

**EXTENDED ABSTRACT**

**Assessment of Reliability Variations of the Rainwater Catchment System Using Future GCM Output Data (Case Study: Birjand City)**

M. Pourreza-Bilondi<sup>1\*</sup>, A. Khashei-Siuki<sup>2</sup>, M. Yaghoobzadeh<sup>3</sup> and A. Jafarzadeh<sup>4</sup>

1\* - Corresponding Author, Associate professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Iran. (*mohsen.pourreza@birjand.ac.ir*).

2- Associate professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Iran.

3- Assistant professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Iran.

4- Ph.D. candidate of water resource engineering, Department of Water Engineering, University of Birjand, Iran.

Received: 26 February 2017

Revised: 17 October 2017

Accepted: 23 October 2017

**Keyword:** Spatial Bias Correction, Reliability, Rainwater Harvesting, Dynamical Downscaling.

**DOI:** 10.22055/jise.2017.21326.1533.

**Introduction**

Evaporation loss is a key component of water resource management in arid and semi-arid regions where they are not uniformly distributed temporally. Also, due to the climate condition and physical characteristics of arid areas, a major part of rainfall will be out of reach in the form of flash floods and a few percent is recharged to groundwater aquifers. Rainwater harvesting system (RWHS) is considered as one of the most instrumental techniques that can save rainwater for domestic or agricultural uses. It is a technology used for collecting and storing rainwater in rooftops, land surfaces, or rock catchments using some simple techniques, such as natural and/or artificial ponds and reservoirs. In recent years, climate change has caused significant changes in the meteorological and hydrological components. Also, since precipitation is the main driver of RWHS, changes in its value and time can significantly change the operation of these systems. Therefore, in order to reach sustainable development, water resource management based on rainwater harvesting systems will be inevitable. These systems are moderately reliable methods to increase available water. The main aim of this study is the reliability assessment of rainwater harvesting systems designed for a future period (2017-2030) in Birjand, the center of Southern Khorasan Province, east of Iran.

**Methodology**

A flexible and automated framework for capturing, interpolating, and downscaling was proposed based on MATLAB scripts. Accordingly, in the first step, monthly climate data (e.g., precipitation) may be simulated using General Circulation Models' (GCMs) outputs of the newest generation in the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). This study captured monthly rainfall from 14 GCMs, which are more adaptable to the arid climate in the east of Iran, under two representative concentration pathways (RCPs 2.6 and 8.5) and greenhouse gases emission scenarios. Then data is downscaled spatially through Bias-Correction Spatial Disaggregation (BCSD) method for 20 grid point around of Birjand rain-gauge station. Monthly precipitations for Birjand rain-gauge station is then interpolated by ordinary kriging method, which is implemented through MATLAB coding, during the base and future periods from the beginning of 2017 to the end of 2030 automatically. The best performing GCMs for a given study region were identified by testing the downscaled outputs of GCM against the historical precipitation between 1961 and 2005 (base period). The comparison of

GCMs performance was performed through various metrics, including statistic criteria (such as RMSE, R, and NSE) and plotting time series simulations. All the pre-processing measurements of data in geostatistics methods, containing normality, isotropic, trend analysis, and semivariogram selection, were carried out automatically through the proposed framework in MATLAB. Box-Cox transformation was used for standardizing. The direction of the precipitation front was recognized for isotropic and trend analysis, and de-trending was carried out through the regression method. Furthermore, the comparison of the evaluated experimental variogram and theoretical semivariogram was utilized to select the best semivariogram among linear, spherical, Gaussian, and exponential ones for each month. Finally, using monthly interpolated precipitation time series in historical (1961–2005) and the future (2017–2030) periods, reliability assessment of RWHS may be calculated and examined simply in a different roof area and storage tank capacity. The reliability of RWHS is defined as the proportion of time steps when RWHS meets the water demand.

### Results and Discussion

Results of this study showed that according to the GCM performance values of the employed statistic criteria, it is recognized that CESM1 and HadGEM2-ES are more capable and outperform other GCMs.

Results indicate that they can satisfy a significant volume of household water demand by relying on RWHS. The findings of this study showed that a range of reliability of RWHS in the historical period was 0.05-0.45 and this ranges will be raised in the future period based on the simulated monthly rainfall corresponding to the top GCMs. The reliability of RWHS under RCP2.6 will be more than 8.6 in the future period generally. Moreover, the highest reliability of the RWHS, considering all of the rooftop areas and the storage tanks, approximately was 45% for families in which their population is 3 to 7 people to meet the household's non-potable needs. Furthermore, other findings of this study showed that the reliability of RWHS was mostly depended on the water demand or the family population. Also, results indicated that the reliability in different storage tanks has no notable relation with rooftop area.

