۰/۹	۱/۶	-۰/۸	-۱۰۶/۲	-۰/۹	۱/۶	کمینه تغییرات
۱/۲	۴۴۹/۸	۱/۷	۱/۰	۱/۳	۵۱۳/۶	۲/۴	۱/۵	۱/۲	۳۵۰/۶	۲/۱	۱/۱	دامنه تغییرات

بدین ترتیب اتکای بیش از حد بر روی یک مدل تنها با یک سناریو کافی نمی‌باشد و می‌تواند منجر به نتایج نادرست شود. بنابراین باید تلفیقی از چند مدل و چند سناریو را به کاربرد (۱۶). به همین منظور در این پژوهش از پنج مدل تغییر اقلیم استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که تغییرات دما به ازای مدل‌های مختلف تغییر اقلیم، تقریباً مشابه می‌باشد اما در مورد بارش، اختلاف بیش‌تری مشاهده می‌شود. پورعلیحسین و مساح بوانی (۱۳۹۲) در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی در دوره‌های آتی بیان کردند که عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو برای پیش‌بینی دما کم‌تر از عدم قطعیت این برآوردها در مورد بارش است (۱۷). همین نتیجه توسط چن و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تغییر اقلیم سودان گزارش شد (۱۸). روشن و همکاران (۱۳۹۱) با آزمون مدل‌های گوناگون برای شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش مشاهداتی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ ایران، دریافتند که هیچ یک از مدل‌ها به تنهایی قادر به شبیه‌سازی صحیح اقلیم کشور نیستند و باید از ترکیب آن‌ها استفاده شود (۱۹).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق فراسنجه‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی همدان در دوره‌ی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی پنج مدل گردش عمومی جو GFCM21, HADCM3, INCM3, IPCM4 و

در مجموع، نتایج پیش‌بینی‌ها در دمای کمینه نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار میانگین این فراسنجه در پنج مدل بررسی شده مربوط به مدل GFCM21 تحت سناریوی A1B برابر ۶/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کم‌ترین مقدار میانگین آن نیز مربوط به سناریوی B1 مدل INCM3 به مقدار ۵ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار میانگین دمای بیشینه متعلق به سناریوی A1B مدل GFCM21 با مقدار ۲۱/۹۵ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین مقدار میانگین این فراسنجه نیز مربوط به سناریوی B1 همین مدل با مقدار ۲۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در مورد بارندگی نیز بیش‌ترین مقدار میانگین آن متعلق به مدل IPCM4 تحت سناریوی B1 با مقدار ۶۱۳/۱ میلی‌متر و ۱۵/۸ درصد افزایش نسبت به پایه خواهد بود. کم‌ترین مقدار میانگین این فراسنجه نیز در مدل GFCM21 تحت سناریوی A1B با مقدار ۴۶۰/۷ میلی‌متر و کاهش ۱۳ درصدی دیده شد. بیش‌ترین مقدار تابش در مدل HADCM3 تحت سناریوی A1B معادل ۷/۹۴ ساعت و ۲۴ درصد افزایش خواهد بود. کم‌ترین مقدار میانگین آن نیز مربوط به مدل NCCCSM تحت سناریوی A2 با مقدار ۷/۶۷ ساعت و کاهش ۳/۱۷ درصدی ساعت آفتابی می‌باشد.

نکته‌ی حایز اهمیت این است که ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی به کمک شبیه‌سازی خروجی مدل گردش عمومی ریزمقیاس شده، با عدم قطعیت همراه است.

2. Rasuli, A.A., Rezaei Banafsheh, M., Massah, A.R., Khorshiddoust, A.M., Ghermezcheshmeh, B., 2014. Investigation Impact of Morpho-Climatic Parameters on Accuracy of LARS-WG Model. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 8 (24), P 9-24. (In Persian)
3. Mohammadi, H., Moghbel, M., Ranjbar, F., 2010. The study of temperature and precipitation changes in Iran with MAGICC SCENGEN model geography summer. 8(25) p 125-142. (In Persian)
4. Dousti, M., Habibnezhad Roshan; M., Shahedi, K; Miryaghoubzade, M., 2014. Study of climate indices of Tamar River basin Golestan Province in terms of climate change using by LARS-WG model. Journal of the Earth and Space Physics (JESP), 39(4), P 177-189. (In Persian)
5. Babaeian, I., Najafi, Z. 2011. Climate Change Assessment in Khorasan-e Razavi Province from 2010 to 2039 Using Statistical Downscaling of GCM Output. Journal of Geography and Regional Development (Peer-Reviewed), 8(15). (In Persian)
6. Rajabi, A., Shabanlou, S., 2014. Study of some climate index changes in NCCCSM global circulation model output. Case study: Kermanshah (Iran). Iranian Water Research Journal, 7(13) P 41 –49. (In Persian)
7. Mahsafar, H., Maknoun, R. Saghafian, B., 2011. The impact of climate change on Urmia Lake water level, 8(19): p. 47-58.
8. Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L., Pizzigalli, C. Lionello, P., 2015. Climate change and

NCCCSM تحت سه سناریوی B1, A2 و A1B شبیه‌سازی شد. در مجموع نتایج، نشان از افزایش دمای کمینه و بیشینه دارد. این افزایش در مورد دمای کمینه بیش‌تر از دمای بیشینه می‌باشد. احتمالاً افزایش دمای متوسط هوا در دوره‌ی آتی، بیش‌تر تحت تأثیر افزایش دمای کمینه خواهد بود. تغییرات بارش، هم به صورت افزایشی و هم به صورت کاهش‌ی دیده شد.

هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم نیز بیان می‌کند که تغییرات بارندگی در مقیاس جهانی دارای روند مشخص نمی‌باشد. به‌طور کلی عدم قطعیت در مورد این فراسنجه‌ی اقلیمی، بیش‌تر از دما می‌باشد. از دیگر نتایج حاصله، تغییرات بسیار کم و نامحسوس ساعت آفتابی است. نکته قابل ذکر این است که نتایج مدل‌های گردش عمومی مورد مطالعه در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی نسبتاً مشابه می‌باشد در واقع این سناریوها هستند که نقش اساسی را ایفا می‌کنند.

گفتنی است تغییرات دما و بارش می‌تواند بر کشاورزی منطقه تأثیرگذار باشد. انتظار می‌رود در آینده عملکرد و نیاز آبی محصولات غالب این منطقه به ویژه گندم، جو، ذرت، سیب‌زمینی و چغندر قند با تغییراتی مواجه گردد. مسلماً مطالعه‌ی هر چه دقیق‌تر این پدیده و تأثیرات ناشی از آن، گام مؤثری در جهت سازگاری، کاهش خسارات و حتی بهره‌مندی از اثرات مثبت آن خواهد بود. تغییر الگوی کشت غالب در این منطقه، در صورت افزایش نیاز آبی و کاهش بارش‌ها، راهکاری اساسی به نظر می‌رسد که باید مورد توجه مسئولان قرار بگیرد.

Reference

1. Haghtalab, N., Goodarzi, M, Habibi Nokhandan, M., Yavari, A.R., Jafari, H.R. 2013. Climate modeling in Tehran and Mazandaran provinces by LARSWG and comparing changes in northern and southern central Alborz hillside. Journal of environmental science and technology. 2013, 15(1); p 38-49. (In Persian)

- by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Data. *Journal of Water and Soil*. 24(2), p. 218-233.(In Persian)
15. Du, Y., Cheng, X., Wang, X., Ai, H., Hai-Lai. H., Wu, X. 2013. A Review of Assessment and Adaptation Strategy to Climate Change Impacts on the Coastal Areas in South China. *Journal of Advances in Climate Change Research*,. 44, p. 201-207.
16. Ansari, H., Khadivi, M., Salehnia, N., Babaeian, I., 2015. Evaluation of Uncertainty LARS Model under Scenarios A1B, A2 and B1 in Precipitation and Temperature Forecast (Case Study: Mashhad Synoptic Stations). *Iranian journal of irrigation and drainage*. 8(4), 664-672. (In Persian)
17. Pooralihosein, Sh., Massah Bavani, A.R., 2014., Risk analysis and assessment of impacts of climate change on temperature and precipitation of East Azerbaijan in 2013-2022. *Journal of the Earth and Space Physics (JESP)*. 39(4), P 191-208. (In Persian)
18. Chen, H., Guo, J., Zhang, Z. Xu, Ch., Y., 2013. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 113(3), p. 363-375.
19. Roshan, Gh., Khoshakhlagh., F., Azizi, Gh., 2012. Assessment of Suitable General Atmosphere Circulation Models for Forecasting Temperature and Precipitation Amounts in Iran under Condition of Global Warming. *Journal of Geography and development*, 10(27), P 19-36. (In Persian)
- Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Journal of Agricultural Water Management* Vol. 147, pp. 103-115.
9. Ohunakin, O. S., Adaramola, M. S., Oyewola, O. M., Matthew, O. J. Fagbenle, R. O., 2015. The effect of climate change on solar radiation in Nigeria. *Journal of Solar Energy*, Vol. 116, pp. 272-286.
10. Trambly, Y., Badi, W., Driouech, F., Adlouni, S., Neppel, L. Servat, E., 2012. Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco. *Journal of Global and Planetary Change*, Vol. 83, pp. 104-114.
11. Yinlong, X., Xiaoying, Z., Yong, L. W. Erda, L., 2006. Statistical analysis of the climate changes scenarios over China in the 21st century. *Journal of Advances in Climate Change Research*, Vol. 2, pp. 50-53.
12. Khosravi, M., Esmailnezhad, M., Nazaripour, H., 2010. Climate Change and its Impact on Middle East Water Resources. *Proceedings of the Fourth International Congress of Islamic Geographers of the Islamic World*, Iran, Zahedan.(In Persian)
13. Ashraf, B., Mousavi Baygi, M., Kamali, Gh. A, Davari K., 2011. Prediction of Water Requirement of Sugar beet during 2011-2030 by Using Simulated Weather Data with LARS-WG Downscaling Model. *Journal of Water and Soil*. 25 (5), p. 1184-1196.(In Persian)
14. Abassi, F., Malbusi, I., Babaeian, Asmari, M., Borhani, R., 2010. Climate Change Prediction of South Khorasan Province During 2010-2039