

EXTENDED ABSTRACT

Estimation of Probable Maximum Precipitation under Climate Change in Parsian Basin

S. Monjezi¹, A. Gandamkar^{2*}, H. Zarei³ and A. R. Abbasi⁴

1- PhD student of Climatology, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

2*- Associate Professor, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran. (aagandomkar@iaun.ac.ir).

3- Associate Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Geography, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 28 May 2021

Revised: 16 July 2021

Accepted: 20 July 2021

Keywords:

Global Warming, Precipitation
Change Trend, Global Circulation
Model, Climate change Scenario.

TO CITE THIS ARTICLE:

Monjezi, S., Gandamkar, A., Zarei, H., Abbasi, A. (2023). 'Estimation of Probable Maximum Precipitation under Climate Change in Parsian Basin', *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(4), pp. 31-48. doi: 10.22055/jise.2019.29703.1848.

Introduction

Climate change caused by global warming has altered temporal-spatial distribution as well as rate and form of precipitation, the magnitude of floods, annual precipitation in rivers, seasonal variation of probable maximum precipitation and flood, water quality, evaporation rate, concentrations of nutrients in aquifers, etc. the Atmosphere-Ocean Coupled General Circulation Model (AOGCM) is currently the most reliable tool to study the effects of climate change on different systems. This model simulates climate parameters. Estimation of probable maximum precipitation (PMP) is an important and practical research method that not only identifies behavior of extreme rainfall in climatology, but also helps hydrologists to design various large water control structures, especially dams. Climate change affects PMP in the coming periods. Consequently, PMP estimates will be modified by hydrologists.

Method

Area of Study

Parsian Basin extends from northwest of Fars Province to boundaries of Sepidan and Momseni towns. Parsian Basin is located in geographical coordinates of 51°, 20 minutes to 52° and 40 minutes in eastern longitude and 29° and 45° to 30° and 30° in northern latitude. Rainfall regime in the basin ranged from early autumn to mid-spring. Average rainfall in the Parsian Basin was estimated as 659mm. Area of this basin is 90 km².

Daily precipitation data was collected in a 30-year statistical period (1980-2010) from five stations of Hossein Abad, Barghan, Moroze, Kuhsangan and Ajan Plain. Collected data was checked for homogeneity, outlier and quality. After ensuring data homogeneity and quality as well as absence of any outlier, collected data was analyzed using common statistic parameters.

Estimate of PMP

Two synoptic and statistical methods are generally used to calculate PMP. Statistical methods are less time-consuming than other methods. Meteorological expertise is not a necessary criteria for PMP estimation with statistical method. The most important disadvantage of this method is demonstration of PMP as point values. The following statistical method was used to estimate PMP. The following equation is used in the Hirschfield's statistical method (1961):

$$\text{PMP} = \bar{X} + K_m \sigma_n \quad (1)$$

where PMP represents probable maximum precipitation in a certain station at a given time series, and K_m is the largest calculated K value for all stations with similar conditions (WMO, 2009). K_m frequency factor is obtained from equation (2):

$$K_m = \frac{X_L - X_{n-L}}{\sigma_{n-L}} \quad (2)$$

where X_L is maximum observed rainfall at the given station, X_{n-L} is the mean of annual rainfall with the exclusion of maximum rainfall, and σ_{n-L} is standard deviation of annual precipitation with the exclusion of maximum rainfall.

It should be noted that PMP was estimated based on modification of statistical method and removal of maximum observations in the first Hirschfield's approach. However, Desa *et al.* (2001) estimated PMP based on the K_m obtained from the above equation in the second approach. Accordingly, a frequency factor was obtained for each maximum observation. Maximum K_m value was selected and used to estimate PMP at all stations.

Climate change

According to the fifth assessment report (AR5) and the necessity to use the new scenario of representative concentration pathways (RCPs), 23 GCMs belonging to the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) under RCP 8.5 were used as a pessimistic scenario in this study. Energy consumption, population growth and greenhouse gas emissions in RCP 8.5 scenario were greater than other RCP scenarios (Vuuren *et al.*, 2011). The data related to the IPCC AR5 was downloaded from the NASA Earth Exchange (NEX) Global Daily Downscaled Projections Dataset (GDDP) in a daily manner. Bias correction is also an essential pre-processing procedure before analysis of GCM output data. It should be noted that bias correction was also included the AR5 for each region. This database is one of the best climatological databases. Refer to Thrasher *et al.* (2013) for details on these data. Finally, the Lars model was used as a stochastic weather generator to downscale coarse resolution outputs of GCMs to the finer scales.

Assessment of performance of CMIP5 models in temperature and precipitation simulation

A new approach based on multi-criteria decision-making methods was used to assess performance of CMIP5 models in this study. This allows GCM users to select the best model to simulate climatic variables in the base period given the rate of similarity and correlation and by taking into account the standard deviation of model data and observations in climate change studies. (Errasti *et al.*, 2011) Normal mean squared error, Taylor's factor and bias index were used to assess the models.

Results and Discussion

Statistical data on maximum daily rainfall was collected to estimate PMP in the base period using the Hirschfield's method and the Hirschfield-Desa method. The results showed that the highest value of PMP (obtained from the Hirschfield's method) belonged to Gosangan Station located in the west of the basin. Ajan Plain Station located in the south of the basin had the highest PMP value, secondary to Gosangan Station. The lowest PMP value also belonged to Hossein Abad Station located in the east of the basin. The results also showed that PMP estimated values with the

Hirschfield-Desa method were less than the Hirschfield method given the bias correction in the former method. The highest PMP values were also obtained in Gosangan Station and Gosangan Station with Hirschfield-Desa method.

To estimate more accurate PMPs in the coming years, AOGCMs were rated using the TOPSIS multi-criteria decision making method. Seven models with the highest scores were selected to estimate PMPs in the coming years. After ensuring suitable performance of the Lars Model in each studied station, PMPs in the upcoming periods (2030-2055) were estimated based on variation in the parameters simulated by GCM under both RCP 8.5 and RCP 4.5 scenarios and using long-term daily rainfall data at each station and simulating the effects of climate change on PMP. Finally, PMP in a changing climate was estimated according to the objective of the study (under both RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios) in each studied station using Hirschfield and Hirschfield-Desa methods. Contents of tables 1 and 2 show that PMP from Hirschfield-Desa method decreased in the coming periods compared to the base period in a changing climate (under both RCP 8.5 and RCP 4.5 scenarios). However, the rate of decrease varied under each scenario given the output of each model. Although estimated PMP in the coming periods was higher than the base period with the Hirschfield' statistical method, this difference was due to inevitable uncertainty in climate change studies.

Table 1 - Comparison of PMP in the base and coming periods in a changing climate using Hirschfield's statistical method

		M1		M2		M3		M4	
		RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
Hoseinabad	PMP-	152.89	284.90	208.62	243.71	398.78	296.32	317.24	309.93
	PMP-					302.80			
Barghan	PMP-	230.41	493.21	361.35	333.13	431.10	434.82	415.09	389.61
	PMP-					423.40			
Moroze	PMP-	206.99	402.25	350.14	389.43	498.56	394.51	417.79	405.79
	PMP-					398.00			
Kohsangan	PMP-	334.73	568.07	464.60	537.91	805.38	619.83	630.98	757.62
	PMP-					601.10			
Dasht Azhan	PMP-	372.68	681.85	556.92	400.20	730.83	495.44	604.22	580.96
	PMP-					576.70			
		M5		M6		M7			
		RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP		
Hoseinabad	PMP-	299.53	313.08	279.15	317.34	241.39	242.76		
	PMP-					302.80			
Barghan	PMP-	401.50	471.27	425.04	428.30	336.32	277.90		
	PMP-					423.40			
Moroze	PMP-	386.00	431.66	388.66	467.95	326.65	290.64		
	PMP-					398.00			
Kohsangan	PMP-	575.77	614.62	486.71	671.13	457.49	458.99		
	PMP-					601.10			
Dasht Azhan	PMP-	574.51	595.56	590.16	595.75	473.25	486.36		
	PMP-					576.70			

Table 2 - Comparison of PMP in the base and coming periods in a changing climate using Hirschfield-Desa method