### Conclusions

The findings of this study proved that RWHS can have a vital role in sustainable water resource management. Also, results revealed that it can become a proper practice to mitigate and adapt to climate change impacts. The assessment of the reliability of RWHS showed that 45% of non-potable water demand can be met through the RWHS implementation in the historical period. Also, results indicated that different GCMs have approximately the same reliability levels under RCP2.6 and RCP8.5 in the future period. Top GCM projection showed that there is potential reliability to meet half of the non-potable water demand in future period whereas the weighted mean of reliability extracted from reliability contour curves revealed that this system may meet 20% of non-potable water demand, considering all of the probable combinations of rooftop areas and storage tanks.



© 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 تغییرات اعتمادپذیری سامانه‌های آبیگر باران با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: شهر بیرجند)

محسن پوررضا ییلندی<sup>۱</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۲</sup>، مصطفی یعقوب‌زاده<sup>۳</sup> و احمد جعفرزاده<sup>۴</sup>

۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند mohsen.pourreza@birjand.ac.ir

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

۴- دانشجوی دوره دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند.

پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱

بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۲۵

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۸

### چکیده

تبخیر و سایر مشخصه‌های فیزیکی مناطق خشک، باعث می‌شود تا حجم زیادی از باران از دسترس خارج و درصد کمی از آب باران به آبخوان نفوذ کند. بنابراین برای دستیابی به یک توسعه پایدار، مدیریت منابع آب براساس سامانه آبیگر آب باران مهم است. هدف اصلی این مقاله بررسی اعتمادپذیری سامانه‌های آبیگر آب باران در آینده می‌باشد. از این‌رو در اولین گام بارندگی ماهانه با استفاده از آخرین خروجی مدل‌های منطقه‌ای گردش عمومی اتخاذ و با استفاده از روش اصلاح انحراف مکانی ریزمقیاس نمایی شد. نرمال‌سازی، همسان‌گردی، تحلیل روند و انتخاب وریوگرام در محیط MATLAB انجام شد و در نهایت بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک بیرجند با استفاده از کربجینگ ساده درون‌یابی شد. با مقایسه آمار مشاهداتی بارندگی ماهانه و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۲، سعی شد تا بهترین مدل با بیشترین تطبیق انتخاب گردد. در نهایت بررسی اعتمادپذیری سامانه‌های آبیگر باران در سطوح و احجام مختلف پشت بام و تانک‌های ذخیره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با اتکا به کارایی سامانه‌های جمع‌آوری آب باران می‌توان بخش قابل توجهی از نیاز خانگی را برطرف نمود. دامنه تغییرات اعتمادپذیری این سامانه‌ها در دوره پایه بین ۰/۰۵ تا ۰/۴۵ تخمین زده شد و پیش‌بینی اعتمادپذیری در دوره آینده نیز نشان داد که این حدود افزایش خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد که میزان اعتمادپذیری این سامانه‌ها برای خانواده‌های با جمعیت ۳ نفر یا بیشتر، حداکثر معادل ۰/۴ خواهد بود.

**کلید واژه‌ها:** اصلاح انحراف مکانی، اعتمادپذیری، جمع‌آوری آب باران، ریزمقیاس نمایی دینامیکی.

### مقدمه

کمبود آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیطی است که امروزه اکثر مناطق خشک و نیمه خشک دنیا و به طور ویژه کشورهای در حال توسعه با آن روبه‌رو می‌باشند. در مناطق خشک به دلیل افزایش جمعیت، رشد ناکافی اقتصادی و پیامدهای مخرب تغییر اقلیم عواملی می‌باشند که باعث کمبود دسترسی به منابع آب شرب مطمئن شده‌اند. از این‌رو فعالیت‌های پژوهشی با هدف پیدا نمودن و معرفی منابع نامتعارف آب به طور چشم‌گیری در حال افزایش است. سامانه‌های آبیگر آب باران به عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای ذخیره آب باران برای مصارف خانگی و کشاورزی به‌شمار می‌روند Traboulsi and Traboulsi (2015) و یک سابقه هزار ساله دارند

(AbdelKhaleq and Ahmed, 2007). این سامانه به طور متداول برای جمع‌آوری و ذخیره آب باران سطوح پشت‌بامی، سطح زمین و حوضه‌های سنگی از ابزارهای ساده نظیر استخرهای مصنوعی، طبیعی و مخازن رو باز سطحی و زیرزمینی استفاده می‌کند. در نظر گرفتن این که یک میلی‌متر آب باران در سطح یک متر مربع می‌تواند حجمی معادل یک لیتر آب باران را ذخیره نماید، می‌تواند ارزش این سامانه‌های با اثبات برساند (Helmreich and Horn, 2009).

