

**EXTENDED ABSTRACT**

## **Investigating the Uncertainty Effect of GCMs Output on the Prediction of Meteorological Parameters in Golestan Province**

K. Kaboosi<sup>1\*</sup> and M. Kordjazi<sup>2</sup>

1\* - Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Engineering, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran (*kkaboosi@yahoo.com*).

2- Head of Applied Meteorological Research Group, Golestan Meteorological Office.

Received: 20 February 2017

Revised: 16 December 2017

Accepted: 20 December 2017

**Keywords:** ECHO-G, HadCM3, LARS-WG, Precipitation, SPI, Temperature.

**DOI:** 10.22055/jise.2017.21227.1527.

### **Introduction**

One of the important issues in assessing climate change using the output of General Circulation Models (GCMs) is their uncertainty so that the outputs of a model in a region may vary with another model in the same region. Disregarding the uncertainty of these models reduces the accuracy of the final outputs (Ashofteh and Massah, 2012). Various methods have been developed to analyze and reduce the amount of uncertainty. Among the methods used to investigate the uncertainty of the output of GCMs, one can mention the weighted means of observation, Wilcoxon Signed Rank test, Bootstrap confidence-interval estimation technique, Box Plot method, and the cumulative frequency distribution function. Accordingly, the present study, while predicting the temperature, precipitation and drought variables in Golestan province for the future 30 years via two general circulation models including ECHO-G and HadCM3, examined the uncertainty of these models by weighted means of observation and Box Plot methods. Also, statistical analysis of data by analysis of variance and mean comparison tests are among other goals of this research.

### **Methodology**

In order to evaluate the uncertainty effect of the output of HadCM3 and ECHO-G models on the prediction of minimum and maximum temperatures, precipitation and drought severity in Golestan province during a 30-year period (2016- 2045) as compared to the base period (1986- 2015), the output of models under A2 scenario was downscaled by the LARS-WG model in 15 meteorological stations. The uncertainty of models was evaluated by weighted means of observation (Abbasnia *et al.*, 2016) and Box Plot methods (Amoako-Attah and B-Jahromi, 2016). In each station, the data was obtained from the network center where the station was located. All the stations were located within three networks, with 3, 4 and 8 stations located in the western, the central and the eastern networks, respectively. The ability of the models for predicting temperature and precipitation was examined by different statistics including determination coefficient ( $R^2$ ), mean error (ME), mean absolute error (MAE), and root mean square error (RMSE). In this study, DIP software (Morid *et al.*, 2007) was used to calculate drought severity by Standardized Precipitation Index (SPI).

Significance of changes in climate variables in the future period to base period was considered by using variance analysis (ANOVA) and mean comparison (LSD test) with regard to various factors including the statistical period, the GCM model, the weather station, the time scale (annually and monthly), and the drought class. To this end, the SPSS software version 21 was used.

### **Results and Discussion**

The investigation of the LARS-WG model outputs using different statistics showed that the parameters were simulated with reasonable accuracy. At the same time, values of these statistics for the minimum temperature were much lower than the maximum temperature, which shows that the model is more accurate in predicting the minimum than the maximum temperature. The results of weighted means of observation method showed that while the simulation of temperature and precipitation parameters had more weights in the Western and Central regions by the HadCM3 model, it had more weights in the Eastern region by the ECHO-G model. Based on Box Plot analysis, relative equality, the low values of variance, standard deviation, coefficient of variation, and the range of variations of the two models within different months in predicting the minimum and maximum temperatures all indicated that both models had a certain degree of low uncertainty. As to the rainfall, however, the uncertainty of the HadCM3 model, compared to the ECHO-G model, was less in most months. The difference in the uncertainty of the GCM models within different regions and months can be attributed to the influence of various morphological factors on climate variables, their governing laws on the earth surface and the atmosphere, and the different structures in the GCM models. With regard to the forecasts of the HadCM3 and ECHO-G models, the annual average of minimum temperature will be increased by 0.4 and 1.6 °C, respectively. For the maximum temperature, these figures will be 0.2 and 0.7 °C, respectively. While increasing temperature is expected for the future period in both models, their amounts vary in different stations and regions due to their elevation, latitude and atmospheric humidity. These models also predicted a significant increment (30.9 mm) and an insignificant reduction (11.8 mm) in the annual precipitation. In addition, the significant interaction between the GCM models and the meteorological stations showed that the responses of stations to climate change were different. The maximum area of the annual rainfall class in the province was observed in the range of 550-350 mm during the base period according to the ECHO-G model's predictions. However, it was found to be in the range 450-450 mm in accordance with the HadCM3 model's predictions. Analysis of variance showed that modeling had a significant effect on the occurrence percentage of normal and wet classes by monthly scale and on severe wet occurrence percentage by annual scale. Nonetheless, it did not have any significant effect on other drought classes in neither time scales.

### **Conclusions**

Climate change had a significant effect on the precipitation of 40 percent of stations. The uncertainty of the GCM models by weighted means of observation method varied in different regions and in different months. However, the weight of the HadCM3 model in the Western and Central regions and the ECHO-G model in the Eastern region was greater. Based on the Box Plot method, both models had a certain degree of low uncertainty in

predicting minimum and maximum temperatures. In case of rainfall, however, the uncertainty of the HadCM3 model was less in most months compared to the ECHO-G model.

### References

- 1- Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M. and Hossein, T., 2016. Uncertainty analysis of future changes in daily maximum temperatures over Iran by using of GIS. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(97), pp.29-43. (In Persian).
- 2- Amoako-Attah, J. and B-Jahromi, A., 2016. The impact of different weather files on London detached residential building performance-deterministic, uncertainty and sensitivity analysis on CIBSE TM48 and CIBSE TM49 future weather variables using CIBSE TM52 as overheating criteria. *Sustainability*, 8(11), pp.1-18.
- 3- Ashofteh, P.S. and Massah, A.R., 2012. Investigation of AOGCM model uncertainty and emission scenarios of greenhouse gases impact on the basin runoff under climate change (case study: Gharanghu Basin, East Azerbaijan). *Iran-Water Resources Research*, 8(2), pp.36-47. (In Persian).
- 4- Morid, S., Moghaddasi, M., Ershad, S. and Omid, M., 2007. Drought Indices Package (DIP) software package. Iranian Water Resource Management Co., Ministry of Energy.



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## بررسی اثر عدم قطعیت خروجی مدل‌های گردش عمومی در پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی استان گلستان

 کامی کابوسی<sup>۱\*</sup> و محمد کردجری<sup>۲</sup>
<sup>۱</sup> - نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران kkaboosi@yahoo.com

<sup>۲</sup> - مسئول کارگروه پژوهش هواشناسی کاربردی، اداره کل هواشناسی استان گلستان.

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲

بازنگری: ۱۳۹۶/۹/۲۵

پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۹

## چکیده

به منظور بررسی اثر عدم قطعیت خروجی مدل‌های ECHO-G و HadCM3 بر پیش‌بینی دمای حداقل و حداکثر، بارش و شدت خشکسالی (شاخص SPI) استان گلستان طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۱۶ نسبت به دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶، خروجی این مدل‌ها توسط مدل LARS-WG در ۱۵ ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس شد. عدم قطعیت مدل‌ها به روش وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی و نمودار جعبه‌ای و تحلیل آماری داده‌ها به روش آزمون‌های تجزیه واریانس و مقایسه میانگین انجام گرفت. نتایج نشان داد در شبیه‌سازی بارش و دما مدل HadCM3 در منطقه‌های غرب و مرکز و مدل ECHO-G در منطقه شرق وزن بیشتری داشتند. در عین حال بر اساس تحلیل نمودار جعبه‌ای، میزان عدم قطعیت دمای حداقل و حداکثر در بیشتر ماه‌ها در دو مدل یکسان بود ولی در خصوص بارش عدم قطعیت مدل HadCM3 در اغلب ماه‌ها بیشتر از مدل ECHO-G است. مطابق پیش‌بینی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G، میانگین سالانه دمای حداقل به ترتیب ۰/۵ و ۱/۶ و دمای حداکثر به ترتیب ۰/۲ و ۰/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. همچنین این مدل‌ها به ترتیب افزایش معنی‌دار بارش سالانه (۳۰/۹ میلی‌متر) و کاهش غیرمعنی‌دار آن (۱۱/۸ میلی‌متر) را پیش‌بینی کردند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مدل‌سازی در مقیاس ماهانه بر درصد وقوع دوره‌های نرمال و ترسالی و در مقیاس سالانه بر درصد وقوع دوره ترسالی خیلی شدید تأثیر دارد. بیشترین مساحت طبقه‌های بارش سالانه استان در دوره پایه و پیش‌بینی مدل ECHO-G در محدوده ۵۵۰-۳۵۰ میلی‌متر و در پیش‌بینی مدل HadCM3 در محدوده ۶۵۰-۴۵۰ میلی‌متر مشاهده شد.

کلید واژه‌ها: ECHO-G، HadCM3، LARS-WG، SPI، بارش، دما.

## مقدمه

متداول‌ترین ابزار برای بررسی تغییر اقلیم استفاده از مدل‌های گردش عمومی (GCM) است. این مدل‌ها دارای دقت تفکیک فضایی کمی می‌باشند زیرا شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی یکسانی برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرد درحالی‌که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده‌های کوچک نیز کاملاً متفاوت باشد. بنابراین برای استفاده از این مدل‌ها نیاز به ریزمقیاس‌نمایی آن‌ها می‌باشد تا داده‌ها به مقیاس مکانی محل مورد مطالعه تبدیل شود (Hassan et al., 2014; Semenov et al., 1998). یکی از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده از مولدهای آب و هوا است. مولد آب و هوایی ایستگاه تحقیقاتی لانگ اشتن (LARS-WG) یک مولد داده‌های وضع هوا می‌باشد که برای تولید مقادیر بارش، تابش و درجه حرارت روزانه در یک ایستگاه بر اساس سری زمانی موجود و بسط آن به آینده به کار می‌رود (Vallam and Qin, 2016; Hassan et al., 2014).