		M1		M2		M3		M4	
		RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
Hoseinabad	PMP-	55.60	99.10	81.00	85.95	142.53	103.14	117.68	119.87
	PMP-				128.01				
Barghan	PMP-	78.30	159.71	130.38	115.74	173.14	150.93	155.35	151.30
	PMP-				186.31				
Moroze	PMP-	70.92	137.69	121.02	125.07	183.71	134.81	150.84	147.90
	PMP-				173.78				
Kohsangan	PMP-	105.48	202.36	156.00	178.94	279.57	214.27	223.43	266.77
	PMP-				261.34				
Dasht Azhan	PMP-	118.98	241.60	190.01	152.09	277.73	189.27	228.04	230.01
	PMP-				260.57				
		M5		M6		M7			
		RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP		
Hoseinabad	PMP-	112.69	114.15	106.19	115.42	87.30	88.21		
	PMP-				128.01				
Barghan	PMP-	150.69	165.49	154.89	156.85	120.76	106.07		
	PMP-				186.31				
Moroze	PMP-	141.26	151.54	137.76	161.75	113.92	104.34		
	PMP-				173.78				
Kohsangan	PMP-	196.64	224.16	173.96	240.25	156.27	167.94		
	PMP-				261.34				
Dasht	PMP-	219.23	233.02	213.47	233.20	170.83	182.13		
	PMP-				260.57				

References

- 1- Desa, M.M. et al. 2001. Probable maximum precipitation for 24 h duration over southeast asian monsoon region Selangor. *Malaysia.atmospherc research* 58: 41-54.
- 2- Errasti, I., Ezcurra, A., Sáenz, J., and Ibarra-Berastegi, G., 2011. Validation of IPCC AR4 models over the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 103(1-2),pp: 61-79.
- 3- Vuuren, D.V. Edmonds, J. Kainuma, M. Riahi, K. Weyant, J. 2011. A special issue on the RCPs, *Climate Change*. 109: 1-4.
- 4- Thrasher, B., Xiong, J., Wang, W., Melton, F., Michaelis, A., & Nemani, R. (2013). Downscaled climate projections suitable for resource management. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 94(37), 321-323.
- 5- World Meteorological Organization 2009, Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP), Chairperson, Publications Board, p 65.



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, 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/>).

تخمین میزان حداکثر بارش‌های محتمل تحت شرایط تغییر اقلیم در حوضه آبریز پارسیان

سیمین منجزی^۱، امیر گندمکار^{۲*}، حیدر زارعی^۳ و علیرضا عباسی^۴

- ۱- دانشجوی دکترا اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.
 ۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران aagandomkar@iaun.ac.ir
 ۳- دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.
 ۴- استادیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران.

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹

بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۲۵

دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۷

چکیده

تغییرات آب و هوایی ناشی از گرمایش کره زمین، موجب تغییر در میزان و نوع بارش‌ها و همچنین توزیع مکانی و زمانی بارش خواهد شد. از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم می‌توان به تاثیر بر پدیده‌های حدی مانند خشک‌سالی و بارش‌های شدید اشاره کرد. در این مقاله به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان حداکثر بارش محتمل در حوضه آبریز پارسیان پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا با استفاده از دو روش هرشفیلد و هرشفیلد-دسا، حداکثر بارش محتمل برای دوره پایه محاسبه شد. سپس خروجی بیست و سه مدل گردش عمومی جو تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 به‌عنوان دو سناریوی با سطح انتشار متوسط و بدبینانه برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰، به کمک داده‌های روزانه بارش در دوره‌ی پایه برای پنج ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه ریزمقیاس شدند. در نهایت با استفاده از بارش‌های برآوردشده برای آینده در هر پنج ایستگاه، مقدار حداکثر بارش محتمل به‌دست آمد. نتایج نشان داد در دوره‌ی آتی، حداکثر بارش محتمل نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: گرمایش جهانی، تغییرات بارش، مدل گردش عمومی جو، سناریوهای تغییر اقلیم.

مقدمه

تغییرات آب و هوایی ناشی از گرمایش کره زمین، موجب تغییر در توزیع زمانی و مکانی و همچنین میزان و نوع بارش‌ها، میزان بزرگی سیلاب‌ها، مقادیر آورد سالیانه رودخانه‌ها، فصول محتمل وقوع بارش‌ها و سیلاب‌های حداکثر، تغییر در کیفیت آب‌ها، تغییر در میزان تبخیر و همچنین میزان تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و ... خواهد شد. در واقع در اثر این پدیده، مکانیسم طبیعی که تضمین‌کننده توزیع متوازن و تدریجی آب حاصل از بارش‌ها در ماه‌ها و فصول مختلف سال است، به مرور کم‌رنگ و جای خود را به خشک‌سالی‌های شدید و درازمدت و یا بارش‌های شدید و سنگین، رگبارها و سیلاب‌های ناگهانی و به تبع آن افزایش ناگهانی حجم رواناب‌ها در فصول غیرمتمعارف خواهد داد، پدیده‌ای که جاری شدن سیل‌های ویران‌گر را به دنبال داشته و خسارات هنگفتی را بر کشور متحمل می‌سازد. از این‌رو با توجه به اقلیم متنوع کشور و ضرورت مدیریت خطر سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز، اتخاذ تدابیر و تمهیدات ویژه‌ای در زمینه مباحث سازه‌ای و غیر سازه‌ای از جمله توجه به برآورد صحیح و علمی حداکثر بارش‌های محتمل برای ایمنی سازه‌های آبی و طرح‌های هیدرولوژی در احداث سدها و سایر سازه‌های هیدرولوژیکی برای ذخیره و مدیریت منابع آب در فصول پرآب و توزیع تدریجی آن در

فصول مختلف احساس می‌شود. بنابراین از طریق عدم توازن اقلیمی حادث‌شده را تعدیل و تهدیدات را به فرصت تبدیل کرد. که با مدیریت ریسک، پیش‌بینی به موقع و استفاده بهینه از شرایط جوی ایجادگردد. همچنین تغییرات حاصل در توزیع زمانی، مکانی، شدت، مدت و فراوانی نزولات جوی و در رأس آن‌ها بارش‌های حدی حداکثر، بتوان با بیش‌ترین بهره و کم‌ترین ریسک خطر، از شرایط ایجادگردیده بهره جست و گام‌های مؤثری در راستای حرکت در مسیر رسیدن به توسعه پایدار برداشت. توجه ویژه به بارش‌های حدی متأثر از تغییرات اقلیمی ضرورتی است که در تحقیق حاضر با رویکرد مدیریت و ساماندهی این بارش‌ها به بررسی آن‌ها تحت شرایط تغییر اقلیم طی دوره‌های آتی به آن پرداخته شده است. در حال حاضر معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت‌شده اتمسفر- اقیانوس گردش عمومی جو Atmosphere- Ocean General Circulation Model (AOGCM) می‌باشد. حداکثر بارش محتمل، بیش‌ترین بارندگی است که در یک زمان مشخص در یک منطقه، با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافی خاص خود وجود دارد و بارانی بزرگتر از آن نخواهد بارید (Alizadeh, 2002). استفاده از حداکثر بارش‌های محتمل به‌منظور طراحی

CMIP5 برای ارزیابی PMP تا سال ۲۰۱۶ و تا سال ۲۰۹۹ مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که در بدترین شرایط آب و هوایی (RCP8.5)، PMP در این منطقه تا سال ۲۰۹۹ نسبت به سطوح فعلی حدود ۳۰ درصد افزایش یافته است. Kunkel et al. (2013) در بررسی حداکثر بارش محتمل و تغییرات اقلیمی، نشان دادند که در پیش‌بینی‌های صحیح، مقادیر PMP در آینده افزایش می‌یابد و به همین منظور خطرات و خسارات ناشی از سیل را افزایش می‌دهد. این نتایج نه تنها در ایالات متحده، بلکه در سطح جهانی نیز اعمال می‌شود.

با توجه به اهمیت موضوع، برآورد مقادیر حداکثر بارش محتمل در شرایط تغییر اقلیم امری ضروری می‌باشد که به افزایش دقت نتایج و کاهش ریسک برنامه‌ریزی‌های عمرانی خصوصاً در مباحث اقلیمی و هیدرولوژیکی کمک شایانی می‌نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه حوضه آبریز پارسیان بخشی از شمال غرب استان فارس و محدوده شهرستان‌های سپیدان و ممسنی را در بر گرفته است. حوضه آبریز پارسیان در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه، ۲۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۴۵ درجه تا ۳۰ درجه و ۳۰ درجه عرض شمالی واقع شده است. این حوضه از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی بخشی از سرشاخه‌های حوضه آبریز رودخانه‌های جراحی زهره است که در همسایگی حوضه آبریز کر (در غرب آن) قرار دارد. رژیم بارندگی این حوضه از اوایل پاییز تا اواسط بهار بوده و متوسط بارندگی حوضه آبریز پارسیان حدود ۶۵۹ میلی‌متر محاسبه شده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۶۶۲ متر از سطح دریای آزاد در بخش‌های شمال حوضه در مسیر اردکان به کمهر و پست‌ترین نقطه حوضه با ارتفاع ۱۳۷۰ متر در خروجی رودخانه شش پیر قرار دارد. مساحت این حوضه آبریز برابر ۱۹۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت این حوضه در کشور ایران نشان داده است.