باید توجه داشت که در سال‌های اخیر تغییر اقلیم اثرات قابل توجهی روی مؤلفه‌های هواشناسی، هیدرولوژی و به‌طور خاص بارندگی گذاشته است. مطالعات زیادی نشان داده‌اند مقدار بارندگی در

این مطالعه تعیین اعتمادپذیری این سامانه‌ها و تعیین اندازه بهینه دو مؤلفه اصلی آن تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در اقلیم‌های خشک می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی در شمال رشته کوه‌های باقران و در محدوده‌ی ۵۹ درجه و ۱۳ ثانیه طول جغرافیایی و با ۳۲ درجه و ۵۳ ثانیه عرض جغرافیایی قرار گرفته است. میانگین حداقل و حداکثر دمای سالیانه بیرجند به ترتیب ۸ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شکل (۱) موقعیت دشت بیرجند را نشان می‌دهد. بارش سالانه ۱۱۸ میلی‌متر و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۹۱ متر می‌باشد. میزان تبخیر پتانسیل دشت بیرجند ۱۷۴۵/۳۸ میلی‌متر برآورد شده است (Jafarzadeh et al., 2016).

### داده‌ها و مدل گردش عمومی

مدل سازی تغییرات بارندگی به دلیل گرمایش جهانی اصلی‌ترین گام تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و منابع آب به شمار می‌رود. در مطالعه حاضر از به‌روزترین پیش‌بینی‌های متقابل مدل‌های جفت شده در قالب ۱۴ مدل گردش عمومی که بیشترین سازگاری را با شرایط اقلیمی مناطق خشک دارا می‌باشند Afshar et al. (2017) تحت ۲ سناریوی واداشت خورشیدی RCP2.6 و RCP8.5 استفاده شده است. جدول (۱) جزئیاتی از عناوین مدل‌ها و مراکز پژوهشی مولد این مدل‌ها را نشان می‌دهد. سناریوی انتشار RCP2.6 در برگرفته کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجی کاهش یابند. در سناریوی RCP8.5 بدون اتخاذ هیچگونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین پیش خواهد رفت. بطوریکه ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی‌اکسیدکربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت و وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است.

مناطق خشک و نیمه خشک با کاهش روبه‌رو شده است (Tabari and Talae, 2011; Qian and Zhu, 2001; Becker et al, 2003). به دلیل این که بارندگی اصلی‌ترین مؤلفه این سامانه‌ها به شمار می‌رود، تغییر در کمیت و کیفیت آن می‌تواند راندمان و عملکرد این سامانه‌ها را به طور زیادی تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو پژوهش‌های زیادی در سال‌های اخیر با هدف تعیین اعتمادپذیری این سامانه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم انجام شده است.

در حالت کلی می‌توان مطالعات انجام شده در این حوضه را به سه بخش تقسیم نمود. دسته اول مطالعات به‌طور خاص سامانه‌های جمع‌آوری آب باران را به عنوان یکی از مهم‌ترین مصادیق سیاست‌های سازگاری با تغییر اقلیم بیان نموده‌اند (Pandey et al, 2009; König et al, 2015). اکثر این مطالعات ادعان داشته‌اند که سامانه‌های جمع‌آوری آب باران باید به عنوان مصداقی از سیاست‌های سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم در مصارف کشاورزی Ferrand (2015)، Leble et al (2015)، Amin et al (2013)، Jokisch et al (2016)، Dagar et al (2016)، Kalungu et al (2015) و Pandey et al (2015) و سایر مصارف (Kahinda et al, 2010) به کار گرفته شود.

برخی دیگر از مطالعات تغییر عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران را تحت تأثیر تغییرات بارندگی بررسی نموده‌اند (Balogun et al, 2016; Abaje et al, 2014; Ogungbenro and Ogungbenro and Morakinyo, 2014, Adejuwon, 2012). به عنوان مثال مطالعه Hanson (2010) در نظر دارد تا چگونگی تأثیر تغییر اقلیم را بر این سامانه‌های بررسی نماید. همچنین Aladenola et al (2016) در یک بررسی دیگر تغییر عملکرد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران را در یکی از مناطق شهری St Catherine مورد بررسی قرار دادند. بررسی آن‌ها نشان داد که این سامانه‌ها قادرند در طولانی‌ترین دوره‌های بدون بارش نیز بخش قابل توجهی از نیاز آب خانگی را برطرف نمایند.

پژوهش‌های انجام شده در بخش سوم عمدتاً با رویکرد بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر آب باران انجام شده‌اند (Wallace et al, 2015; Haque et al, 2016). بر اساس بررسی منابع ارائه شده، در این بخش مطالعات کمتری با موضوع تغییرات بارندگی و تخمین اعتمادپذیری سامانه‌های جمع‌آوری آب باران نسبت به بخش‌های قبلی انجام شده است. Basinger et al (2010) با تولید سری داده‌های بارندگی بوسیله زنجیره مارکف، مبادرت به بررسی عدم قطعیت بارندگی و تخمین اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر باران نمودند.