یکی از مباحث مهم در ارزیابی تغییر اقلیم با استفاده از خروجی مدل‌های GCM، بررسی میزان عدم قطعیت آن‌ها است، به طوری که ممکن است خروجی‌های یک مدل در یک منطقه با مدل دیگر در همان منطقه متفاوت باشد. نادیده گرفتن عدم قطعیت این مدل‌ها موجب کاهش دقت خروجی نهایی می‌شود

(Ashofteh and Massah, 2009; 2010; 2012). منابع تولید عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های تغییر اقلیم ناشی از ساختار دینامیکی مدل‌های اقلیمی جهانی و فرایند گسسته‌سازی عددی آن‌ها (تنوع درون مدلی)، ساختار و پارامترهای مدل آب و هواشناسی، دانش ناقص در مورد فرایندهای ژئوفیزیکی اساسی و پیچیدگی ذاتی سامانه زمین، قدرت تفکیک شبکه‌ای درشت، عدم قطعیت مربوط به مدل‌های GCM (تنوع بین مدلی)، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، عدم توانایی در پیش‌بینی شرایط اقتصادی-اجتماعی آینده و رفتار جوامع انسانی، سناریوهای مختلف انتشار (تنوع درون سناریو) و غیره می‌باشد (Abbasnia et al., 2016; Ansari et al., 2015; Ghermezcheshmeh et al., 2015; Kamal and Massah, 2012; Solaiman et al., 2011; Kay et al., 2009). وجود عدم قطعیت در خروجی مدل‌های GCM ناشی از تنوع بین مدلی توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است (Jahanbakhsh Asl et al., 2016; Ansari et al., 2015; Kamal and Massah, 2012; Ashofteh and Massah, 2009; 2010).

هدف از تحلیل عدم قطعیت ارزیابی عملکرد مدل در بازتولید مقادیر میانگین و تغییرپذیری متغیرهای هواشناسی مشاهداتی که توسط مدل برای دوره پایه تولید می‌شوند، می‌باشد. البته باید به این نکته توجه داشت که افزایش دقت برای دوره پایه ضرورتاً به معنای افزایش اطمینان خروجی مدل در دوره آتی نمی‌باشد

(al., 2017; Dibike et al., 2008).

پژوهش حاضر ضمن پیش‌بینی متغیرهای دما، بارش و خشکسالی استان گلستان در سی سال آتی توسط دو مدل گردش عمومی ECHO-G و HadCM3، به بررسی عدم قطعیت مدل‌ها به دو روش وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی و نمودار جعبه‌ای خواهد پرداخت. تحلیل آماری تغییرات در دوره آتی نسبت به دوره پایه با استفاده از آزمون‌های تجزیه واریانس و مقایسه میانگین از منظر عوامل مختلف شامل دوره آماری، مدل GCM، ایستگاه، مقیاس زمانی و طبقه‌های خشکسالی از دیگر اهداف پژوهش است.

## مواد و روش‌ها

### داده‌های اولیه

پس از بررسی طول دوره آماری و پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی استان گلستان، متغیرهای دمای حداقل و حداکثر و بارش روزانه ۱۵ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری مشترک ۲۰۱۵-۱۹۸۶ اخذ شد (شکل ۱). تکمیل داده‌ها در دوره آماری با استفاده از روش نسبت‌ها و تفاضل‌ها (Ashofteh and Massah, 2010) بر مبنای ماتریس همبستگی صورت گرفت. برای آزمون همگنی و نرمال بودن (Parvaneh et al., 2015) به ترتیب از آزمون دنباله‌ها و کلموگروف-اسمیرنوف از بسته نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۱ استفاده شد. بر این اساس، تصادفی و نرمال بودن داده‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد تایید گردید.

(Dibike et al., 2008). برخی از عدم قطعیت‌ها را می‌توان با بهبود مدل‌سازی کاهش داد، ولی بعید است که بتوان همه عدم قطعیت‌ها را حذف کرد. بنابراین در چنین شرایطی که نتایج مدل‌سازی همراه با برخی از عدم قطعیت‌ها می‌باشد، گزارش میزان عدم قطعیت به کاربر نهایی نتایج مدل این امکان را می‌دهد که عدم قطعیت را در فرایند تصمیم‌گیری در نظر بگیرد (Kay et al., 2009).

برای تحلیل و کاهش میزان عدم قطعیت روش‌های مختلفی ابداع شده است (Ansari et al., 2015; Pourreza Bilondi et al., 2015; Kay et al., 2009). از جمله روش‌هایی که برای بررسی عدم قطعیت خروجی مدل‌های تغییر اقلیم استفاده شد می‌توان به وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی در قالب رویکرد بیزین (Hafezparast et al., 2017; Abbasnia et al., 2016)، آزمون طبقه‌بندی ویل کاکسون (Dibike et al., 2008)، فاصله‌های اطمینان ساخته‌شده با استفاده از نمونه‌برداری مجدد بوت‌استرپ (Ghermezcheshmeh et al., 2015; Kay et al., 2009; Dibike et al., 2008)، نمودار جعبه‌ای (Jahanbakhsh Asl et al., 2016; Ansari et al., 2010; Semenov and Stratonovitch, 2015) و تابع توزیع احتمال تجمعی (Yaghoubi et al., 2017; Chen et al., 2013) اشاره کرد. همچنین روش نمودار جعبه‌ای برای بررسی تغییرپذیری خروجی مدل‌های GCM نسبت به سری زمانی مشاهداتی مورد استفاده قرار گرفت (Mohammadi et

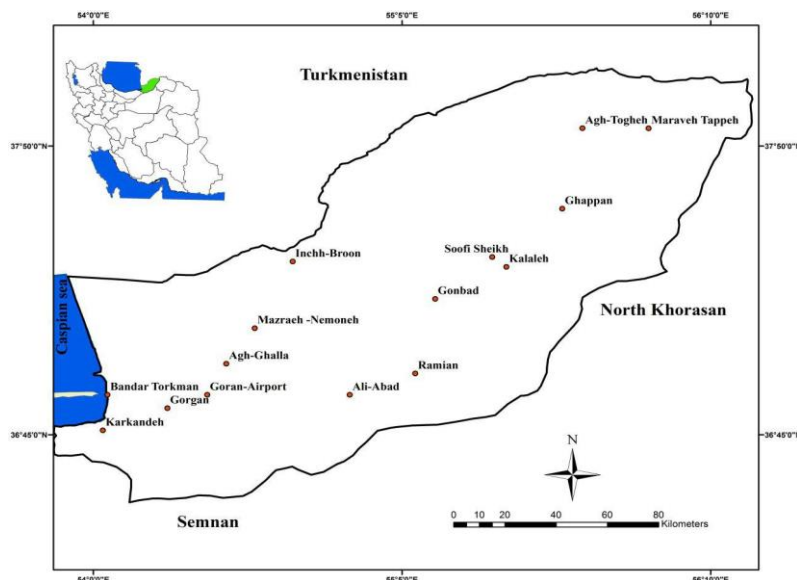


Fig. 1- location of meteorological stations in this study

شکل ۱- پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

### مدل‌ها و سناریوی تغییر اقلیم

مشخصات جغرافیایی هر ایستگاه با پسوند st. و فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه‌ها با پسوند sr. به همراه فایل سناریوی تغییر اقلیم برای هر شبکه در مدل GCM مورد نظر با پسوند sce. به عنوان ورودی به مدل داده شد. در گام بعدی با اجرای LARS-WG متغیرهای هواشناسی دوره آتی برای هر ایستگاه مطابق رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه گردید (Semenov et al., 1998).

$$T_{\text{fut}} = T_{\text{obs}} + \Delta T \quad (۳)$$

$$P_{\text{fut}} = P_{\text{obs}} * \Delta P \quad (۴)$$

که  $T_{\text{fut}}$  و  $T_{\text{obs}}$  به ترتیب سری زمانی داده‌های دمای روزانه در دوره پایه و آتی و  $\Delta T$  سناریوی تغییر اقلیم ریزمقیاس شده می‌باشد. در رابطه (۴) نیز بارش (P) جایگزین دما (T) شده است.

### بررسی میزان عدم قطعیت مدل‌های GCM

در این پژوهش برای بررسی میزان عدم قطعیت ناشی از به‌کارگیری مدل‌های مورد بررسی از روش وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی (Ashofteh and Abbasnia et al., 2016; Ashofteh and Massah, 2009; 2010; 2012) و روش نمودار جعبه‌ای (Amoako-Attah and B-Jahromi, 2016; Vallam and Qin, 2016; Ansari et al., 2015; Pourreza Bilondi et al., 2015) استفاده شد. در روش وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی مطابق رابطه (۵) مدل‌های GCM بر اساس مقدار انحراف میانگین دما یا بارش شبیه‌سازی شده در دوره پایه از میانگین داده‌های مشاهداتی وزن‌دهی می‌شوند (Ashofteh and Massah, 2009; 2010; 2012).

$$W_{i,j} = \frac{1}{\Delta T_{i,j}} \sum_{j=1}^n (1/\Delta T_{i,j}) \quad (۵)$$

که در رابطه بالا  $\Delta T_{i,j}$  نشان‌دهنده اختلاف مقدار میانگین طولانی مدت متغیر شبیه‌سازی شده در مدل GCM مورد بررسی از میانگین مقدار دیدبانی شده آن در همان دوره می‌باشد.  $i$  معرف شماره ماه،  $j$  معرف شماره مدل مورد نظر،  $n$  معرف تعداد مدل‌های مورد بررسی و  $W_{i,j}$  وزن مدل مورد نظر در صحت برآورد متغیر دما یا بارش است. برای ارزیابی مدل، میانگین ماهانه متغیرهای دما و بارش در ایستگاه‌های موجود در داخل هر شبکه در دوره آماری با داده‌های ماهانه شبیه‌سازی شده همان شبکه در دوره آتی مقایسه شدند. هرچه مقدار  $W_{i,j}$  بیشتر (نزدیک‌تر به ۱) باشد، نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن مدل در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی می‌باشد، به این معنی که متغیر اقلیمی برآورد شده توسط مدل به مقدار واقعی آن نزدیک‌تر است. یکی دیگر از روش‌های موثر در بررسی عدم قطعیت روش نمودار جعبه‌ای می‌باشد که خلاصه‌ای از ویژگی‌های

در پژوهش حاضر از خروجی دو مدل ECHO-G و HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 بر طبق گزارش چهارم (IPCC, 2007) استفاده شد. علت انتخاب این مدل‌ها کاربرد وسیع آن‌ها در مطالعه-های تغییر اقلیم، نتایج رضایت‌بخش آن در کشور بر اساس پژوهش‌های پیشین، دقت و قدرت تفکیک مکانی بالاتر و سهولت دسترسی به اطلاعات آن‌ها می‌باشد (Amani et al., 2016; Sheidaeian et al., 2015). از آنجا که ویژگی سناریوی A2 بر صنعتی شدن و رشد سریع کشورها بدون توجه به محیط‌زیست، رشد زیاد جمعیت و انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای تاکید دارد، وقوع آن برای قرن حاضر امکان‌پذیرتر است و از طرفی در سطح دنیا برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر کشاورزی، منابع آب و محیط‌زیست بیشتر استفاده می‌گردد (Sheidaeian et al., 2015; Ashofteh and Massah, 2010; 2012). به همین دلیل و با توجه به تشابه افزایش جمعیت و رشد اقتصادی در این سناریو با وضعیت کشورهای در حال توسعه مانند ایران، این سناریو در پژوهش‌های تغییر اقلیم در ایران به طور مکرر و ویژه مورد بررسی قرار گرفته است (Yaghoubi et al., 2017; Kamal and Massah, 2012; Ashofteh and Massah, 2009; 2010).