در این مطالعه از داده‌های روزانه بارندگی در طی دوره آماری ۳۰ ساله‌ی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ ثبت‌شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی ذکر شده در جدول (۱) استفاده شده است. قابل ذکر است که از بین ایستگاه‌های موجود سعی شده‌است که بیشترین ایستگاه دارای آمار مناسب و با کیفیت بالا که هم‌چنین از نظر جغرافیایی و ارتفاعی نیز سطح حوضه را پوشش داده باشند، انتخاب شوند. بعد از اطمینان از همگنی داده‌ها، نبود داده پرت و کیفیت داده‌ها از اطلاعات این ایستگاه‌ها در پایه مشترک آماری استفاده شده‌است.

سازه‌های آبی با ریسک و خسارت بالا، قدمتی صد ساله دارد. در دسترس نبودن داده‌های آبدی قابل اطمینان و درازمدت رودخانه در طراحی سد یا مخازن آبی در بررسی مباحث هیدرولوژیکی و محاسبه حداکثر سیل محتمل، سبب وابستگی بیشتر به داده‌های بارش شده است. در انجام چنین کاری شناسایی حد بالای مقادیر بارش برای دوره زمانی و منطقه جغرافیایی معین دارای اهمیت است. از این‌رو برآورد حداکثر بارش محتمل از جمله تحقیقات کاربردی و مهمی است که علاوه بر شناسایی رفتار بارش‌های حدی در آب و هواشناسی، در طراحی سازه‌های بزرگ آبی به‌خصوص سدها مورد توجه هیدرولوژیست‌هاست. حداکثر بارش محتمل، در برآورد حداکثر سیل محتمل به‌منظور طراحی سرریز سدهای بزرگ به‌عنوان درون داد اولیه به‌کار می‌رود. این پارامتر از این نظر حایز اهمیت است که، چنان‌چه تأسیسات هیدرولوژیکی براساس آن طراحی شود چنین تأسیساتی هیچ‌گاه نباید از نظر بارندگی و سیل در معرض خطر قرار گیرند (Daryabari et al., 2012). فعالان این عرصه به‌منظور کمی کردن و به‌دست آوردن مقادیر پارامتر مذکور در جهت توسعه عوامل سازه‌ای و غیرسازه‌ای در توسعه منابع آب، از روش‌های سینوپتیکی و آماری استفاده می‌نمایند. روشی که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش آماری می‌باشد.

نکته قابل توجه در خصوص برآورد و محاسبه حداکثر بارش محتمل این است که، مقادیر این پارامتر برای یک ناحیه، در مواقع گوناگون سال و در سطوح مختلف حوضه‌های آبریز با مدت بارش متفاوت، متغیر بوده و با گذشت زمان و به‌دست‌آمدن آمار و اطلاعات جدید نیز مقدار آن تغییر می‌یابد. به گونه‌ای که مقادیر حداکثر بارش محتملی که در شرایط یکسان، از نظر سطح حوضه آبریز، مدت بارش و مقدار بارش محاسبه گردد، برابر نمی‌باشد، از طرفی بروز تغییرات اقلیمی حادث شده که در سال‌های اخیر مورد توجه دولت‌مردان و پژوهشگران می‌باشد، در تشدید این قضیه و طرح موضوع عدم قطعیت‌های ایجادشده در خصوص محاسبه این پارامتر، مزید بر علت است. محققین زیادی در زمینه حداکثر بارش محتمل مطالعه‌هایی انجام داده‌اند اما کمتر به بحث تأثیر تغییر اقلیم بر حداکثر بارش محتمل پرداخته شده است. در مطالعه‌ای حداکثر بارش محتمل سه استان در ویتنام شمالی براساس داده‌های تاریخی و سناریوهای تغییر اقلیم تخمین زده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده که بر اساس سناریوی RCP 8.5 حداکثر بارش محتمل افزایش خواهد داشت (Chen et al., 2017) (Thanh Thuy et al., 2019). کشور آمریکا روش ترکیبی برای بازسازی PMP در ناحیه شمال غربی اقیانوس آرام مورد استفاده قرار دادند. که از پنج مدل اقلیمی

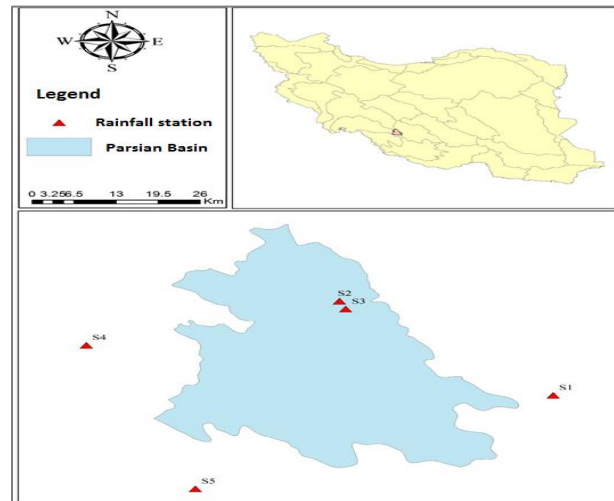


Fig. 1- Location of the Parsian Basin
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز پارسیان

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در این مطالعه.

Table 1- The characteristics of the rainfall station used in this study

Abbreviation	Row	Station	Longitude	Latitude	Height (m)
S1	1	Hosein Abad	52.37	29.96	1616
S2	2	Barghan	52.03	30.20	2120
S3	3	Moroze	52.04	30.18	2024
S4	4	Kohsangan	52.07	30.23	2341
S5	5	Dasht Arzhan	51.59	29.43	2030

ایستگاه‌ها باید بارش‌های شدید و حدی را تجربه کرده باشند، لذا طول دوره آماری توزیع شده ۳۰ سال و بیشتر می‌باشد. روش‌های آماری نسبت به روش‌های دیگر به زمان بسیار کمتری نیاز دارد و برای به‌کارگیری این روش نیازی به تخصص هواشناسی نیست. مهم‌ترین نقص این روش در این است که برآورد حداکثر بارش محتمل فقط به صورت مقادیر نقطه‌ای است.

متداول‌ترین روش آماری که برای محاسبه‌ی حداکثر بارش محتمل به‌کار می‌رود، روش Hershfield (1961) می‌باشد که بر اساس فرمول عمومی تناوب استوار می‌باشد (World Meteorological Organization (WMO, 2009):

$$X_T = \bar{X}_n + K\sigma_n \quad (1)$$

در رابطه (۱) X_T بارش در دوره بازگشت T ، X_n و σ_n به ترتیب عبارتند از میانگین و انحراف معیار سری n بیشینه بارش سالانه (منظور بالاترین بارش ۲۴ ساعته در طی یک سال است). K عبارت از یک متغیر آماری عمومی است.

قابل ذکر است که اگر بارش دیده‌بانی شده حداکثر یعنی X_m با X_T و K_m با K جایگزین شود، در این صورت رابطه زیر که به رابطه‌ی استاندارد هرشفیلد (Hershfield) معروف می‌باشد به صورت رابطه‌ی (۲) در می‌آید:

برآورد حداکثر بارش محتمل

در حالت کلی دو روش هم‌دیدگی (سینوپتیکی) و روش‌های آماری برای محاسبه‌ی حداکثر بارش محتمل مورد استفاده قرار می‌گیرند. قابل ذکر است که روش سینوپتیکی که در آن از وضعیت توده‌های هوا، آمار بارش و رطوبت و مشخصه‌های دیگر هوا استفاده می‌شود، دقیق‌تر می‌باشد. اما متناسب با وضعیت داده‌های هواشناسی و حتی تراکم و وجود یا عدم وجود ایستگاه‌های ثابت هواشناسی، روش‌های آماری که فقط براساس داده‌های گذشته و رخداد‌های ثبت‌شده صورت می‌گیرد، پرکاربردترند. در این مطالعه نیز از روش‌های آماری استفاده شد.