از بررسی مرور منابع چنین به نظر می‌رسد که مطالعات کمی در خصوص تعیین اعتمادپذیری سامانه‌های مسکونی آبگیر آب باران در مناطق خشک و نیمه خشک انجام شده است. از این‌رو هدف اصلی

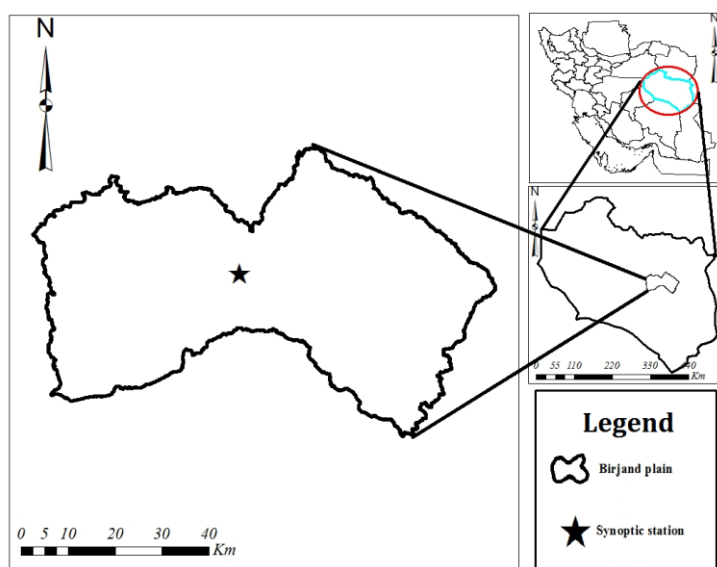


Fig. 1- Schematic figure of the area study

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات مدل‌های گردش عمومی مورد استفاده

Table1- Details of GCMs employed in this study

GCMs	Data center
HadGEM2-ES	MOHC, Met Office Hadley Centre, UK
GFDL-CM3	
GFDL-ESM2M	NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA
GFDL-ESM2G	
MIROC5	
MIROC-ESM	MIROC, Centre for Climate System Research, Japan
MIROC-ESM-CHEM	
IPSL-CM5A-LR	IPSL, Institute Pierre Simon Laplace, France
IPSL-CM5A-MR	
NorESM1-M	NCC, Norwegian Climate Centre, Norway
BCC-CSM1.1	BCC, Beijing Climate Centre, China
CSIRO-Mk3.6.0	CSIRO-QCCCE, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia
CCSM4	NCAR, National Center for Atmospheric Research, USA
CESM1(CAM5)	NSF-DOE-NCAR, Community Earth System Model Contributors

اصلاح انحراف مکانی ( Bias correction Spatial Downscaling )  
 (BCSD) فرآیند ریزمقیاس نمایی انجام پذیرفت.

**روش ریزمقیاس نمایی BCSD**

این روش اولین بار توسط Wood et al (2002) به منظور تخمین مؤلفه‌های هیدرولوژی دراز مدت به کار گرفته شد و امروزه در مطالعات اقلیم شناسی با مقیاس ماهانه به وفور استفاده می‌شود. به عنوان مثال مطالعات Christensen et al (2004) و

**ریزمقیاس نمایی**

به دلیل این که خروجی مدل‌های گردش عمومی در سطح بالا و عموماً با دقت کم همراه است، نمی‌توان به صورت مستقیم از این مدل‌ها جهت شبیه‌سازی مؤلفه‌های اقلیمی در مقیاس محلی استفاده نمود (Duan and Mei, 2014). با توجه به این مهم فرآیند ریزمقیاس نمایی به منظور تبدیل داده‌های اقلیمی از مقیاس بزرگ به مقیاس ایستگاهی انجام می‌شود. در این مطالعه با استفاده از روش

اقلیمی برای سال‌های آتی تعیین می‌گردد (Jafarzadeh et al., 2018).

در مطالعه پیش‌رو بارندگی ماهانه مدل‌های گردش عمومی برای دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۵۰) و آینده (۲۱۰۰-۲۰۰۶) از پایگاه Downscaled CMIP3 and CMIP5 Climate and Hydrology Projections Website اخذ و سپس با روش BCS D ریزمقیاس نمایی گردید. با توجه به ماهیت داده‌های مدل‌های گردش عمومی بارندگی ماهانه برای ۲۰ نقطه اطراف ایستگاه سینوپتیک بیرجند استخراج شد. بارندگی برای ایستگاه موردنظر، برای هر ماه و به صورت خودکار با استفاده از فرآیند کریجینگ ساده تخمین زده شد.