### تولید داده و شبیه‌سازی دوره آتی

به منظور تولید داده، خروجی مدل‌های مورد بررسی شامل مقادیر دمای حداقل و حداکثر و بارش در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و آتی (۲۰۴۵-۲۰۱۶) برای سناریوی انتشار A2 از سایت توزیع داده IPCC استخراج شد که برای این منظور از داده‌های مرکز شبکه استفاده شد. در این پژوهش، ایستگاه‌های مورد بررسی درون سه شبکه قرار گرفتند، به طوری که ایستگاه‌های هاشم‌آباد گرگان، کارکنده و بندر ترکمن در داخل یک شبکه (غرب)، ایستگاه‌های رامیان، علی‌آباد، فرودگاه گرگان و آق‌قلا در داخل یک شبکه (مرکز) و سایر ایستگاه‌ها (هشت ایستگاه) در داخل یک شبکه دیگر (شرق) در مدل‌های مورد استفاده قرار گرفتند. برای تدوین سناریوی تغییر اقلیم، میزان تغییر متغیرهای دما و بارش از رابطه‌های (۱) و (۲) محاسبه شد (Semenov et al., 1998).

$$\Delta T = T_{\text{GCM}}^{\text{fut}} - T_{\text{GCM}}^{\text{base}} \quad (۱)$$

$$\Delta P = P_{\text{GCM}}^{\text{fut}} / P_{\text{GCM}}^{\text{base}} \quad (۲)$$

در رابطه (۱)  $T_{\text{GCM}}^{\text{base}}$  و  $T_{\text{GCM}}^{\text{fut}}$  به ترتیب نشان‌دهنده میانگین ماهانه دما در دوره‌های پایه و آتی می‌باشد. در رابطه (۲) بارش (P) جایگزین دما (T) شده است. بر این اساس میزان تغییر بارش و دمای ماه‌های مختلف سال در دوره آتی در مدل‌های GCM به دست آمد. برای ریزمقیاس نمایی و تولید داده برای دوره آتی با استفاده از مدل LARS-WG نسخه ۵ ابتدا فایل حاوی

۰/۸۷ و ۰/۹۵-۰/۸۴ بود که در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند. همچنین سطح معنی‌داری برابری دو جامعه (مشاهداتی و شبیه‌سازی شده) برای این متغیرها در ایستگاه‌های مختلف بر اساس آزمون t-student به ترتیب بین ۹۲-۵۴، ۹۶-۸۳ و ۹۱-۷۷ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده توانایی مدل در پیش‌بینی متغیرهای دما و بارش می‌باشد. به غیر از متغیر بارش در ایستگاه‌های قپان، گنبد و مراوه‌تپه، مقدار ضریب تبیین هر سه متغیر در همه ایستگاه‌ها بیشتر از ۰/۹ بود که نشان از توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی متغیرهای بارش و دمای حداقل و حداکثر دارد. مقدار حداکثر میانگین خطا و میانگین خطای مطلق بارش به ترتیب ۸/۵۰ و ۱۰/۵۰ میلی‌متر در ماه در ایستگاه رامیان مشاهده گردید. میزان آماره‌های میانگین خطا و میانگین خطای مطلق در مورد دمای حداقل و حداکثر در همه ایستگاه‌ها به غیر از دمای حداقل در ایستگاه آق‌قلا، در محدوده ۰/۴± درجه سانتی‌گراد بود که نشان‌دهنده دقت مناسب مدل در پیش‌بینی این متغیرها است. در عین حال میزان این آماره‌ها در خصوص دمای حداقل بسیار کمتر از دمای حداکثر بود که نشان می‌دهد دقت مدل در پیش‌بینی دمای حداقل بیشتر از دمای حداکثر است که با نتایج پژوهش‌های قبلی (Khalili et al., 2016; Hosseini et al., 2015; Rasuli et al., 2014) مطابقت دارد. این در حالی است که پژوهش Hosseini و Ahmadi (2016) نشان داد دقت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دمای حداکثر بیشتر از دمای حداقل است. تقریباً در تمامی پژوهش‌های تغییر اقلیم صورت‌گرفته در داخل و خارج از کشور به متفاوت بودن میزان دقت مدل‌های تغییر اقلیم در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف اشاره گردیده است ولی تحلیل علت این تفاوت تقریباً در هیچ منبعی گزارش نگردیده است. به نظر می‌رسد تفاوت دقت مدل LARS-WG در ماه‌های مختلف را می‌توان به تغییرات شرایط جوی در ماه‌های مختلف سال نسبت داد به گونه‌ای که خطای مدل در شبیه‌سازی بارش در ماه‌های دی و بهمن به دلیل فراگیری و مقدار بیشتر بارش و در ماه‌های گرم به دلیل بارش کمتر و حاکم بودن شرایط پرفشار کمتر است در حالی که در سایر ماه‌ها میزان خطا به دلیل ورود توده‌های باران‌زا از مناطق مختلف و ناپایداری شرایط جوی بیشتر است (Rasuli et al., 2014). همچنین اختلاف بین ایستگاه‌ها از نظر دقت شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی می‌تواند به دلیل تفاوت دقت ثبت متغیرها در ایستگاه‌های هواشناسی ناشی از نوع ایستگاه (بیشتر بودن دقت ثبت متغیرها در ایستگاه‌های سینوپتیک نسبت به اقلیم‌شناسی و در آن‌ها نسبت به تبخیرسنجی) و عوامل مورفواقلیمی (توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا، فاصله ایستگاه از مرکز شبکه مورد استفاده برای ریزمقیاس‌نمایی و غیره) باشد. در این ارتباط نتایج یک پژوهش نشان داد که ایستگاه‌های واقع در دشت یا با فاصله کمتر از مرکز شبکه از خطای کمتری نسبت به ایستگاه‌های کوهستانی و دورتر از مرکز شبکه برخوردار می‌باشند (Rasuli et al., 2014) که با

مهم داده‌ها شامل مقادیر حداقل و حداکثر، میانه، پراکندگی، عدم تقارن، مقادیر حدی، چارک‌ها و تحلیل طبقه‌های دهک‌ها را ارائه می‌کند (Amoako-Attah and B-Jahromi, 2016). اندازه جعبه نشان‌دهنده پراکندگی داده‌ها در اطراف میانه است. حدود جعبه توسط چارک اول (۲۵ درصد یا کران بالای ۲۵ درصد اول داده‌ها) و چارک سوم (۷۵ درصد یا کران بالای ۲۵ درصد سوم داده‌ها) مشخص می‌شود به آن دامنه میان‌چارکی (Inter: IQR: Quantile Range) می‌گویند. موقعیت خط در طول جعبه بیانگر میانه داده‌ها است. داده‌هایی که خارج از محدوده 1.5IQR باشند، به عنوان داده پرت منظور می‌شوند (Dibike et al., 2008). به همین منظور نمودار جعبه‌ای برای داده‌های ماهانه بارش و دما با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ ترسیم شد.

### بررسی شاخص خشکسالی

برای بررسی خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI: Standardized Precipitation Index) (McKee et al., 1993) و بسته نرم‌افزاری DIP (Morid et al., 2007) استفاده شد. در حال حاضر این شاخص توسط سازمان‌های معتبر بین‌المللی هواشناسی و اقلیم‌شناسی برای پایش جهانی خشکسالی توصیه شده است (Anonymous, 2016).

### بررسی کارایی مدل

برای تحلیل توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های بارش و دما و مقایسه آن‌ها با داده‌های دیده‌بانی شده، علاوه بر آزمون همبستگی پیرسون و t-student بر روی داده‌های روزانه، آماره‌های ضریب تبیین ( $R^2$ )، میانگین انحراف خطا (MBE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در مقیاس ماهانه محاسبه شد. بدیهی است هرچه مقدار ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر و مقدار سه آماره میانگین انحراف خطا، میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا کوچک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر خواهد بود (Khalili et al., 2016).

### تحلیل آماری

تحلیل آماری نتایج شبیه‌سازی و مقایسه آن با دوره آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ از طریق آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین به روش آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. در این ارتباط عامل سناریوی تغییر اقلیم در سه سطح شامل دوره پایه و دوره آتی بر اساس پیش‌بینی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G تعریف شد.

### نتایج و بحث

#### کارایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرها

میزان ضریب همبستگی متغیرهای بارش و دمای حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب بین ۰/۹۳-۰/۶۷، ۰/۹۸-