روش آماری برای برآورد حداکثر بارش محتمل را می‌توان در هر زمانی که داده‌های کافی بارش در دسترس و مساحت حوضه کمتر از حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مربع و هم‌چنین داده‌های فراسنج‌های باد و نقطه شبنم در ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه ثبت نشده باشد یا این‌که کیفیت و حتی کمیت داده‌ها مورد تردید باشد، به‌منظور برآورد سریع حداکثر بارش محتمل مورد استفاده قرار داد (Daryabari, et al., 2012). قابل ذکر است که از روش آماری برای پهنه‌های بزرگتر نیز قابل استفاده می‌باشد. توضیح این‌که در حوضه‌های کوچکتر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع نیاز به یک شبکه بسیار گسترده و متراکم نیست. اما در پهنه‌های بزرگتر از ۱۰۰۰ کیلومتر-مربع نیاز به شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی توسعه‌یافته و گسترده و با توزیع مناسب ارتفاعی می‌باشد. در هر دو حالت، برای این‌که

(GDDP) Daily Downscaled Projections dataset به صورت روزانه دانلود شده‌اند. تصحیح بایاس (Bias Correction) یکی از پیش‌پردازش‌های ضروری در استفاده از داده‌های خروجی ZGCMها می‌باشد و قابل ذکر است که داده‌های گزارش پنجم موجود در این سایت به صورت منطقه‌ای دارای تصحیح بایاس نیز می‌باشند و از این بانک اطلاعاتی می‌توان به عنوان یکی از بهترین پایگاه‌های اطلاعات اقلیمی استفاده کرد. برای جزئیات بیشتر در مورد این داده‌ها به Thrasher et al. (2013) رجوع شود.

ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP5 در شبیه‌سازی دما و بارش

یکی از منابع مهم عدم قطعیت در مطالعه‌های تغییر اقلیم ناشی از استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. انتخاب این مدل-ها بدون ارزیابی، عدم قطعیت موجود را افزایش می‌دهد. متناسب با اهداف این مطالعه که تحلیل این عدم قطعیت نیز بخشی از آن می‌باشد، بنابراین از یک رویکرد جدید در ارزیابی و انتخاب GCMها استفاده شده است. در سال‌های اخیر ارزیابی عملکرد GCMها مورد توجه بسیاری از پژوهشگران از جمله Rana et al. (2014) قرار گرفته است. قابل ذکر است هر چند تاکنون روش‌های مختلفی برای ارزیابی GCMها مورد استفاده قرار گرفته، اما در واقع این ارزیابی‌ها تضمینی برای این که لزوماً مدل انتخاب شده دارای بهترین پیش‌بینی از شرایط آتی منطقه نیز می‌باشد، وجود ندارد. البته به صورت کلی پذیرفته شده است مدلی که متغیرهای اقلیمی را در شرایط حال و دوره پایه بهتر شبیه‌سازی کند را به عنوان مدلی قابل اعتمادتر نسبت به مدلی که شبیه‌سازی ضعیفی از متغیرهای اقلیمی در دوره پایه داشته، محسوب می‌شود (Errasti et al., 2011). همچنین بر-اساس نتایج اکثر مطالعات قبلی از جمله Kim و Reichler (2008) بهترین مدل برای یک منطقه‌ی خاص لزوماً دارای بهترین عملکرد در منطقه‌ی دیگر نمی‌باشد. زیرا برای ارزیابی و شبیه‌سازی هر مدل از شرایط اقلیمی خاص آن منطقه استفاده می‌شود.

در این پژوهش برای ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP5 از یک رویکرد جدید مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. این رویکرد ارائه شده به کاربرهای GCM امکان انتخاب مدل با عملکرد بهتر را با توجه به میزان توانایی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره پایه، با توجه به میزان شباهت و همبستگی و با در نظر گرفتن میزان انحراف معیار داده‌های مدل شده و مشاهداتی را برای استفاده در مطالعات تغییر اقلیم می‌دهد. شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی مدل‌ها به شرح زیر است:

- شاخص مجذور میانگین مربعات خطای نرمال (Normalized Root-Mean-Square Deviation) (NRMSE) هر مدلی که داده‌های شبیه‌سازی شده‌ی آن به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر باشد دارای مقادیر کمتر NRMSE می‌باشد.

$$PMP = \bar{X} + K_m \sigma_n \quad (2)$$

که در آن PMP حداکثر بارش محتمل برای یک ایستگاه مشخص در تداومی معین و K_m بزرگ‌ترین مقدار محاسبه شده K برای تمام ایستگاه‌ها در یک سطح می‌باشد (WMO, 2009). مقدار عامل فراوانی K_m از رابطه‌ی (۳) به دست می‌آید:

$$K_m = \frac{X_L - X_{n-L}}{\sigma_{n-L}} \quad (3)$$

که در آن X_L حداکثر بارندگی مشاهده شده در ایستگاه مورد نظر، X_{n-L} میانگین بارندگی‌های سالانه بدون احتساب بارندگی حداکثر و σ_{n-L} انحراف معیار بارندگی‌های سالانه بدون احتساب بارندگی حداکثر می‌باشد.

قابل ذکر است در نگرش اول Harshfield، حداکثر بارش محتمل بر مبنای تصحیح طول دوره آماری و حذف مشاهدات حداکثر برآورد می‌شود، اما در نگرش Hershfield-Desa (Hershfield-Desa) که توسط Desa et al (2001) ارائه گردید، حداکثر بارش محتمل براساس K_m حاصل از رابطه سه برآورد می‌شود. به این صورت که برای هر مقدار حداکثر مشاهده شده در داده‌ها یک عامل فراوانی به دست می‌آید و پس از محاسبه کلیه K_m ها، حداکثر آن‌ها انتخاب شده و برای برآورد حداکثر بارش محتمل همه ایستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تغییر اقلیم

در مطالعه‌های تغییر اقلیم به دلیل عدم قطعیت موجود و عدم توانایی در پیش‌بینی دقیق این پدیده در آینده، سناریوهای اقلیمی حاصل از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به عنوان معتبرترین ابزار موجود در این زمینه، مورد استفاده وسیع کاربران قرار گرفته است. این مدل‌ها بر پایه شبیه‌سازی سه بعدی شامل حرکات جو، تبدلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی می‌باشند و بهترین اطلاعات در مورد نحوه پاسخ جو به افزایش گازهای گلخانه‌ای را فراهم کرده‌اند.

در این مطالعه با توجه به ارائه گزارش پنجم (The Fifth Assessment Report (AR5) و ضرورت استفاده از سناریوهای جدید Representative Concentration Pathways (RCPs) RCP، از ۲۳ GCM متعلق به مطالعات گزارش پنجم (CMIP5) که مشخصات آن‌ها در جدول (۲) ذکر شده است تحت سناریوی انتشار RCP 8.5 به عنوان یک سناریوی بدبینانه استفاده شده است. میزان نیاز به مصرف انرژی، افزایش جمعیت و همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوی RCP 8.5 بیشتر از سایر سناریوهای RCP در نظر گرفته شده است (Vuuren et al., 2011).

داده‌های گزارش پنجم IPCC مورد استفاده در این مطالعه از سایت سازمان ناسا (NASA Earth Exchange (NEX) Global

مدل نسبت به مدل دیگر یا داده‌های مشاهداتی بالاتر باشد، میزان S_{Taylor} به صفر نزدیک‌تر خواهد بود. قابل ذکر است که برای اعمال جریمه (Penalty) به مدل‌هایی که دارای مقادیر R پایینی هستند، پیشنهاد شده است که در شبیه‌سازی دما مقدار k را برابر با دو و در شبیه‌سازی بارش برابر چهار در نظر گرفته شود. شاخص تیلور در سال‌های اخیر مورد استفاده بسیاری از پژوهشگران در زمینه تغییر اقلیم قرار گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به (Meehl et al., 2012; Koutroulis et al., 2015; Timbal et al. 2015) اشاره کرد.

شاخص بیاس

این شاخص به‌عنوان یکی از معیارهای ارزیابی در این مطالعه براساس رابطه‌ی زیر مورد استفاده قرار گرفته است.