### درون‌یابی کریجینگ

کریجینگ یک ابزار قوی در فرآیند زمین‌آمار است که مبتنی بر متغیرهای منطقه‌ای می‌باشد (Cressie, 1993). اولین کاربردهای این روش به اکتشاف رگه‌های معدنی مربوط می‌شود ولی امروزه کاربرد آن در بسیاری از علوم به خصوص تغییر اقلیم گسترش پیدا کرده است.

محاسبه وریوگرام که تعیین کننده نرخ تغییرات متغیر منطقه‌ای در راستای فضایی خاص می‌باشد، اولین و اساسی‌ترین گام در زمین‌آمار به شمار می‌رود. معادله (۳) رابطه محاسباتی وریوگرام را نشان می‌دهد:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2 \times N(h)} \sum_{\alpha}^N [Z(X_{\alpha} + h) - Z(X_{\alpha})]^2 \quad (3)$$

که در آن  $N(h)$  تعداد نقاطی است که در یک راستای مشخص و با فاصله  $h$  از یکدیگر قرار دارند. همچنین مقدار  $Z(X_{\alpha})$  ارزش اندازه‌گیری شده در نقطه  $X_{\alpha}$  می‌باشد. وریوگرام محاسبه شده در رابطه (۳) که به تابع تجربی نیز مشهور است، به دلیل این که برای تعداد محدودی از نقاط محاسبه شده، قابلیت تعمیم به کل فضای مورد نظر را ندارد. از این رو لازم است تا یک وریوگرام تئوری (مدل) بر اساس تابع تجربی بر داده‌های اندازه‌گیری شده برازش داده شود تا امکان تخمین مقدار وریوگرام برای تمام فواصل مورد نظر محقق شود. تعیین وریوگرام تئوری بر اساس یک فرآیند بهینه‌سازی که تابع هدف آن خطای بین مقادیر وریوگرام تجربی و تئوری است، انجام می‌شود. پس از مشخص نمودن نوع تابع تئوری ضرایب نقاط مشاهداتی برای تخمین ارزش نقطه مجهول از رابطه (۴) تعیین می‌شود.

$$\lambda = K^{-1}.k \quad (4)$$

Abatzoglou و Brown (2012) در مطالعات خود از این روش بهره گرفته‌اند. فرآیند ریزمقیاس‌نمایی در سه گام مجزا به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- اصلاح انحراف آماری خروجی مدل‌های گردش عمومی در مقیاس ماهانه: در این گام دو ضریب اصلاحی برای دما و بارندگی دوره مربوط به خروجی مدل‌های اقلیمی تولید می‌شود. لازم به ذکر است که این ضریب اصلاحی روی نقاط شبکه‌بندی شده مربوط به خروجی مدل‌های اقلیمی محاسبه می‌شود. همچنین این ضرایب متناسب با داده‌های مشاهداتی و تاریخی محاسبه می‌شود.

$$\begin{cases} F_t = GCM_t - OBS_t \\ F_p = \frac{GCM_p}{OBS_p} \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه  $GCM_t$  و  $GCM_p$  به ترتیب دما و بارندگی ماهانه خروجی مدل‌های گردش عمومی،  $OBS_t$  و  $OBS_p$  به ترتیب دما و بارندگی ماهانه مشاهداتی ایستگاه مورد نظر و در نهایت  $F_t$  و  $F_p$  ضریب اصلاحی برای بارندگی و دمای نقاط شبکه خروجی مدل‌های گردش عمومی می‌باشند. عموماً دوره زمانی داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل‌های گردش عمومی (تاریخی) را در گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم تحت عنوان دوره پایه و حدفصل سال‌های ۱۹۹۰ الی ۲۰۰۶ در نظر می‌گیرند. همچنین دقت نقاط شبکه‌بندی شده در اکثر مدل‌ها  $2 \times 2$  بیان شده است.

۲- بعد از محاسبه ضرایب اصلاحی برای نقاط شبکه مدل‌های اقلیمی، با استفاده از ابزارهای درون‌یابی این ضرایب برای دقت‌های بالاتر  $1 \times 1$ ،  $0.5 \times 0.5$ ،  $0.25 \times 0.25$  و  $0.125 \times 0.125$  برآورد می‌گردد.