می‌باشد. از سوی دیگر، از آنجا که دسترسی به منبع، معادلات و فرضیات این مدل‌ها برای استفاده‌کنندگان امکان‌پذیر نمی‌باشد، بحث در خصوص دلایل تفاوت نتایج عدم قطعیت مدل‌های GCM ناظر بر فیزیک مسئله مقدور نمی‌باشد و به همین دلیل در این نوع پژوهش‌ها عموماً به ارائه تحلیل‌های آماری اکتفا می‌گردد. نتیجه بررسی عدم قطعیت هفت مدل مختلف نشان داد که مدل HadCM3 از بیشترین وزن برای هر دو متغیر بارش و دما برخوردار بود (Hafezparast et al., 2017; Ashofteh and Massah, 2010; 2012) که با نتایج این پژوهش در شبکه ایستگاه‌های مرکز و تا حدودی غرب استان گلستان مشابهت دارد. نمودار جعبه‌ای متغیرهای دما و بارش در شکل (۲) ارائه شده است. بر اساس شکل (۲) در همه ماه‌ها میزان ۱۰، ۲۵ (چارک اول)، ۵۰ (میانه)، ۷۵ (چارک سوم) و ۹۰ درصد داده‌های دمای حداقل و حداکثر در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 می‌باشد که نشان می‌دهد علاوه بر آماره میانگین (نتایج بخش بعد)، آماره‌های پراکندگی نیز افزایش بیشتر دمای دوره آتی در مدل ECHO-G در مقایسه با مدل HadCM3 را نشان می‌دهند ولی در خصوص بارش به دلیل تغییرپذیری زیاد آن، این موضوع در ماه‌های مختلف از روند مشخصی پیروی نمی‌کند. عدم قطعیت مدل‌ها را می‌توان با بررسی میزان تغییرات دما و بارش مورد بررسی قرار داد. برابری نسبی و همچنین پایین بودن واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات و دامنه تغییرات دو مدل در ماه‌های مختلف در پیش‌بینی دمای حداقل و حداکثر نشان می‌دهد که هر دو از قطعیت مناسبی برخوردار می‌باشند در حالی که بیشتر بودن این آماره‌ها جهت پیش‌بینی بارش در مدل HadCM3 در مقایسه ECHO-G حاکی از عدم قطعیت مدل HadCM3 است. همچنین اختلاف چارک اول و سوم دمای حداکثر در اغلب ماه‌ها به‌ویژه در اوت و ژانویه در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 می‌باشد ولی این ویژگی در مورد دمای حداقل در هر دو مدل عموماً یکسان و در خصوص بارش در اغلب ماه‌ها برعکس است به‌طوری‌که در همه ماه‌ها به غیر از می، سپتامبر و دسامبر اختلاف چارک اول و سوم در مدل HadCM3 بیشتر از ECHO-G است. اختلاف میزان ۹۰ و ۱۰ درصد دمای حداقل و حداکثر در بیشتر ماه‌ها بین دو مدل یکسان می‌باشد در حالی که این ویژگی در خصوص بارش در مدل HadCM3 در اغلب ماه‌ها، به غیر از مارس، نوامبر و دسامبر، بیشتر از مدل ECHO-G است.

نتایج این پژوهش مطابقت دارد. آماره ریشه میانگین مربعات خطا در مورد دمای حداقل و حداکثر بین ۰/۱ تا ۰/۵ و در مورد بارش بین ۲/۷ تا ۱۳/۷ بود که قابل قبول ارزیابی می‌گردد. کارایی مناسب مدل LARS-WG در پیش‌بینی متغیرهای دما و بارش توسط پژوهشگران (Mohammadi et al., 2017; Barzegari and Malekinezhad, 2017; Ghorbani et al., 2016; Amani et al., 2016; Hosseini and Ahmadi, 2016; Fattahi et al., 2015; Parvaneh et al., 2015; Goodarzi et al., 2015; Khosrovani et al., 2015; Babaeian et al., 2010) گزارش گردیده بود.

### بررسی میزان عدم قطعیت مدل‌های بررسی

برای بررسی میزان عدم قطعیت ناشی از به‌کارگیری خروجی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G از روش وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی و روش نمودار جعبه‌ای استفاده شد. وزن مدل‌های GCM مورد بررسی در شبیه‌سازی این متغیرها در سه شبکه غرب، مرکز و شرق استان گلستان در جدول (۱) ارائه شده است. لازم به ذکر است که در بررسی میزان عدم قطعیت، به جای دمای حداقل و حداکثر از دمای میانگین استفاده گردید زیرا مدل LARS-WG جهت شبیه‌سازی دمای حداقل و حداکثر از یک ضریب تغییرات استفاده می‌کند. نتایج نشان داد که در خصوص شبیه‌سازی متغیر بارش در منطقه شرق استان گلستان، مدل HadCM3 در فصل‌های پاییز و زمستان و مدل ECHO-G در فصل‌های بهار و تابستان وزن بیشتری دارد. همچنین مدل HadCM3 در منطقه غرب استان به غیر از ماه مارس و در منطقه مرکزی به غیر از ماه می در بقیه ماه‌ها نسبت به مدل ECHO-G وزن بیشتری در شبیه‌سازی متغیر بارش دارد. در خصوص شبیه‌سازی متغیر دما، در منطقه غرب استان مدل ECHO-G در فصل‌های تابستان و پاییز و مدل HadCM3 در فصل‌های زمستان و بهار بیشترین وزن را داشتند. در منطقه مرکزی استان، به غیر از ماه‌های ژوئن و جولای، مدل HadCM3 وزن بیشتری از مدل ECHO-G داشت در حالی که در منطقه شرق استان، مدل HadCM3 فقط در فصل تابستان وزن بیشتری از مدل ECHO-G داشت و در سایر فصل‌ها مدل ECHO-G از وزن بیشتری برخوردار بود. لازم به ذکر است که با توجه به عوامل مختلف مورفواقلیمی موثر بر متغیرهای اقلیمی، قوانین حاکم بر آنها در سطح زمین و اتمسفر و ساختار متفاوت مدل‌های GCM، دقت مدل‌های مورد مطالعه در مناطق و ماه‌های مختلف متفاوت



جدول ۱- وزن‌های به‌دست آمده برای شبیه‌سازی بارش و دما در مدل‌های GCM  
**Table 1- The calculated weights for simulating precipitation and temperature in GCM models**

| Month  | Precipitation  |        |                |        |                |        | Temperature    |        |                |        |                |        |
|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
|        | Western region |        | Central region |        | Eastern region |        | Western region |        | Central region |        | Eastern region |        |
|        | HadCM3         | ECHO-G | HadCM3         | ECHO-G | HadCM3         | ECHO-G | HadCM3         | ECHO-G | HadCM3         | ECHO-G | HadCM3         | ECHO-G |
| Jan.   | 0.62           | 0.38   | 0.88           | 0.12   | 0.88           | 0.12   | 0.58           | 0.42   | 0.61           | 0.39   | 0.41           | 0.59   |
| Feb.   | 0.97           | 0.03   | 0.61           | 0.39   | 0.77           | 0.23   | 0.74           | 0.26   | 0.72           | 0.28   | 0.38           | 0.62   |
| March  | 0.39           | 0.61   | 0.58           | 0.42   | 0.63           | 0.37   | 0.99           | 0.01   | 0.81           | 0.19   | 0.23           | 0.17   |
| April  | 0.96           | 0.04   | 0.53           | 0.47   | 0.36           | 0.64   | 0.57           | 0.43   | 0.88           | 0.12   | 0.08           | 0.92   |
| May    | 0.84           | 0.16   | 0.15           | 0.85   | 0.02           | 0.98   | 0.34           | 0.66   | 0.72           | 0.28   | 0.15           | 0.85   |
| June   | 0.91           | 0.09   | 0.80           | 0.20   | 0.43           | 0.57   | 0.04           | 0.96   | 0.28           | 0.72   | 0.89           | 0.11   |
| July   | 0.78           | 0.22   | 0.80           | 0.20   | 0.48           | 0.52   | 0.23           | 0.77   | 0.08           | 0.92   | 0.68           | 0.32   |
| August | 0.74           | 0.26   | 0.62           | 0.38   | 0.49           | 0.51   | 0.22           | 0.78   | 0.52           | 0.48   | 0.66           | 0.34   |
| Sep.   | 0.57           | 0.43   | 0.57           | 0.43   | 0.46           | 0.54   | 0.44           | 0.56   | 0.68           | 0.32   | 0.02           | 0.98   |
| Oct.   | 0.56           | 0.44   | 0.62           | 0.38   | 0.70           | 0.30   | 0.70           | 0.30   | 0.63           | 0.37   | 0.19           | 0.81   |
| Nov.   | 0.94           | 0.06   | 0.96           | 0.04   | 0.71           | 0.29   | 0.53           | 0.47   | 0.55           | 0.45   | 0.22           | 0.78   |
| Dec.   | 0.57           | 0.43   | 0.78           | 0.22   | 0.69           | 0.31   | 0.55           | 0.45   | 0.57           | 0.43   | 0.35           | 0.65   |

Among the two studied models, more precision model for simulating precipitation and temperature variables in different months is shown with color background.

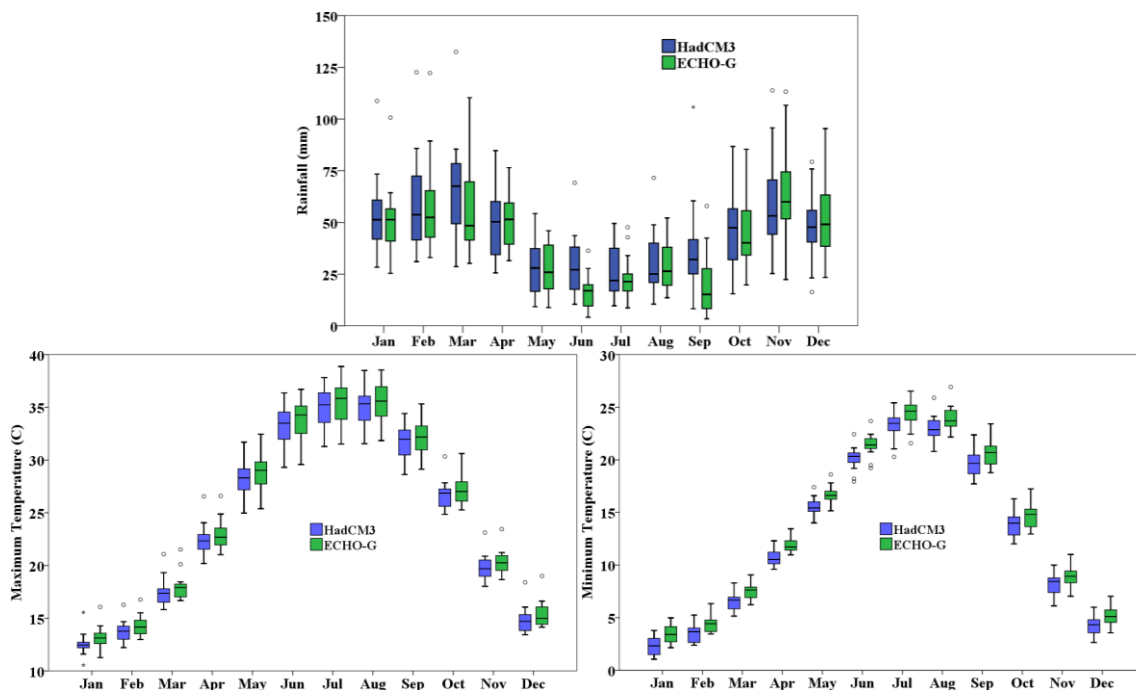


Fig. 2- Box plot of precipitation (above) and minimum (down-left) and maximum (down-right) temperatures variables

شکل ۲- نمودار جعبه‌ای متغیرهای بارش (بالا) و دمای حداقل (پایین- راست) و حداکثر (پایین- چپ)

به‌طوری‌که نتایج برخی مدل‌ها حاکی از افزایش بارش و برخی دیگر نشان‌گر کاهش بارش بود. گزارش شده است که میزان بارش سالانه در اغلب ماه‌ها و در کل سال در کشور و از جمله استان گلستان و ایستگاه هاشم‌آباد در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت پیش‌بینی مدل ECHO-G کاهش می‌یابد (Babaeian et al., 2010) که با نتایج این پژوهش کاملاً مطابقت دارد. همچنین Khazaei و Byzedi (2016) افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش بارش دوره آتی را پیش‌بینی کردند.