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^N (Ps_i - Po_i)}{\sum_{i=1}^N Po_i} \quad (۶)$$

که در رابطه‌ی (۶)، Ps_i میزان بارندگی تخمین زده‌شده (خروجی مدل‌ها)، Po_i میزان بارندگی مشاهده‌شده و N تعداد داده‌های مورد استفاده می‌باشد.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{mi} - x_{oi})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{oi} - \bar{x}_o)^2}} \quad (۴)$$

در رابطه‌ی (۴)، X_o مقدار متغیر اقلیمی مشاهداتی (دما یا بارش) و X_m میزان متغیر اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط هر مدل و \bar{x} میانگین مقادیر مشاهداتی اقلیمی و n طول داده‌ها می‌باشند.

شاخص تیلور (STaylor)

شاخص تیلور برای بررسی میزان توانایی و عملکرد یک مدل اقلیمی در شبیه‌سازی دما و بارش مطابق به‌کمک رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$S_{Taylor} = \frac{4(1+R)^k}{(\sigma + \frac{1}{\sigma})^2 (1+R_0)^k} \quad (۵)$$

که در رابطه‌ی بالا R ، ضریب همبستگی مدل، σ ، واریانس، R_0 ، برابر با حداکثر میزان ضریب همبستگی می‌باشد. مشخص است که اگر $\sigma \rightarrow 1$ ، $R \rightarrow R_0$ و میزان شاخص برابر با یک می‌باشد (یعنی حداکثر مقدار خود) و بنابراین دو مدل به‌صورت کاملاً یکسان عمل می‌کنند. مطابق با این رابطه، هر قدر انحراف معیار یک

جدول ۲- مشخصات مدل‌های CMIP5 استفاده‌شده در این مطالعه.

Table 2- The CMIP5 models used in this study

No.	Model Name	Institute ID	Key references
1	access1-0	CSIRO-BOM	Franklin et al. (2013)
2	bcc-csm1-1	BCC	Wu et al. (2013)
3	bcc-csm1-1-m	BCC	Wu et al. (2013)
4	BNU-ESM	GCESS	Wei et al. (2012)
5	CANESM2	CCCMA	von Salzen et al. (2013)
6	CESM1-CAM5	NCAR	Meehl et al. (2012)
7	CMCC-CM	NSF-DOE-NCAR	Meehl et al. (2012)
8	CSIRO-Mk3-6-0	CNRM-CERFACS	Voldoire et al. (2013)
9	EC-EARTH	CSIRO-QCCCE	Rotstayn et al. (2012)
10	FGOALS-g2	LASG/IAP	Rotstayn et al. (2012)
11	GFDL-CM3	NOAA GFDL	Donner et al. (2011)
12	GFDL-ESM2M	NOAA GFDL	Dunne et al. (2012)
13	GISS-E2-R	NOAA GFDL	Dunne et al. (2012)
14	HadGEM2-AO	INM	Volodin et al. (2010)
15	HadGEM2-CC	IPSL	Dufresne et al. (2013)
16	HadGEM2-ES	IPSL	Dufresne et al. (2013)
17	IPSL-CM5A-LR	MIROC	Watanabe et al. (2010)
18	IPSL-CM5A-MR	MIROC	Watanabe et al. (2010)
19	IPSL-CM5B-LR	MIROC	Watanabe et al. (2010)
20	MIROC5	MPI-M	Stevens et al. (2013)
21	MPI-ESM-LR	MPI-M	Stevens et al. (2013)
22	MRI-CGCM3	MRI	Yukimoto et al. (2012)
23	NorESM1-M	NCC	Iversen et al. (2013)

ریز مقیاس نمایی

با توجه به مقیاس بزرگ خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو، استفاده مستقیم از خروجی این مدل‌ها در شبیه‌سازی اقلیمی در مطالعات مرتبط با یک ایستگاه یا منطقه‌ی خاص در منابع آب و کشاورزی ممکن و صحیح نمی‌باشد. برای حل این مشکل روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده می‌شوند. در حالت کلی این روش‌ها شامل ریزمقیاس‌نمایی آماری (Statistical Downscaling) و ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی (Dynamic Downscaling) می‌باشند. یکی از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری استفاده از مولدهای آب و هوایی تصادفی به منظور ایجاد سناریوهای اقلیمی روزانه یک ایستگاه خاص می‌باشد. مولد آب و هوایی تصادفی با واسنجی پارامترهای ایستگاه با استفاده از داده‌های مشاهداتی، به شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی روزانه می‌پردازد. این مدل‌ها همچنین امکان اصلاح پارامترها از طریق تعریف سناریوهای اقلیمی را فراهم کرده‌اند (Semenov, 2002). در این مطالعه از مدل لارس (LARS) به عنوان یک نوع مدل مولد آب و هوایی استفاده شده است.

بعد از استخراج پارامترهای آماری ذکر شده در جدول بالا، میزان حداکثر بارش محتمل (PMP) با استفاده از روش Hershfield و روش Hershfield-Desa استخراج و نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

بر اساس نتایج جدول (۴) در روش Hershfield آماری بیشترین مقدار PMP در ایستگاه گوسنگان مشاهده شده است. این ایستگاه واقع در غرب حوضه مورد مطالعه قرار دارد. ایستگاه دشت ارژن واقع در بخش‌های جنوبی منطقه بعد از گوسنگان، بیشترین مقدار PMP را نشان داد. کمترین مقدار حداکثر بارش محتمل برآورد شده نیز در ایستگاه حسین‌آباد واقع شده در شرق منطقه‌ی مورد مطالعه بود. براساس نتایج، میزان برآورد مقدار PMP با استفاده از روش Hershfield-Desa متناسب با اصلاحاتی که در محاسبات انجام می‌شود، کمتر از روش نقطه‌ای هرشفیلد آماری بود. در این حالت نیز مقدار حداکثر بارش محتمل برآورد شده در دو ایستگاه گوسنگان و دشت ارژن بیشترین مقدار بودند. در جدول (۵) مقدار شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده برای هر یک از ۲۳ مدل از سری گزارش پنجم ذکر شده است.

متناسب با استفاده از شاخص‌های متفاوت که در جدول بالا مقادیر آن‌ها ذکر شده است، نیاز به انتخاب برترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی و نهایتاً حداکثر بارش محتمل می‌باشد. برای این منظور و بعد از وزن‌دهی براساس مقادیر جدول (۵)، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس استفاده شده است (Zamani Ahmad Mahmodi, 2017).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی مشخصات بارندگی حداکثر روزانه در هر یک از ایستگاه‌ها در جدول (۳) ذکر شده است. براساس نتایج حاصل شده بیشترین بارش حداکثر مشاهده شده به ترتیب در ایستگاه‌های دشت ارژن، کوهسنگان و برغان مشاهده شده است.

جدول ۳- مشخصات آماری داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه (بر حسب میلی‌متر) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 3- Statistical data of the maximum 24-hour annual precipitation data (mm) at the stations studied

Station	Hoseinabad	Barghan	Moroze	Kohsangan	Dasht Azhan
Average	47.53	66.69	63.98	75.66	76.34
Standard deviation	13.40	19.92	18.28	30.91	30.67
Maximum	75.00	110.00	101.00	151.50	162.00
Minimum	15.00	36.00	30.50	34.50	42.00
Coefficient of variation	28.19	29.86	28.57	40.86	40.18
Skew coefficient	0.08	0.45	0.20	0.74	1.09

جدول ۴- مقادیر حداکثر بارش محتمل برآورد شده (بر حسب میلی‌متر) در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 4- Estimated maximum probable precipitation values (mm) at the stations studied

Station	Hershfield method		Hershfield -Desa method	
	PMP	PMP ratio to maximum 24-hour annual precipitation	PMP	PMP ratio to maximum 24-hour annual precipitation
Hosein Abad	302.8	4.04	128.01	1.71
Barghan	423.4	3.85	186.31	1.69
Moroze	398	3.94	173.78	1.72
Kohsangan	601.1	3.97	261.34	1.73
Dasht Azhan	576.7	3.56	260.57	1.61

در شکل‌های (۳) و (۴) میزان تغییرات و عدم قطعیت موجود در شبیه‌سازی نسبت تغییرات بارندگی در منطقه‌ی مورد مطالعه در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۵) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۰۵) براساس هفت مدل برتر جدول (۷) نشان داده شده است. تغییرات شبیه‌سازی شده‌ی بارش به وضوح قابل مشاهده می‌باشد.

نتایج حاصل از عملکرد مدل‌ها و رتبه‌بندی در جدول (۶) ذکر شده است.