۳- ضرایب اصلاحی به‌دست آمده برای دقت‌های بالاتر با توجه به رابطه (۲) در مقادیر مشاهداتی اعمال می‌شود تا خروجی مدل‌های گردش عمومی برای دقت مورد نظر برآورد گردد. پس از به‌دست آوردن مقادیر خروجی مدل‌های گردش عمومی برای نقاط شبکه جدید، لازم است تا با درنظر گرفتن موقعیت ایستگاه مشاهداتی نسبت به استخراج داده‌ها در نقاط اطراف آن مبادرت شود.

$$\begin{cases} GCM_t = F_t + OBS_t \\ GCM_p = F_p \times OBS_p \end{cases} \quad (2)$$

در نهایت و قبول کردن فرضیه یکسان بودن میزان انحراف در دوره پایه و آتی خروجی مدل‌های گردش عمومی، تغییرات مؤلفه‌های

ارزیابی  $PBIAS$ ،  $RMSE$  و  $NSE_C$  استفاده شد. معادله‌های (۶) الی (۹) روابط این شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

$$PBIAS = \frac{\sum_i^n (S_i - O_i) \times 100}{\sum_i^n O_i} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (7)$$

$$NSE_C = 1 - \frac{\sum_i^n |O_i - S_i|}{\sum_i^n |O_i - \bar{O}|} \quad (8)$$

$$r^2 = \frac{\sum_i^n (O_i - \bar{O}) \times \sum_i^n (S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_i^n (O_i - \bar{O})^2 \times \sum_i^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (9)$$

$$\omega r^2 = \begin{cases} |b|^{-1} \cdot r^2 & \text{for } b > 1 \\ |b| \cdot r^2 & \text{for } b \leq 1 \end{cases}$$

در روابط فوق  $O_i$  و  $S_i$  به ترتیب مقادیر بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی،  $b$  مقدار شیب معادله رگرسیونی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی و  $\bar{O}$  و  $\bar{S}$  نیز به ترتیب میانگین این مقادیر در طول دوره ۱۹۹۲ الی انتهای ۲۰۰۵ می‌باشند. باید توجه داشت که شاخص  $NSE$  (به دلیل توان ۲) بر مقادیر با ارزش بالا تأکید بیشتری دارد و ارزیابی عملکرد با این شاخص موجب می‌شود که توجه بیشتری به تخمین دقیق مقادیر با ارزش بالا شود. این در حالی است که در منطقه مورد مطالعه کمتر دوره‌های تر و بارندگی با مقادیر بالا وجود دارد. با توجه به توضیحات ارائه شده در این مطالعه ترجیح داده شد به‌منظور مقایسه خروجی مدل‌های گردش عمومی از شاخص اصلاح شده  $NSE$  (معادله ۸) استفاده شود. همچنین ضریب تبیین نیز به شکل اصلاح شده آن مورد استفاده قرار گرفت (معادله ۹).

### سامانه‌های آبیگر باران

عنوان سامانه‌های آبیگر باران به مجموعه‌ای از تمهیدات مربوط به جمع‌آوری رواناب‌های حاصل از باران از طریق سطوح پشت‌بام، معابر

در این رابطه  $\lambda$  بردار وزن نقاط مشاهداتی،  $K$  ماتریس کوواریانس بین نقاط مشاهداتی و  $k$  ماتریس کوواریانس بین نقاط مشاهداتی و نقطه مجهول می‌باشد. باید در نظر داشت که با کسر مقدار سقف و ریوگرام از تابع آن و به ازای فواصل مختلف می‌توان کواریانس را به دست آورد (معادله ۵).

$$Cov(h) = sill - \gamma(h) \quad (5)$$

در این رابطه  $sill$  سقف و ریوگرام (مقدار و ریوگرام به ازای  $h=0$ ) و  $cov(h)$  کوواریانس بین نقاطی است که به فاصله  $h$  از یکدیگر قرار دارند. در کریجینگ ساده فرض بر این است که میانگین مقادیر نقاط مشاهداتی ثابت باشد.

در این مطالعه پس از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی، بارندگی در ۲۰ نقطه اطراف به عنوان نقاط مشاهداتی در نظر گرفته شد و به صورت خودکار بارندگی ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند با کدنویسی در محیط MATLAB انجام پذیرفت. به‌طوریکه برای هر ماه ابتدا و ریوگرام تجربی محاسبه می‌شود. سپس با برازش توابع نمائی، کروی، گوسین و خطی، تابع تئوری تعیین می‌شود. در نهایت تعیین ضرایب مربوط به نقاط مشاهداتی برای هر ماه با تابع کوواریانس امکان‌پذیر می‌شود.