مدل HadCM3 افزایش بارش در تمام ماه‌ها به غیر از می و دسامبر را پیش‌بینی می‌کند به‌طوری‌که میانگین بارش سالانه استان در دوره آتی نسبت به دوره پایه به میزان ۳۰/۹ میلی‌متر (۶/۱ درصد) افزایش خواهد یافت. این در حالی است که برآورد مدل ECHO-G نشان داد که میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌ها در تمام ماه‌ها، به غیر از آوریل، جولای، اوت، نوامبر و دسامبر، نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت و این کاهش در مقیاس سالانه به میزان ۱۱/۸ میلی‌متر (۲/۳ درصد) به‌دست آمد.

بر اساس نتایج، بیشترین افزایش و کاهش میانگین بارش توسط مدل HadCM3 به‌ترتیب در ماه‌های ژوئن و می به میزان ۷/۵ و ۲/۱ میلی‌متر و توسط مدل ECHO-G به‌ترتیب در ماه‌های نوامبر و سپتامبر به میزان ۷/۲ و ۱۵/۳ میلی‌متر رخ خواهد داد. همچنین میانگین دمای حداقل ایستگاه‌های استان گلستان بر اساس برآورد مدل‌های HadCM3 و ECHO-G در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت اما این افزایش در همه ماه‌ها در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 می‌باشد.

### تغییرات میانگین بارش و دما ایستگاه‌ها

میزان تغییر متغیرهای بارش و دمای ماه‌های مختلف سال در دوره آتی در مدل‌های GCM مطابق جدول (۲) به‌دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مدل HadCM3 در اغلب ماه‌ها افزایش بارش را تخمین می‌زند در حالی که مدل ECHO-G کاهش بارش را پیش‌بینی می‌کند. همچنین در حالی‌که افزایش دما دوره آتی در هر دو مدل مورد انتظار است، میزان آن در مناطق مختلف متفاوت است. دلیل این تفاوت به سه عامل ارتفاع، عرض جغرافیایی و رطوبت جو نسبت داده شده است (Abbasnia et al., 2016). میانگین بارش و دماهای حداقل و حداکثر ماهانه در دوره پایه و دوره آتی در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج نشان داد که به‌طور کلی در دوره آتی دمای هوا در همه ماه‌ها در هر دو مدل، به غیر از ژانویه در مدل HadCM3، نسبت به دوره آماری پایه افزایش می‌یابد ولی میزان و جهت تغییرات بارش در دو مدل در ماه‌های مختلف متفاوت می‌باشد به طوری‌که مدل HadCM3 افزایش بارش و مدل ECHO-G کاهش بارش را نشان داد. افزایش دما و بارش تحت سناریو A2 مدل HadCM3 برای حوزه آبریز رودخانه هرات اعظم یزد (Goodarzi et al. 2015)، دشت یزد-اردکان (Barzegari and Malekinezhad, 2017)، حوزه قره‌سو استان گلستان (Khosrovanian et al., 2015) و استان گلستان (Ghorbani et al., 2016) پیش‌بینی شده بود که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. تفاوت مدل‌های مختلف در پیش‌بینی میزان و جهت بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه توسط Ashofteh و Massah (2012) نیز گزارش شد.

جدول ۲- میزان تغییر متغیرهای بارش و دما در دوره آبی در غرب، مرکز و شرق استان گلستان

Table 2- Variation rate of precipitation and temperature in future period in western, central and eastern regions of Golestan province

| Month  | HadCM3 model       |        |      |                                 |        |      | ECHO-G model       |        |      |                                 |        |      |
|--------|--------------------|--------|------|---------------------------------|--------|------|--------------------|--------|------|---------------------------------|--------|------|
|        | Precipitation (mm) |        |      | Min. and Max. Temperatures (°C) |        |      | Precipitation (mm) |        |      | Min. and Max. Temperatures (°C) |        |      |
|        | West               | Center | East | West                            | Center | East | West               | Center | East | West                            | Center | East |
| Jan.   | 1.00               | 1.00   | 1.00 | 0.34                            | 0.32   | 0.31 | 0.91               | 0.90   | 1.00 | 1.51                            | 1.56   | 1.64 |
| Feb.   | 1.00               | 1.01   | 1.01 | 0.47                            | 0.47   | 0.45 | 0.92               | 0.90   | 0.93 | 1.32                            | 1.17   | 1.32 |
| March  | 1.04               | 1.05   | 1.06 | 0.48                            | 0.47   | 0.45 | 0.99               | 0.94   | 0.93 | 1.47                            | 1.51   | 1.54 |
| April  | 1.05               | 1.04   | 1.05 | 0.38                            | 0.36   | 0.34 | 1.05               | 0.99   | 1.04 | 1.72                            | 1.82   | 1.63 |
| May    | 1.02               | 1.03   | 1.04 | 0.43                            | 0.42   | 0.40 | 0.89               | 0.87   | 0.90 | 1.75                            | 1.79   | 1.45 |
| June   | 1.09               | 1.16   | 1.18 | 0.57                            | 0.56   | 0.55 | 0.74               | 0.72   | 0.64 | 2.08                            | 2.05   | 1.95 |
| July   | 1.16               | 1.27   | 1.31 | 0.63                            | 0.62   | 0.60 | 1.00               | 0.75   | 1.30 | 1.83                            | 1.79   | 1.98 |
| August | 1.08               | 1.15   | 1.17 | 0.59                            | 0.57   | 0.57 | 1.24               | 1.09   | 1.34 | 1.64                            | 1.66   | 1.59 |
| Sep.   | 0.97               | 0.98   | 0.99 | 0.58                            | 0.56   | 0.56 | 0.52               | 0.60   | 0.38 | 1.70                            | 1.56   | 1.58 |
| Oct.   | 0.99               | 0.99   | 0.99 | 0.58                            | 0.57   | 0.57 | 0.98               | 0.95   | 1.03 | 1.44                            | 1.40   | 1.40 |
| Nov.   | 1.04               | 1.05   | 1.06 | 0.50                            | 0.50   | 0.49 | 1.06               | 1.15   | 1.20 | 1.32                            | 1.50   | 1.36 |
| Dec.   | 1.04               | 1.04   | 1.04 | 0.37                            | 0.35   | 0.34 | 0.93               | 0.96   | 1.03 | 1.24                            | 1.22   | 1.21 |

جدول ۳- میانگین ماهانه بارش و دمای حداقل و حداکثر در دوره‌های پایه و آبی

Table 3- Average of precipitation and Min. and Max. temperatures in base and future periods

| Variable              | Period          | Jan. | Feb. | March | April | May  | June | July | August | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Yearly |
|-----------------------|-----------------|------|------|-------|-------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|
| Precipitation (mm)    | Base            | 51.8 | 58.3 | 59.1  | 48.6  | 29.9 | 21.1 | 20.9 | 26.4   | 35.1 | 45.6 | 58.0 | 51.4 | 506.2  |
|                       | Future (HadCM3) | 53.9 | 59.0 | 66.1  | 50.6  | 27.8 | 28.6 | 27.2 | 31.0   | 37.0 | 45.6 | 60.6 | 49.8 | 537.2  |
|                       | Future (ECHO-G) | 51.2 | 58.1 | 56.4  | 51.0  | 27.0 | 16.0 | 22.8 | 29.9   | 19.8 | 45.2 | 65.2 | 51.8 | 494.4  |
| Min. temperature (°C) | Base            | 2.2  | 3.2  | 5.9   | 10.2  | 15.0 | 19.7 | 22.6 | 22.6   | 19.1 | 13.5 | 7.8  | 3.9  | 12.1   |
|                       | Future (HadCM3) | 2.3  | 3.5  | 6.5   | 10.7  | 15.5 | 20.1 | 23.2 | 23.0   | 19.6 | 13.9 | 8.2  | 4.3  | 12.6   |
|                       | Future (ECHO-G) | 3.5  | 4.5  | 7.5   | 12.0  | 16.8 | 21.6 | 24.6 | 24.1   | 20.7 | 14.8 | 9.1  | 5.3  | 13.7   |
| Max. temperature (°C) | Base            | 12.8 | 13.7 | 17.3  | 21.9  | 28.0 | 32.9 | 34.4 | 34.7   | 31.4 | 26.5 | 19.5 | 14.7 | 24.0   |
|                       | Future (HadCM3) | 12.5 | 13.8 | 17.5  | 22.5  | 28.3 | 33.1 | 35.0 | 35.0   | 31.7 | 26.7 | 19.9 | 14.9 | 24.2   |
|                       | Future (ECHO-G) | 13.1 | 14.3 | 18.0  | 23.0  | 28.9 | 33.6 | 35.4 | 35.4   | 32.1 | 27.1 | 20.4 | 15.4 | 24.7   |

آذربایجان شرقی در ماه‌های مختلف را با مدل HadCM3 و Babaeian et al. (2010) افزایش دمای کشور و از جمله استان گلستان در اغلب ماه‌ها را با مدل ECHO-G گزارش کردند.