براساس نتایج حاصل از رتبه‌بندی مدل‌ها و به‌منظور کاهش عدم قطعیت موجود و هم‌چنین استفاده از چند GCM توأم، هفت مدل برتر که در رتبه‌بندی نیز عملکرد بهتری داشته‌اند انتخاب و مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج این مدل‌ها در جدول (۷) ذکر شده است.

جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی عملکرد GCM ها در شبیه‌سازی بارش منطقه مورد مطالعه

Table 5- GCM performance evaluation indices in rainfall simulation

GCM	Evaluation Indicators			
	NRMSE	S_{Tylor}	COR	Bias
access1-0	0.72	0.69	0.56	-0.54
bcc-csm1-1	0.73	0.64	0.56	-0.56
bcc-csm1-1-m	0.74	0.58	0.55	-0.57
BNU-ESM	0.74	0.61	0.53	-0.55
CANESM2	0.75	0.52	0.51	-0.56
CESM1-CAM5	0.71	0.68	0.59	-0.56
CMCC-CM	0.73	0.62	0.57	-0.59
CSIRO-Mk3-6-0	0.71	0.70	0.58	-0.55
EC-EARTH	0.72	0.66	0.54	-0.52
FGOALS-g2	0.73	0.62	0.54	-0.55
GFDL-CM3	0.75	0.56	0.51	-0.55
GFDL-ESM2M	0.73	0.59	0.56	-0.57
GISS-E2-R	0.72	0.62	0.55	-0.53
HadGEM2-AO	0.74	0.55	0.55	-0.57
HadGEM2-CC	0.74	0.58	0.55	-0.58
HadGEM2-ES	0.71	0.67	0.59	-0.54
IPSL-CM5A-LR	0.73	0.63	0.57	-0.58
IPSL-CM5A-MR	0.75	0.53	0.54	-0.59
IPSL-CM5B-LR	0.75	0.55	0.52	-0.59
MIROC5	0.73	0.64	0.55	-0.54
MPI-ESM-LR	0.77	0.49	0.45	-0.55
MRI-CGCM3	0.70	0.72	0.57	-0.50
NorESM1-M	0.72	0.66	0.55	-0.52

جدول ۶- نتایج حاصل از رتبه‌بندی GCM ها با استفاده از تاپسیس.

Table 6- Results from GCM ranking using Topsis

No	model	Rank	Score
1	access1-0	3	0.07
2	bcc-csm1-1	9	0.05
3	bcc-csm1-1-m	16	0.03
4	BNU-ESM	14	0.04
5	CANESM2	22	0.02
6	CESM1-CAM5	4	0.06
7	CMCC-CM	13	0.04
8	CSIRO-Mk3-6-0	2	0.07
9	EC-EARTH	7	0.06
10	FGOALS-g2	12	0.04
11	GFDL-CM3	19	0.02
12	GFDL-ESM2M	15	0.04
13	GISS-E2-R	11	0.05
14	HadGEM2-AO	18	0.02
15	HadGEM2-CC	17	0.03
16	HadGEM2-ES	5	0.06
17	IPSL-CM5A-LR	10	0.05
18	IPSL-CM5A-MR	21	0.02
19	IPSL-CM5B-LR	20	0.02
20	MIROC5	8	0.05
21	MPI-ESM-LR	23	0.01
22	MRI-CGCM3	1	0.08
23	NorESM1-M	6	0.06

جدول ۷- مدل‌های انتخابی برای استفاده در مطالعه اثرات تغییر اقلیم.

ID	No	GCM	Rank
M5	22	MRI-CGCM3	1
M2	8	CSIRO-Mk3-6-0	2
M1	1	access1-0	3
M4	6	CESM1-CAM5	4
M3	16	HadGEM2-ES	5
M6	23	NorESM1-M	6
M7	9	EC-EARTH	7

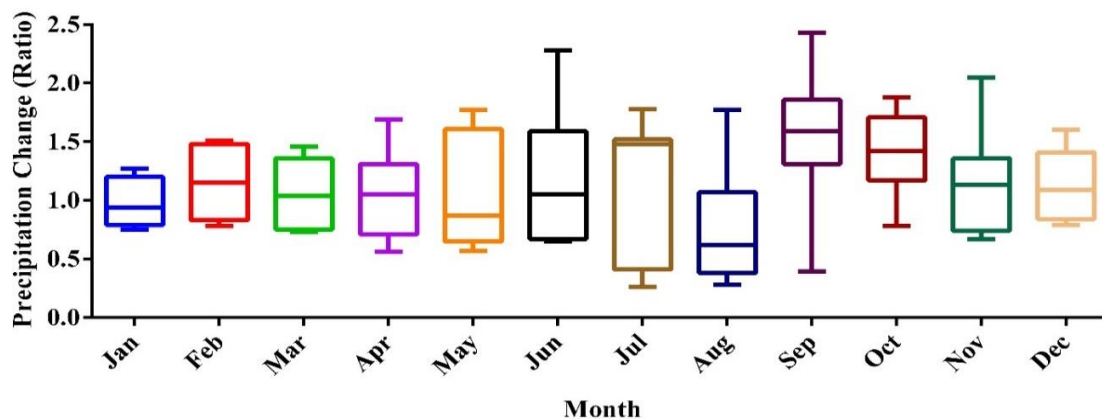


Fig. 3- Box plot relative variations of precipitation simulation under the influence of climate change in the studied stations under RCP scenario 8.5

شکل ۳- نمودار جعبه‌ای نسبت تغییرات شبیه‌سازی بارش تحت تاثیر تغییر اقلیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه تحت سناریوی RCP 8.5

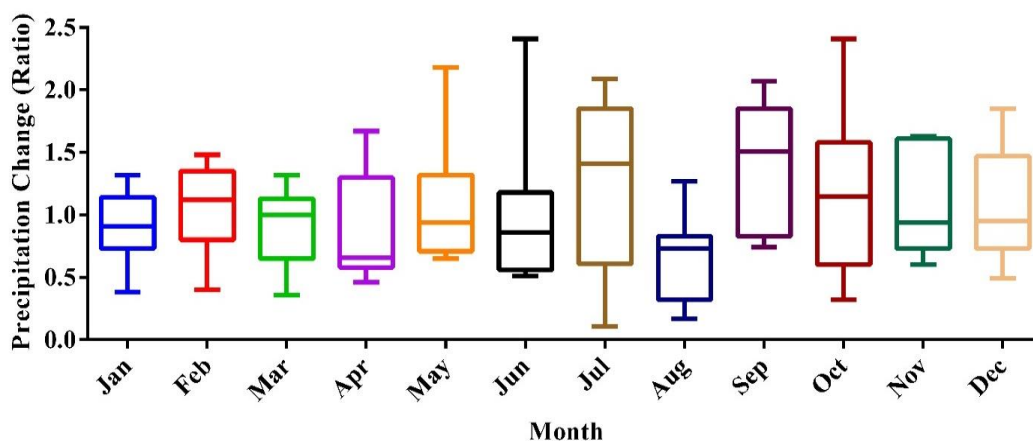


Fig. 4- Box plot relative variations of precipitation simulation under the influence of climate change in the studied stations under RCP scenario 4.5

شکل ۴- نمودار جعبه‌ای نسبت تغییرات شبیه‌سازی بارش تحت تاثیر تغییر اقلیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه تحت سناریوی RCP 4.5

سپس حداکثر بارش محتمل تحت تاثیر تغییر اقلیم (هر دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5) برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه و با دو روش Hershfield آماری و Hershfield-Desa استخراج شده است؛ جداول (۹ تا ۱۳).

بعد از اطمینان از عملکرد مدل Lars جدول (۸) در هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، براساس میزان تغییرات نسبت شبیه‌سازی شده‌ی هر GCM تحت هر دو سناریوی RCP 8.5 و RCP 4.5 و هم‌چنین با استفاده از داده‌های بارندگی روزانه‌ی بلند مدت در هر ایستگاه و شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم، میزان بارش حداکثر برای دوره‌ی آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۵) استخراج شد.