لازم به ذکر است اقدامات مربوط به پیش‌پرداز داده‌ها در ز مین‌آمار شامل نرمال‌سازی، همسانگردی و تحلیل روند نیز در نظر گرفته شد. با بررسی نقشه‌های هواشناسی و بارندگی‌های رخ داده در منطقه مشخص گردید که جهت غالب بارندگی از سمت جنوب غربی می‌باشد. از این رو جهت همسان‌گردی داده‌ها بر اساس زاویه ۲۲/۵ تا ۶۷/۵ درجه مشخص گردید. به جهت این‌که اکثر ماه‌های دوره بهره‌برداری در منطقه بارندگی ندارد، از توزیع انتقال Box-Cox جهت نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد. همچنین فرآیند حذف روند داده‌ها با به‌کارگیری روش پیشنهادی توسط Phillips et al (1992) انجام شد. در این روش جهت تشخیص و حذف روند مکانی از داده‌ها، از یک رگرسیون خطی بین طول و عرض جغرافیای و مقدار بارندگی استفاده می‌شود. چنانچه مقدار ضریب تعیین قابل توجه باشد نشان‌دهنده وجود روند است و باید از مقدار باقیمانده رابطه رگرسیونی برای درون‌یابی استفاده کرد.

بعد از این‌که با استفاده از ابزار کریجینگ بارندگی برای ایستگاه مورد نظر درون‌یابی شد، لازم است تا دقت مدل‌های گردش عمومی در شبیه‌سازی بارندگی بررسی شود. در این مطالعه برای بررسی عملکرد این مدل از داده‌های بارندگی ماهانه ثبت شده حداقل سال‌های ۱۹۹۲ لغایت ۲۰۰۵ به عنوان دوره پایه، و شاخص‌های

می‌گردد. دامنه تغییرات اعتمادپذیری با تکرار این الگوریتم در ترکیب‌های گوناگون مساحت پشت‌بام و تانک ذخیره قابل محاسبه است.

در مطالعه پیش‌رو ابتدا بارندگی توسط مدل‌های گردش عمومی منتخب در جدول (۱) برای دوره پایه شبیه‌سازی می‌گردد. سپس با مقایسه بارندگی‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۲، اقدام به انتخاب بهترین مدل می‌شود. در ادامه ابتدا اعتمادپذیری سامانه‌های آبیگر باران در دوره پایه و با استفاده از آمار مشاهداتی محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از تخمین مقدار بارش ماهانه توسط بهترین مدل‌های گردش عمومی، اعتمادپذیری این سامانه‌ها در آینده ارزیابی می‌گردد. سرانه آب مصرفی هر فرد در مقیاس خانگی تقریباً ۱ متر مکعب در هر ماه تخمین زده شد و مقدار راندمان انتقال از سطح پشت‌بام تا محل تانک ذخیره ۸۰ درصد در نظر گرفته شد.

به منظور تحلیل بهتر ۲ سناریو در خصوص مساحت پشت‌بام، تانک ذخیره و جمعیت خانواده‌ها در نظر گرفته شد. در سناریوی نخست جمعیت خانواده ثابت و معادل ۵ نفر و مقادیر تانک ذخیره و مساحت پشت‌بام به ترتیب با نمونه‌برداری یکنواخت بین ۵ تا ۳۰ متر مکعب و ۱۵۰ تا ۵۰۰ مترمربع انجام شد. در سناریوی دوم با در نظر گرفتن سه مقدار ۴، ۷ و ۱۰ متر مکعب برای تانک ذخیره، مقادیر سطوح پشت‌بام و جمعیت خانوار با نمونه‌برداری از توزیع نرمال به دست آمد. میانگین و انحراف معیار توزیع نرمال سطوح پشت‌بام و جمعیت خانواده به ترتیب ۱۰۰ و ۲۰ متر مربع و ۳ و ۱ نفر در نظر گرفته شد. در این سناریو هدف تعیین بیشترین و کمترین سطوح اعتمادپذیری سامانه‌های آبیگر برای یک خانواده با جمعیت مشخص است. در هر دو سناریو اتخاذ شده نیاز غیر شرب یک فرد در روز معادل ۳۰ لیتر در نظر گرفته شده است. از این رو سرانه مصرف یک خانواده ۵ نفره، حدود ۵ متر مکعب تخمین شده شد.

### نتایج و بحث

نتایج عملکرد خروجی مدل‌های گردش عمومی در خصوص شبیه‌سازی بارندگی ماهانه در دوره پایه در جدول (۲) ارائه شده است. چهار مدل برتری که بهترین مقادیر شاخص‌های ارزیابی را دارا می‌باشند در جدول مشخص و انتخاب شده‌اند و مابقی مدل‌ها کنار گذاشته شدند. بر این اساس مدل‌های CESM1(CAM5)، MIROC-ESM، HadGEM2-ES و MIROC-ESM-CHEM به عنوان مدل‌های برتر انتخاب می‌شوند. همچنین شکل (۲) سری زمانی تغییرات بارندگی مشاهداتی را در کنار شبیه‌سازی مدل‌های برتر نشان می‌دهد.