نتایج آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین سناریوی تغییر اقلیم و ایستگاه هواشناسی به ترتیب در جدول‌های (۴) و (۵) ارائه شده است. اثر سناریوی تغییر اقلیم و ایستگاه هواشناسی بر میزان بارش در سطح یک درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. برهمکنش معنی‌دار سناریوی تغییر اقلیم و ایستگاه هواشناسی نشان می‌دهد که واکنش ایستگاه‌های مختلف هواشناسی به سناریو تغییر اقلیم از نظر میزان بارش متفاوت است. نتایج نشان داد که بین بارش سالانه ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در عین حال اختلاف بین ایستگاه‌ها در سناریوهای مختلف تا حدودی متفاوت است. همچنین در هر سه سناریو و در شرایط میانگین سه سناریو بیشترین بارش در بین ایستگاه‌های مورد بررسی در رامیان و کمترین میزان در اینچه‌برون و آق‌تقه مشاهده شد به طوری که اختلاف هر سه ایستگاه با سایر

نتایج نشان داد که میانگین سالانه دمای حداقل توسط مدل‌های HadCM3 و ECHO-G به ترتیب ۰/۵ و ۱/۶ (به طور میانگین یک) درجه سانتی‌گراد معادل به ترتیب معادل ۱/۴ و ۱۳/۲ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین بیشترین افزایش در هر دو مدل مربوط به ماه جولای بود. هر دو مدل افزایش میانگین دمای حداکثر ایستگاه‌ها را در تمام ماه‌ها به غیر از ماه ژانویه در مدل HadCM3 پیش‌بینی کردند. برآورد مدل‌های HadCM3 و ECHO-G نشان داد که میانگین سالانه دمای حداکثر ایستگاه‌ها به ترتیب به میزان ۰/۲ و ۰/۷ (به طور میانگین ۰/۴۵) درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر ۰/۸ و ۲/۹ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین بیشترین افزایش این متغیر در هر دو مدل در ماه آوریل بود. افزایش دمای حداکثر و حداقل حوزه تهن استان مازندران در بازه زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ به ترتیب ۱ و ۰/۶ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد (Sheidaei et al., 2015) که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی نزدیکی دارد. همچنین Massah و Ashofteh (2012) افزایش دمای حوزه قرقون

غیرمعنی‌دار برآورد گردید. در مقیاس سالانه در هر دو مدل پیش‌بینی می‌شود که درصد وقوع سال‌های مرطوب و خشک نسبت به دوره پایه افزایش یابد ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. در عین حال در دوره آتی نسبت به دوره پایه از میزان وقوع دوره نرمال کاسته می‌گردد که این کاهش توسط مدل ECHO-G معنی‌دار و توسط مدل HadCM3 غیرمعنی‌دار برآورد شد. بر اساس خروجی مدل ECHO-G، در مقیاس ماهانه کاهش درصد وقوع خشکسالی متوسط و ترسالی متوسط و در مقیاس سالانه کاهش درصد وقوع خشکسالی خیلی شدید و افزایش درصد وقوع ترسالی خیلی شدید نسبت به دوره پایه معنی‌دار است. در مجموع تغییرات میزان و درصد وقوع طبقه‌های نه‌گانه خشکسالی در دوره آتی نسبت به دوره پایه در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 می‌باشد به طوری که در هیچ‌کدام از طبقه‌های نه‌گانه خشکسالی در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه اختلاف معنی‌داری بین دوره آماری پایه با پیش‌بینی دوره آتی بر اساس خروجی مدل HadCM3 مشاهده نگردید. در دوره‌های پایه و آتی و در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه بیشترین درصد وقوع مربوط به طبقه نرمال بود که اختلاف معنی‌داری با سایر طبقه‌ها داشت. در دوره‌های پایه و آتی در مقیاس ماهانه بین طبقه‌های خشکسالی (متوسط، شدید و خیلی شدید) و طبقه‌های ترسالی (متوسط، شدید و خیلی شدید) اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید ولی در مقیاس سالانه اختلاف معنی‌داری بین درصد وقوع خشکسالی شدید و خیلی شدید وجود نداشت. در مقیاس سالانه اختلاف بین طبقه‌های ترسالی شدید با خیلی شدید در دوره آماری پایه و اختلاف بین ترسالی متوسط با شدید و بین ترسالی شدید با خیلی شدید در مدل ECHO-G معنی‌دار نبود. در مقیاس ماهانه در دوره‌های پایه و آتی درصد وقوع طبقه مرطوب برتری معنی‌داری نسبت به طبقه خشک داشت ولی در مقیاس سالانه اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نگردید. مقایسه سایر طبقه‌های متناظر خشکسالی با ترسالی (خشکسالی متوسط با ترسالی متوسط، خشکسالی شدید با ترسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید با ترسالی خیلی شدید) نشان داد که در مقیاس ماهانه در دوره پایه و آتی بر اساس مدل ECHO-G اختلاف معنی‌دار بین طبقه‌های متناظر وجود ندارد ولی بر اساس مدل HadCM3 درصد وقوع ترسالی متوسط از برتری معنی‌داری نسبت به خشکسالی متوسط برخوردار است. در مقیاس سالانه در دوره پایه و آتی بر اساس مدل HadCM3 اختلاف معنی‌دار بین طبقه‌های متناظر وجود نداشت ولی بر اساس مدل ECHO-G درصد وقوع خشکسالی متوسط از برتری معنی‌داری نسبت به ترسالی متوسط برخوردار بود.

ایستگاه‌ها معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که پیش‌بینی میزان بارش سالانه ایستگاه‌ها در دوره آتی توسط مدل HadCM3 با اختلاف معنی‌داری بیشتر از دوره پایه و پیش‌بینی دوره آتی توسط مدل ECHO-G است. بین بارش سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در ایستگاه‌های رامیان، کارکنده، قپان، گرگان و گنبد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد ولی اثر این عامل در سایر ایستگاه‌ها معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد علت تفاوت این تغییرات در ایستگاه‌های مختلف استان به عوامل مورفواقلیمی (ارتفاع، عرض جغرافیایی، فاصله از دریا، شرایط توپوگرافی، رطوبت جو و غیره) بستگی دارد که تحلیل این موضوع به پژوهش‌های بیشتری نیاز دارد.

به منظور مقایسه تغییرات بارش در دوره پایه و آتی پهنه‌بندی بارش سالانه استان به روش IDW با حدود طبقه‌های بارش یکسان تهیه شد که نتایج در جدول (۶) ارائه شده است. در دوره آتی بارش سالانه استان از  $505/1$  میلی‌متر با حدود  $6/8$  درصد افزایش به  $539/7$  میلی‌متر در شرایط پیش‌بینی با مدل HadCM3 و با حدود  $1/9$  درصد کاهش به  $495/8$  میلی‌متر در شرایط پیش‌بینی با مدل ECHO-G خواهد رسید. این مقادیر و میزان تغییرات تقریباً معادل تغییرات بارش ایستگاه‌ها است. همچنین در حالی که بیشترین فراوانی طبقه‌های بارش در دوره آماری پایه و مدل ECHO-G در محدوده بارش سالانه  $350$  تا  $550$  میلی‌متر است، در مدل HadCM3 این ویژگی در محدوده  $450$  تا  $650$  میلی‌متر مشاهده گردید. این نتایج با یافته‌های Ghorbani et al. (2016) هم‌خوانی دارد.

### بررسی خشکسالی هواشناسی

نتایج آزمون‌های تجزیه واریانس وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی در جدول‌های (۷) و (۸) ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر سناریوی تغییر اقلیم در مقیاس ماهانه فقط بر درصد وقوع دوره‌های نرمال و مرطوب و در مقیاس سالانه فقط بر درصد وقوع دوره ترسالی خیلی شدید تأثیر دارد ولی اثر آن بر سایر طبقه‌های خشکسالی از نظر آماری در هر دو مقیاس ماهانه و سالانه بی‌تأثیر بود (جدول ۷). همچنین در بررسی اثر طبقه‌های خشکسالی در هر یک از سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس آزمون تجزیه واریانس (جدول ۸) می‌توان مشاهده کرد این عامل بر هر سه سناریو در هر دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه اثر معنی‌داری دارد که نشان می‌دهد از نظر طبقه‌های نه‌گانه درصد وقوع خشکسالی بین سناریوها در هر دو مقیاس زمانی تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشد. نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر تغییر اقلیم بر درصد وقوع طبقه‌های خشکسالی در جدول (۹) ارائه شده است. در مقیاس ماهانه، درصد وقوع ماه‌های خشک در دوره آتی در هر دو مدل پیش‌بینی نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. در عین حال کاهش وقوع ماه‌های مرطوب و افزایش وقوع ماه‌های نرمال در دوره آتی نسبت به دوره پایه توسط مدل ECHO-G معنی‌دار و توسط مدل HadCM3

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر سناریو و ایستگاه برای بارش

Table 4- The result of analysis of variance (ANOVA) of scenario and station on precipitation

| Source of variation | d.f. | Mean square | Sig.  |
|---------------------|------|-------------|-------|
| Scenario (A)        | 2    | 213506.7    | 0.000 |
| Station (B)         | 14   | 2200047.8   | 0.000 |
| Interaction of A*B  | 28   | 24121.6     | 0.019 |
| Error               | 1305 | 14687.0     | -     |

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین بارش سالانه (میلی متر) ایستگاه‌ها و سناریوهای مختلف

Table 5- The result of means comparison of yearly precipitation (mm) in different stations and scenarios

| Scenario        | Ramian              | Maraveh Tappeh       | Karkandeh           | Gorgan-Airport       | Ghappan             | Gorgan               | Ali-Abad           | Kalaleh             |
|-----------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Base            | 942.7 <sup>ab</sup> | 364.3 <sup>b</sup>   | 626.6 <sup>cd</sup> | 514.7 <sup>efg</sup> | 551.5 <sup>de</sup> | 537.2 <sup>de</sup>  | 724.3 <sup>a</sup> | 609.3 <sup>d</sup>  |
| Future (HadCM3) | 994.8 <sup>a</sup>  | 487.3 <sup>fg</sup>  | 645.0 <sup>cd</sup> | 513.9 <sup>fg</sup>  | 649.7 <sup>c</sup>  | 585.5 <sup>de</sup>  | 766.2 <sup>a</sup> | 605.6 <sup>cd</sup> |
| Future (ECHO-G) | 843.2 <sup>b</sup>  | 458.1 <sup>efg</sup> | 579.3 <sup>b</sup>  | 498.4 <sup>def</sup> | 532.9 <sup>cd</sup> | 501.7 <sup>def</sup> | 722.4 <sup>a</sup> | 587.3 <sup>c</sup>  |
| Mean            | 926.9 <sup>a</sup>  | 436.6 <sup>e</sup>   | 617.0 <sup>c</sup>  | 509.1 <sup>d</sup>   | 578.0 <sup>c</sup>  | 536.5 <sup>d</sup>   | 737.6 <sup>b</sup> | 600.7 <sup>c</sup>  |
| Scenario        | Gonbad              | Bandar Torkman       | Agh-Ghalla          | Soofi Sheikh         | Mazraeh             | Inche-Broon          | Agh-Togheh         | Province            |
| Base            | 456.2 <sup>fg</sup> | 446.1 <sup>fg</sup>  | 428.5 <sup>gh</sup> | 520.4 <sup>ef</sup>  | 357.8 <sup>h</sup>  | 264.2 <sup>i</sup>   | 249.1 <sup>a</sup> | 506.2 <sup>b</sup>  |
| Future (HadCM3) | 500.7 <sup>fg</sup> | 462.6 <sup>gh</sup>  | 426.0 <sup>hi</sup> | 539.3 <sup>ef</sup>  | 368.8 <sup>a</sup>  | 261.3 <sup>k</sup>   | 250.0 <sup>k</sup> | 537.1 <sup>a</sup>  |
| Future (ECHO-G) | 419.6 <sup>gh</sup> | 449.6 <sup>fg</sup>  | 419.2 <sup>gh</sup> | 513.7 <sup>de</sup>  | 368.2 <sup>h</sup>  | 260.5 <sup>i</sup>   | 262.1 <sup>a</sup> | 494.4 <sup>b</sup>  |
| Mean            | 458.8 <sup>e</sup>  | 452.8 <sup>e</sup>   | 424.6 <sup>e</sup>  | 524.5 <sup>d</sup>   | 364.9 <sup>f</sup>  | 262.0 <sup>g</sup>   | 253.7 <sup>g</sup> | -                   |

At least one similar sign in each column (as superscript) or in each row (as subscript) indicates that there was no significant difference between scenarios and stations at the 5% level based on the LSD test, respectively.