جدول ۸- نتایج آزمون کای-اسکوئر برای توزیع احتمالاتی داده‌های بارندگی مشاهداتی و تولید شده توسط مدل لارس
 Table 8- Chi-square test results for probabilistic distribution of observed rainfall data generated by the Lars model

Month	Hossein Abad		Barghan		Moroozeh		Goshangan		Dasht arzhan	
	KS	Pvalue	KS	Pvalue	KS	Pvalue	KS	Pvalue	KS	Pvalue
Jan	0.07	1.00	0.07	1.00	0.09	1.00	0.08	1.00	0.08	1.00
Feb	0.13	0.98	0.07	1.00	0.09	1.00	0.09	1.00	0.06	1.00
Mar	0.13	0.98	0.08	1.00	0.07	1.00	0.13	0.99	0.07	1.00
Apr	0.14	0.97	0.08	1.00	0.06	1.00	0.08	1.00	0.07	1.00
May	0.13	0.98	0.19	0.76	0.20	0.73	0.31	0.18	0.29	0.26
Jun	0.00	1.00	0.39	0.04	0.61	0.00	0.00	1.00	0.39	0.04
Jul	0.61	0.00	0.19	0.78	0.31	0.19	0.42	0.02	0.31	0.19
Aug	No	No	0.17	0.84	0.22	0.60	0.22	0.59	0.31	0.19
Sep	No	No	0.44	0.02	0.39	0.04	0.00	1.00	0.70	0.00
Oct	0.26	0.36	0.15	0.93	0.23	0.53	0.38	0.06	0.15	0.94
Nov	0.16	0.92	0.06	1.00	0.06	1.00	0.08	1.00	0.08	1.00
Dec	0.08	1.00	0.10	1.00	0.09	1.00	0.06	1.00	0.06	1.00

جدول ۹- مقدار حداکثر بارش محتمل تحت تاثیر تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۵) در ایستگاه حسین آباد
 Table 9- Maximum probable precipitation under the influence of climate change in the future period (2030-2055) in Hoseinabad

	M1		M2		M3		M4	
	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85
Hershfield method	152.89	284.90	208.62	243.71	398.78	296.32	317.24	309.93
Hershfield -Desa method	55.60	99.10	81.00	85.95	142.53	103.14	117.68	119.87
	M5		M6		M7			
	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85		
Hershfield method	299.53	313.08	279.15	317.34	241.39	242.76		
Hershfield -Desa method	112.69	114.15	106.19	115.42	87.30	88.21		

جدول ۱۰- مقدار حداکثر بارش محتمل تحت تاثیر تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۵) در ایستگاه برغان
 Table 10- Maximum probable precipitation under the influence of climate change in the future period (2030-2055) in Barghan

	M1		M2		M3		M4	
	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP	RCP
Hershfield method	230.41	493.21	361.35	333.13	431.10	434.82	415.09	389.61
Hershfield -Desa method	78.30	159.71	130.38	115.74	173.14	150.93	155.35	151.30
	M5		M6		M7			
	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85		
Hershfield method	401.50	471.27	425.04	428.30	336.32	277.90		
Hershfield -Desa method	150.69	165.49	154.89	156.85	120.76	106.07		

جدول ۱۱- مقدار حداکثر بارش محتمل تحت تاثیر تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۵) در ایستگاه موروزه

Table 11- Maximum probable precipitation under the influence of climate change in the future period (2030-2055) in Moroze

	M1		M2		M3		M4	
	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85
Hershfield method	206.99	402.25	350.14	389.43	498.56	394.51	417.79	405.79
Hershfield -Desa method	70.9214	137.691	121.019	125.068	183.715	134.814	150.839	147.89
	8	7	5	1		5	8	56
	M5		M6		M7			
	RCP 45	RCP 85	RCP 4.5	RCP 85	RCP 4.5	RCP 85		
Hershfield method	386.00	431.66	388.66	467.95	326.65	290.64		
Hershfield -Desa method	141.255	151.539	137.76	161.753	113.917	104.336		
	7	9		4	9	2		

جدول ۱۲- مقدار حداکثر بارش محتمل تحت تاثیر تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۵) در ایستگاه کوهستان

Table 12- Maximum probable precipitation under the influence of climate change in the future period (2030-2055) in Kohsgangan

	M1		M2		M3		M4	
	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85
Hershfield method	334.73	568.07	464.60	537.91	805.38	619.83	630.98	757.62
Hershfield -Desa method	105.48	202.362	156.00	178.94	279.56	214.26	223.43	266.77
	M5		M6		M7			
	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85		
Hershfield method	575.77	614.62	486.71	671.13	457.49	458.99		
Hershfield -Desa method	196.64	224.15	173.96	240.25	156.27	167.94		

جدول ۱۳- مقدار حداکثر بارش محتمل تحت تاثیر تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۵) در ایستگاه دشت ارژن

Table 13- Maximum probable precipitation under the influence of climate change in the future period (2030-2055) in Dasht Azhan

	M1		M2		M3		M4	
	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85
Hershfield method	372.68	681.85	556.92	400.20	730.83	495.44	604.22	580.96
Hershfield -Desa method	118.98	241.60	190.01	152.09	277.73	189.27	228.04	230.01
	M5		M6		M7			
	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85		
Hershfield method	574.51	595.56	590.16	595.75	473.25	486.36		
Hershfield -Desa method	219.23	233.02	213.47	233.20	170.83	182.13		

اساس استخراج حداکثر بارندگی محتمل تحت تاثیر تغییر اقلیم و با استفاده از روش Hershfield آماری گاهی میزان برآورد در دوره آتی بیشتر از مقدار دوره پایه می باشد. این میزان تفاوت حاکی از عدم قطعیت موجود در مطالعات تغییر اقلیم می باشد که بخش اعظم آن غیر قابل اجتناب می باشد.

بر اساس نتایج جدول (۱۴) و (۱۵)، میزان حداکثر بارش محتمل به روش Hershfield-Desa نسبت به دوره پایه و تحت تاثیر تغییر اقلیم (هر دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5) کاهش یافته است که با نتایج Thanh Thuy et al (2019) متفاوت است. اگرچه این مقدار کاهش تحت هر یک از سناریوها و با استفاده از خروجی هر یک از مدلها متفاوت می باشد. اگرچه و بر

جدول ۱۴- مقایسه مقادیر حداکثر بارش محتمل در دوره پایه و دوره آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم به روش هرشفیلد-آماری
 Table 14- Comparison of probable maximum rainfall in base period and future period influenced by climate change by Hershfield method

		M1		M2		M3		M4	
		RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85
Hoseinabad	PMP-FUT	152.89	284.90	208.62	243.71	398.78	296.32	317.24	309.93
	PMP-Base					302.80			
Barghan	PMP-FUT	230.41	493.21	361.35	333.13	431.10	434.82	415.09	389.61
	PMP-Base					423.40			
Moroze	PMP-FUT	206.99	402.25	350.14	389.43	498.56	394.51	417.79	405.79
	PMP-Base					398.00			
Kohsangan	PMP-FUT	334.73	568.07	464.60	537.91	805.38	619.83	630.98	757.62
	PMP-Base					601.10			
Dasht Azhan	PMP-FUT	372.68	681.85	556.92	400.20	730.83	495.44	604.22	580.96
	PMP-Base					576.70			
		M5		M6		M7			
		RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85		
Hoseinabad	PMP-FUT	299.53	313.08	279.15	317.34	241.39	242.76		
	PMP-Base							302.80	
Barghan	PMP-FUT	401.50	471.27	425.04	428.30	336.32	277.90		
	PMP-Base							423.40	
Moroze	PMP-FUT	386.00	431.66	388.66	467.95	326.65	290.64		
	PMP-Base							398.00	
Kohsangan	PMP-FUT	575.77	614.62	486.71	671.13	457.49	458.99		
	PMP-Base							601.10	
Dasht Azhan	PMP-FUT	574.51	595.56	590.16	595.75	473.25	486.36		
	PMP-Base							576.70	

جدول ۱۵- مقایسه مقادیر حداکثر بارش محتمل در دوره پایه و دوره آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم به روش هرشفیلد-دسا
 Table 14- Comparison of probable maximum rainfall in base period and future period influenced by climate change by Hershfield-Desa method