جدول ۶- وسعت بارش سالانه طبقه‌های مختلف (کیلومتر مربع) در دوره‌های پایه و آتی

Table 6- The extent (Km<sup>2</sup>) of yearly precipitation in base and future periods

| No. | Precipitation class limits (mm) | Base period |       | Future (HadCM3) |       | Future (ECHO-G) |       |
|-----|---------------------------------|-------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|     |                                 | Extent (ha) | %     | Extent (ha)     | %     | Extent (ha)     | %     |
| 1   | Less than 250                   | 3           | 0.01  | 0               | 0.00  | 0               | 0.00  |
| 2   | 250-350                         | 1020        | 5.05  | 650             | 3.22  | 791             | 3.91  |
| 3   | 350-450                         | 4545        | 22.48 | 2530            | 12.52 | 4737            | 23.43 |
| 4   | 450-550                         | 9609        | 47.54 | 8799            | 43.53 | 10941           | 54.13 |
| 5   | 550-650                         | 3142        | 15.54 | 5886            | 29.12 | 2290            | 11.33 |
| 6   | 650-750                         | 1359        | 6.72  | 1423            | 7.04  | 1229            | 6.08  |
| 7   | 750-850                         | 366         | 1.81  | 639             | 3.16  | 226             | 1.12  |
| 8   | 850-950                         | 170         | 0.84  | 217             | 1.07  | 0               | 0.00  |
| 9   | Greater than 950                | 0           | 0.00  | 70              | 0.35  | 0               | 0.00  |
|     | Weighted average                | 505.1       | 100   | 539.7           | 100   | 495.8           | 100   |

جدول ۷- نتایج آزمون تجزیه واریانس سناریو تغییر اقلیم در هر یک طبقه‌های خشکسالی

Table 7- The results of analysis of variance of climate change scenario in each drought classes

| Scale   | S.O.V.*        | Extremely D. | Severe D. | Moderate D. | Drought (D.) | Normal | Wet (W.) | Moderate W. | Severe W. | Extremely W. |
|---------|----------------|--------------|-----------|-------------|--------------|--------|----------|-------------|-----------|--------------|
| Monthly | Between groups | 0.12         | 0.75      | 8.15        | 6.91         | 24.15  | 5.82     | 5.09        | 0.53      | 0.67         |
|         | Within groups  | 0.63         | 1.21      | 4.51        | 5.78         | 7.62   | 1.91     | 2.72        | 1.25      | 0.55         |
|         | Sig. level     | 0.83         | 0.54      | 0.18        | 0.31         | 0.05   | 0.05     | 0.17        | 0.66      | 0.31         |
| Yearly  | Between groups | 18.63        | 13.84     | 36.21       | 18.60        | 91.39  | 30.49    | 0.98        | 11.97     | 20.86        |
|         | Within groups  | 11.09        | 10.83     | 34.55       | 21.80        | 51.93  | 16.63    | 16.46       | 13.45     | 6.65         |
|         | Sig. level     | 0.20         | 0.29      | 0.36        | 0.43         | 0.18   | 0.17     | 0.94        | 0.42      | 0.05         |

\* Freedom degree between and within groups is 2 and 42, respectively.

جدول ۸- نتایج آزمون تجزیه واریانس طبقه خشکسالی در هر یک سناریوهای تغییر اقلیم

Table 8- The results of analysis of variance of drought class in each climate change scenario

| Scale          | Monthly |             |                 | Yearly          |             |                 |                 |
|----------------|---------|-------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
|                | S.O.V.* | Base period | Future (HadCM3) | Future (ECHO-G) | Base period | Future (HadCM3) | Future (ECHO-G) |
| Between groups |         | 6279.43     | 6564.86         | 6823.82         | 7432.68     | 6665.68         | 6292.90         |
| Within groups  |         | 3.91        | 3009.36         | 2.63            | 24.38       | 17.80           | 18.89           |
| Sig. level     |         | 0.00        | 0.00            | 0.00            | 0.00        | 0.00            | 0.00            |

\* Freedom degree between and within groups is 8 and 126, respectively.

جدول ۹- نتایج آزمون مقایسه میانگین اثر تغییر اقلیم بر درصد وقوع طبقه‌های مختلف خشکسالی

Table 9- The results of analysis of variance of drought class in each climate change scenario

| Scale   | Treatment       | Extremely D.                    | Severe D.                       | Moderate D.                     | Drought (D.)                    | Normal                           | Wet (W.)                         | Moderate W.                      | Severe W.                       | Extremely W.                    |
|---------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Monthly | Base            | 1.83 <sub>f</sub> <sup>a</sup>  | 3.93 <sub>e</sub> <sup>a</sup>  | 9.99 <sub>d</sub> <sup>a</sup>  | 15.75 <sub>c</sub> <sup>a</sup> | 67.13 <sub>a</sub> <sup>b</sup>  | 17.14 <sub>b</sub> <sup>a</sup>  | 10.89 <sub>d</sub> <sup>a</sup>  | 4.91 <sub>e</sub> <sup>a</sup>  | 1.31 <sub>f</sub> <sup>a</sup>  |
|         | Future (HadCM3) | 1.65 <sub>g</sub> <sup>a</sup>  | 4.35 <sub>f</sub> <sup>a</sup>  | 8.82 <sub>e</sub> <sup>ab</sup> | 14.82 <sub>c</sub> <sup>a</sup> | 68.52 <sub>a</sub> <sup>ab</sup> | 16.67 <sub>b</sub> <sup>ab</sup> | 10.22 <sub>d</sub> <sup>ab</sup> | 4.69 <sub>f</sub> <sup>a</sup>  | 1.71 <sub>g</sub> <sup>a</sup>  |
|         | Future (ECHO-G) | 1.78 <sub>f</sub> <sup>a</sup>  | 3.99 <sub>e</sub> <sup>a</sup>  | 8.63 <sub>d</sub> <sup>b</sup>  | 14.43 <sub>c</sub> <sup>a</sup> | 69.66 <sub>a</sub> <sup>a</sup>  | 15.91 <sub>b</sub> <sup>b</sup>  | 9.73 <sub>d</sub> <sup>b</sup>   | 4.54 <sub>e</sub> <sup>a</sup>  | 1.61 <sub>f</sub> <sup>a</sup>  |
| Yearly  | Base            | 3.55 <sub>d</sub> <sup>a</sup>  | 2.67 <sub>d</sub> <sup>a</sup>  | 8.66 <sub>c</sub> <sup>a</sup>  | 14.89 <sub>b</sub> <sup>a</sup> | 72.22 <sub>a</sub> <sup>a</sup>  | 12.90 <sub>b</sub> <sup>a</sup>  | 8.00 <sub>c</sub> <sup>a</sup>   | 3.77 <sub>d</sub> <sup>a</sup>  | 1.11 <sub>d</sub> <sup>b</sup>  |
|         | Future (HadCM3) | 2.21 <sub>e</sub> <sup>ab</sup> | 4.43 <sub>de</sub> <sup>a</sup> | 9.11 <sub>c</sub> <sup>a</sup>  | 15.79 <sub>b</sub> <sup>a</sup> | 69.10 <sub>a</sub> <sup>ab</sup> | 15.12 <sub>b</sub> <sup>a</sup>  | 7.99 <sub>c</sub> <sup>a</sup>   | 5.56 <sub>d</sub> <sup>a</sup>  | 1.55 <sub>e</sub> <sup>b</sup>  |
|         | Future (ECHO-G) | 1.33 <sub>f</sub> <sup>b</sup>  | 4.22 <sub>ef</sub> <sup>a</sup> | 11.55 <sub>c</sub> <sup>a</sup> | 17.11 <sub>b</sub> <sup>a</sup> | 67.35 <sub>a</sub> <sup>b</sup>  | 15.56 <sub>b</sub> <sup>a</sup>  | 7.55 <sub>d</sub> <sup>a</sup>   | 4.66 <sub>de</sub> <sup>a</sup> | 3.33 <sub>ef</sub> <sup>a</sup> |

At least one similar sign in each column (as superscript) or in each row (as subscript) indicates that there was no significant difference between scenarios and drought classes at the 5% level based on the LSD test, respectively.

HadCM3 پیش‌بینی شد به‌طوری‌که میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های استان در دوره آبی نسبت به دوره پایه حدود شش درصد (۳۰/۹ میلی‌متر) افزایش خواهد یافت که اختلاف معنی‌داری با دوره آماری پایه دارد. این در حالی است که برآورد مدل ECHO-G نشان داد که میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌های استان در نیمی از ماه‌های سال نسبت به دوره آماری پایه کاهش خواهد یافت و این کاهش در مقیاس سالانه کمی بیش از دو درصد (۱۱/۸ میلی‌متر) است که از نظر آماری معنی‌دار نبود. از نظر خشکسالی، کاهش وقوع دوره مرطوب و افزایش وقوع دوره نرمال در دوره آبی نسبت به دوره آماری پایه در مقیاس ماهانه توسط مدل ECHO-G معنی‌دار و توسط مدل HadCM3 غیرمعنی‌دار برآورد گردید ولی در مقیاس سالانه هر دو مدل افزایش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب را در دوره آبی نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کردند ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که بیشترین مساحت طبقه‌های بارش سالانه در دوره آماری پایه و دوره آبی در مدل ECHO-G به حدود بارش ۳۵۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر و در مدل HadCM3 به حدود بارش ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر اختصاص دارد. همچنین پیش‌بینی گردید که بیشترین میزان تغییر بارش سالانه در دوره آبی توسط مدل HadCM3 در شهرستان‌های مراوه‌تپه، کردکوی و کلاله و توسط مدل ECHO-G در شهرستان‌های بندرگز، رامیان و مراوه‌تپه رخ خواهد داد.

### نتیجه‌گیری

میزان عدم قطعیت مدل‌های GCM مورد بررسی به روش وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی در مناطق و ماه‌های مختلف متفاوت به‌دست آمد. در عین حال می‌توان اظهار داشت که در شبیه‌سازی متغیرهای بارش و دما مدل HadCM3 در منطقه‌های غرب و مرکز و مدل ECHO-G در منطقه شرق وزن بیشتری داشتند. بر اساس نتایج نمودار جعبه‌ای، اختلاف چارک اول و سوم دمای حداکثر در اغلب ماه‌ها در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 بود ولی این ویژگی در مورد دمای حداقل در هر دو مدل عموماً یکسان و در خصوص بارش در اغلب ماه‌ها برعکس به‌دست آمد. همچنین اختلاف میزان ۹۰ و ۱۰ درصد دمای حداقل و حداکثر در بیشتر ماه‌ها بین دو مدل یکسان و در خصوص بارش در اغلب ماه‌ها در مدل HadCM3 بیشتر از مدل ECHO-G بود. بر اساس پیش‌بینی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G برای دوره آبی، میانگین ماهانه دمای حداقل و حداکثر ایستگاه‌های استان گلستان در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت به طوری که این افزایش در مدل ECHO-G بیشتر از مدل HadCM3 بود. بر این اساس مدل‌های HadCM3 و ECHO-G افزایش میانگین سالانه دمای حداقل را به ترتیب ۰/۵ و ۱/۶ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر را به ترتیب ۰/۲ و ۰/۷ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی نمودند. افزایش بارش در اغلب ماه‌ها توسط مدل

### References

- 1- Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M. and Toros, H., 2016. Uncertainty analysis of the future

- changes in maximum daily temperatures over Iran using GIS. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(97), pp.29-43. (In Persian).
- 2- Amani, Z., Deihimfard, R. and Mokhtasi Bidgholi, A., 2016. Evaluation of drought under increasing of temperature due to climate change in rainfed wheat-growing areas of Fars province using aridity index. *Electronic Journal of Crop Production*, 9(12), pp.151-174. (In Persian).
  - 3- Amoako-Attah, J. and B-Jahromi, A., 2016. The impact of different weather files on London detached residential building performance-deterministic, uncertainty and sensitivity analysis on CIBSE TM48 and CIBSE TM49 future weather variables using CIBSE TM52 as overheating criteria. *Sustainability*, 8(11), pp.1-18.
  - 4- Anonymous, 2016. *Handbook of drought indicators and indices*. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), pp.45.
  - 5- Ansari, H., Khadivi, M., Salehnia, N. and 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*, 4(8), pp.664-672. (In Persian).
  - 6- Ashofteh, P.S. and Massah, A.R., 2009. Uncertainty of climate change impact on the flood regime; case study: Aidoghmoush Basin, East Azerbaijan, Iran. *Iran-Water Resources Research*, 5(2), pp.27-39. (In Persian).
  - 7- Ashofteh, P.S. and Massah, A.R., 2010. Impact of climate change uncertainty on temperature and precipitation of Aidoghmoush basin in 2040-2069 period. *Soil and Water Science*, 19.1(20), pp.85-98. (In Persian).
  - 8- Ashofteh, P.S. and Massah, A.R., 2012. Investigation of AOGCM model uncertainty and emission scenarios of greenhouse gases impact on the basin runoff under climate change, case study: Gharanghu Basin, East Azerbaijan. *Iran-Water Resources Research*, 8(2), pp.36-47. (In Persian).
  - 9- Babaeian, I., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M., Adab, H. and Malbisei, Sh., 2010. Climate change assessment over Iran during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G model. *Iranian Geography and Development Journal*, 7(16), pp.135-152. (In Persian).
  - 10- Barzegari, F. and Malekinezhad, H., 2017. Estimating irrigation requirements under climate change (case study: Yazd-Ardakan plain). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 39(4), pp.85-95. (In Persian).
  - 11- Chen, J., Brissette, F.P., Chaumont, D. and Braun, M., 2013. Performance and uncertainty evaluation of empirical downscaling methods in quantifying the climate change impacts on hydrology over two North American river basins. *Journal of Hydrology*, 479(4), pp.200-214.
  - 12- Dibike, Y.B., Gachon, P., St-Hilaire, A., Ouarda, T.B.M.J. and Nguyen, V.T.V., 2008. Uncertainty analysis of statistically downscaled temperature and precipitation regimes in Northern Canada. *Theoretical and Applied Climatology*, 91, pp.149-170.
  - 13- Fattahi, E., Habibiand, M. and Kouhi, M., 2015. Climate change impact on drought intensity and duration in west of Iran. *Earth Science and Climatic Change*, 6(10), pp.1-9.
  - 14- Ghermezcheshmeh, B., Rasuli, A.A., Rezaei Banafsheh, M., Massah, A.R. and Khorshiddoost, A.M., 2015. Uncertainty analyzing of neural network in downscaling of HadCM3 data with bootstrap confidence interval method. *Watershed Engineering and Management*, 7(3), pp.306-316. (In Persian).
  - 15- Ghorbani, Kh., Bazrafshan Daryasary, M., Meftah Halaghi, M. and Ghahraman, N., 2016. The effects of climate change on climatic classification in Golestan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(2), pp.319-332. (In Persian).
  - 16- Goodarzi, E., Dastorani, M., Massah Bavani, A.R. and Talebi, A., 2015. Evaluation of the change-

- factor and LARS-WG methods of downscaling for simulation of climatic variables in the future (Case study: Herat Azam watershed, Yazd -Iran). *Ecopersia*, 3(1), pp.833-846.
- 17-Hafezparast, M., Bafkar, A. and Panahi, E., 2017. Assessment of climate change uncertainty and its effects on the probability of the Jamishan dam inflow frequency. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 6(3), pp.19-41. (In Persian).
- 18- Hassan, Z., Shamsudin, S. and Harun, S., 2014. Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 116(1), pp.243-257.
- 19-Hosseini, S.A. and Ahmadi, H., 2016. Statistical downscaling of HadCM3 model for projection of temperature (case study: Saghez station). *Journal of Agricultural Meteorology*, 4(1), pp.68-73. (In Persian).
- 20- IPCC, 2007. Climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Synthesis Report of the Forth Assessment Report, IPCC.
- 21-Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A., Alinejad, M. and Pourasghr, F., 2016. Impact of climate change on precipitation and temperature by taking the uncertainty of models and climate scenarios (case study: Shahrchay basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*, 2(7), pp.107-122. (In Persian).
- 22- Kamal, A.R. and Massah, A.R., 2012. The uncertainty assessment of AOGCM and hydrological models for estimating Gharesu basin temperature, precipitation, and runoff under climate change impact. *Iranian Water Research Journal*, 5(9), pp.39-49. (In Persian).
- 23- Kay, A.L., Davies, H.N., Bell, V.A. and Jones, R.G., 2009. Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. *Climatic Change*, 92, pp.41-63.
- 24-Khalili, N., Davary, K., Alizadeh, A., Ansari, H., Rezaee Pazhand, H., Kafi, M. and Ghahraman, B., 2016. Evaluation of the performance of ClimGen and LARS-WG models in generating rainfall and temperature time series in rainfed research station of Sisab, Northern Khorasan. *Journal of Water and Soil*, 30(1), pp.322-333. (In Persian).
- 25-Khazaei, M.R. and Byzedi, M., 2016. Climate change impact on annual meteorological and hydrological variables of the Sirvan basin. *Iran-Water Resources Research*, 12(2), pp.38-48. (In Persian).
- 26-Khosrovanian, J., Onagh, M., Guderzi, M. and Hejazi, S.A., 2015. Prediction of climatic parameters using LARS-WG model in Gharesu basin. *Journal of Geography and Planning*, 19(53), pp.93-115. (In Persian).
- 27- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993. The Relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Proceeding of 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California, 179-184.
- 28-Mohammadi, H., Azizi, G., Rabbani, F. and Mazaheri, D., 2017. Long-term prediction of the climate variables in northern shore of Iran on uncertainty of global climate models. *Geographic Space*, 16(56), pp.95-113. (In Persian).
- 29- Morid, S., Moghaddasi, M., Ershad, S. and Omid, M., 2007. Drought Indices Package (DIP) software package. Iranian Water Resource Management Co., Ministry of Energy.
- 30-Parvaneh, B., Shiravand, H. and Dargahian, F., 2015. Predict drought situation in the province of Lorestan during the years of 2013-2030 using downscaling of four general circulation models. *Geographical Journal of Territory*, 12(45), pp.1-13. (In Persian).
- 31-Pourreza Bilondi, M., Akhoond Ali, A.M., Gharaman, B. and Telvari, A.R., 2015. Uncertainty analysis of a single event distributed rainfall-runoff model by using two different Markov Chain Monte Carlo methods. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(5), pp.1-25. (In Persian).



- 
- 32-Rasuli, A.A., Rezaei-Banafsheh, M., Massah, A.R., Khorshiddust, M.A. and Ghermezcheshmeh, B., 2014. Investigation impact of morpho-climatic parameters on aaccuracy of LARS-WG model. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 8(24), pp.9-18. (In Persian).
- 33- Semenov, M.A. and Stratonovitch, P., 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, 41, pp.1-14.
- 34- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. and Richardson, C.W., 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*, 10, pp.95-107.
- 35-Sheidaeian, M., Ziatabar Ahmadi, M.Kh. and Fazloulou, R., 2015. Study on climate change effect on net irrigation requirement and yield for rice crop (case study: Tajan plain). *Journal of Water and Soil*, 28(6), pp.1284-1297. (In Persian).
- 36- Solaiman, T.A., Kinga, L.M. and Simonovic, S.P., 2011. Extreme precipitation vulnerability in the Upper Thames river basin: uncertainty in climate model projections. *International Journal of Climatology*, 31, pp.2350-2364.
- 37- Vallam, P. and Qin, X.S., 2016. Climate change impact assessment on flow regime by incorporating spatial correlation and scenario uncertainty. *Theoretical and Applied Climatology*, pp.1-16.
- 38-Yaghoubi, B., Hosseini, S. and Nazif, S., 2017. Hydrological impact of climate change on the GavehRud watershed as affected by the parameter uncertainty. *Water Engineering*, 10(32), pp.71-86. (In Persian).