		M1		M2		M3		M4	
		RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85
Hoseinabad	PMP-FUT	55.60	99.10	81.00	85.95	142.53	103.14	117.68	119.87
	PMP-Base								128.01
Barghan	PMP-FUT	78.30	159.71	130.38	115.74	173.14	150.93	155.35	151.30
	PMP-Base								186.31
Moroze	PMP-FUT	70.92	137.69	121.02	125.07	183.71	134.81	150.84	147.90
	PMP-Base								173.78
Kohsangan	PMP-FUT	105.48	202.36	156.00	178.94	279.57	214.27	223.43	266.77
	PMP-Base								261.34
Dasht Azhan	PMP-FUT	118.98	241.60	190.01	152.09	277.73	189.27	228.04	230.01
	PMP-Base								260.57
		M5		M6		M7			
		RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85	RCP 45	RCP 85		
Hoseinabad	PMP-FUT	112.69	114.15	106.19	115.42	87.30	88.21		
	PMP-Base							128.01	
Barghan	PMP-FUT	150.69	165.49	154.89	156.85	120.76	106.07		
	PMP-Base							186.31	
Moroze	PMP-FUT	141.26	151.54	137.76	161.75	113.92	104.34		
	PMP-Base							173.78	
Kohsangan	PMP-FUT	196.64	224.16	173.96	240.25	156.27	167.94		
	PMP-Base							261.34	
Dasht Azhan	PMP-FUT	219.23	233.02	213.47	233.20	170.83	182.13		
	PMP-Base							260.57	

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با نتایج حاصل از بیست و سه مدل گردش عمومی جو تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 به‌عنوان دو سناریوی با سطح انتشار متوسط و بدبینانه برای دوره‌ی ۲۰۵۰-۲۰۲۰، و به روش Hershfield و Hershfield-Desa مقدار حداکثر بارش محتمل در پنج ایستگاه واقع در حوضه آبریز پارسیان برآورد گردید. نتایج نشان داد که میزان حداکثر بارش محتمل به

روش Hershfield-Desa نسبت به دوره پایه کاهش یافته است که با نتایج Thanh Thuy et al (2019) متفاوت است. نتایج حاصل از مقادیر تخمین زده شده از حداکثر بارندگی محتمل تحت تاثیر تغییر اقلیم به روش هرشفیلد آماری نشان می‌دهد که در برخی مدل‌ها گاهی میزان برآورد در دوره آتی بیشتر از مقدار دوره پایه می‌باشد که به دلیل وجود عدم قطعیت غیر قابل اجتناب در مطالعات تغییر اقلیم می‌باشد.

References

- 1- Alizadeh, A. 2002. *Principles of Applied Hydrology*, Fourteenth Printing, Ghods Province Publishing (In Persian).
- 2- Chen, X., Hossain, F. and Leung, L.R., 2017. Probable maximum precipitation in the US Pacific Northwest in a changing climate. *Water Resources Research*, 53(11), pp.9600-9622.
- 3- Daryabari, S.J. Mohammadi, H. and Rezaei, Gh., 2012. Spatial analysis of probable maximum precipitation (PMP) in Iran. *Quarterly Geographical Journal Territory (Sarzamin)*, 9(34), pp:113-124 (In Persian).
- 4- Donner, L.J., Wyman, B.L., Hemler, R.S., Horowitz, L.W., Ming, Y., Zhao, M., 2011. The dynamical core, physical parameterizations, and basic simulation characteristics of the atmospheric component AM3 of the GFDL global coupled model CM3. *Journal of Climate*, 24(13).
- 5- Dufresne, J.L., Foujols, M.A., Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O., 2013. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*, 40(9-10).
- 6- Dunne, J.P., John, J.G., Adcroft, A.J., Griffies, S.M., Hallberg, R.W., Shevliakova, E., 2012. GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon Earth System Models. Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics. *Journal of Climate*, 25(19).
- 7- Errasti, I., Ezcurra, A., Sáenz, J., and Ibarra-Berastegi, G., 2011. Validation of IPCC AR4 models over the Iberian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 103(1-2), pp: 61-79.
- 8- Franklin, C.N., Sun, Z., Bi, D., Dix, M., Yan, H., and Bodas-Salcedo, A., 2013. Evaluation of clouds in ACCESS using the satellite simulator package COSP: Global, seasonal, and regional cloud properties. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(2), pp: 732-748.
- 9- Hershfield, D. M. 1961. Estimating the probable maximum precipitation, Proc. ASCE, Journal Hydraulic Div., 87(HY5), pp: 99-106.
- 10- Iversen, T., Bentsen, M., Bethke, I., Debernard, J.B., Kirkevåg, A., Seland, Ø., 2013. The Norwegian earth system model, NorESM1-M—Part 2: climate response and scenario projections. *Geosci. Model Dev*, 6(2), pp: 389-415.
- 11- Koutroulis, A.G., Grillakis, M.G., Tsanis, I.K., and Jacob, D., 2015. Exploring the ability of current climate information to facilitate local climate services for the water sector. *Earth Perspectives*, 2(1), pp: 1-19.
- 12- Kunkel, K.E., Karl, T.R., Easterling, D.R., Redmond, K., Young, J., Yin, X. and Hennon, P., 2013. Probable maximum precipitation and climate change. *Geophysical Research Letters*, 40(7), pp.1402-1408.
- 13- Meehl, G.A., Washington, W.M., Arblaster, J.M., Hu, A., Teng, H., Tebaldi, C. and White III, J.B., 2012. Climate system response to external forcings and climate change projections in CCSM4. *Journal of Climate*, 25(11).
- 14- Noriah, A.B. and Rakhecha, P.R., 2001. Probable maximum precipitation for 24 h duration over southeast Asian monsoon region—Selangor, Malaysia. *Atmospheric research*, 58(1), pp.41-54.

- 15- Rana, A., Foster, K., Bosshard, T., Olsson, J., and Bengtsson, L., 2014. Impact of climate change on rainfall over mumbai using distribution-based scaling of global climate model projections. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 1, pp: 107-128.
- 16- Reichler, T., and Kim, J., 2008. Uncertainties in the climate mean state of global observations, reanalyses, and the GFDL climate model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D5).
- 17- Semenov M.A. and Barrow E., 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. *User Man Herts UK*.
- 18- Stevens, B., Giorgetta, M., Esch, M., Mauritsen, T., Crueger, T., Rast, S., et al. 2013. Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(2), pp: 146-172.
- 19- Thanh Thuy, L.T., Kawagoe, S. and Sarukkalige, R., 2019. Estimation of probable maximum precipitation at three provinces in Northeast Vietnam using historical data and future climate change scenarios, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Volume 23, 100599.
- 20- Thrasher, B., Xiong, J., Wang, W., Melton, F., Michaelis, A., and Nemani, R., 2013. Downscaled climate projections suitable for resource management. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 94(37), pp: 321-323.
- 21- Timbal, B., Abbs, D., Bhend, J., Chiew, F., Church, J., Ekström, M., and Moise, A., 2015. Murray basin cluster report: climate change in Australia. projections for Australia's natural resource management regions. Ekström, Penny Whetton, Chris Gerbing, Michael Grose, Leanne Webb and James Risbey. Canberra: CSIRO and Bureau of Meteorology.
- 22- Voldoire, A., Sanchez-Gomez, E., Méliá, D.S., Decharme, B., Cassou, C., Sénési, S., 2013. The CNRM-CM5. 1 global climate model: description and basic evaluation. *Climate Dynamics*, 40(9-10).
- 23- Volodin, E.M., Dianskii, N.A., and Gusev, A.V., 2010. Simulating present-day climate with the INMCM4. coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 46(4), pp: 414-431.
- 24- Von Salzen, K., Scinocca, J. F., McFarlane, N. A., Li, J., Cole, J. N. S., Plummer, D., 2013. The Canadian fourth generation atmospheric global climate model (CanAM4). Part I: representation of physical processes. *Atmosphere-Ocean*, 51(1), pp: 104-125.
- 25- Vuuren, D.V., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Weyant, J., 2011. A special issue on the RCPs, *Climate Change*. 109, pp: 1-4.
- 26- Watanabe, M., Suzuki, T., O'ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., 2010. Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. *Journal of Climate*, 23(23).
- 27- Wei, T., Yang, S., Moore, J. C., Shi, P., Cui, X., Duan, Q., 2012. Developed and developing world responsibilities for historical climate change and CO2 mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(32).
- 28- World Meteorological Organization 2009, Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP), Chairperson, Publications Board, p 65.
- 29- Wu, T., Li, W., Ji, J., Xin, X., Li, L., Wang, Z., 2013. Global carbon budgets simulated by the beijing climate center climate system model for the last century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(10).
- 30- Yukimoto, S., Adachi, Y., Hosaka, M., Sakami, T., Yoshimura, H., Hirabara, M., 2012. A new global climate model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 model description and basic performance. *Meteorological Society of Japan*, 90(0), pp: 23-64.

- 31- Zamani Ahmad Mahmodi, R., 2017. Optimum water allocation for adaptation conditions to climate change based on MCDM approach (case study: jarre'h reservoir), *PhD Thesis in Water Resources Engineering, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz., Iran*