در این مطالعه پس از تعیین شدن بهترین مدل، بارندگی برای دوره آینده (۲۰۱۷ الی ۲۰۳۰) براساس این مدل شبیه‌سازی می‌شود و

شهری و ذخیره و نگهداشت آب باران، اطلاق می‌شود. به طور عمده هدف پیاده‌سازی این سامانه‌ها، استفاده از آب ذخیره شده برای مصارف کشاورزی، خانگی (بهداشت و شست‌وشو) و شرب انسان، دام و حیات وحش می‌باشد (Myers, 1975). در این مطالعه کاربرد این سامانه‌ها در تأمین بخشی از نیازهای غیر شرب خانگی در شهر بیرجند مدنظر می‌باشد. با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه، می‌توان مشکل کم‌آبی را با جمع‌آوری آب باران تا حدی کاهش داد. استفاده از سطوح پشت‌بام این امکان را فراهم می‌کند تا بخشی از نیاز غیر شرب منازل مسکونی تأمین گردد. در این روش می‌توان بارندگی را به صورت مستقیم جمع‌آوری و ذخیره نمود و برای مصارف آبیاری فضای سبز، سرویس بهداشتی، شستشوی حیاط و غیره استفاده کرد (Pahlavani et al, 2016). برای مشخص نمودن اینکه تا چه حدی می‌توان برای رفع نیازهای غیر شرب به سامانه‌های آبیگر باران توجه کرد، از مفهوم اعتمادپذیری استفاده می‌شود.

### بررسی اعتمادپذیری سامانه‌های آبیگر باران

مفهوم اعتمادپذیری به این صورت تبیین می‌شود که در یک بازه زمانی مشخص تا چه اندازه از نیازهای غیر شرب با آب ذخیره شده توسط سامانه‌های آبیگر باران مسکونی قابل تأمین است. به عبارت دیگر تا چه اندازه می‌توان برای رفع به این سامانه‌ها اعتماد کرد. اعتمادپذیری تابعی از سطح پشت‌بام، تانک ذخیره، مقدار بارندگی و میزان مصرف می‌باشد. این اعتمادپذیری در ترکیب‌های مختلف مساحت پشت‌بام و حجم تانک ذخیره متفاوت خواهد بود.

با ریزش باران متناسب با سطح پشت‌بام، حجم مشخصی از باران جمع‌آوری شده از پشت‌بام به سمت تانک ذخیره هدایت می‌شود تا برای مصارف مشخص استفاده شود. در طول یک مدت بهره‌برداری مشخص، حجم آب باران ذخیره شده در هر گام زمانی توسط الگوریتم Jenkins و Pearson (1978) قابل محاسبه است. معادله (۱۰) رابطه این الگوریتم را نشان می‌دهد:

$$\text{for } t = 2:b \\ V_t = \{V_{t-1} + \min[(A.P_t, \varepsilon), (S - V_{t-1})] - O_t\} \quad (10) \\ \text{end}$$

در این رابطه  $V_t$  و  $V_{t-1}$  به ترتیب حجم ذخیره شده در گام زمانی  $t$  و  $t-1$  (متر مکعب)،  $b$  طول دوره بهره‌برداری،  $A$  مساحت پشت‌بام (متر مربع)،  $S$  حجم تانک ذخیره (متر مکعب)،  $O_t$  مقدار نیاز آبی خانگی در گام زمانی  $t$  (متر مکعب)،  $P_t$  مقدار بارندگی در گام زمانی  $t$  (متر) و  $\varepsilon$  راندمان بخش انتقال می‌باشد. این الگوریتم برای یک ترکیب مشخص از مساحت پشت‌بام و تانک ذخیره در طول مدت بهره‌برداری تکرار می‌شود و در پایان مقدار اعتمادپذیری بر حسب تعداد روزهایی که نیاز آب خانگی را برآورد نماید محاسبه



و در شکل (۳) ارائه شده است. طبق نتایج ارائه شده در این شکل بیشترین و کمترین سطح اعتمادپذیری به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۰۵ برآورد گردیده است. عموماً مساحت‌های پشت‌بام بیشتر از ۴۰۰ مترمربع و حجم بیش از ۲۰ متر مکعب برای تانک ذخیره، اعتمادپذیری حداکثر را ایجاد می‌نماید.

الگوریتم اعتمادپذیری برای دوره آینده و پایه اجرا می‌گردد. سرانه آب مصرفی هر فرد در مقیاس خانگی تقریباً ۱ متر مکعب در هر ماه تخمین زده شد و مقدار راندمان انتقال ۸۰ درصد در نظر گرفته شد. سطوح مختلف اعتمادپذیری سامانه‌های آبیگر آب باران به عنوان مهم‌ترین هدف مطالعه در دوره پایه برای شهر بیرجند محاسبه

جدول ۲- نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های گردش عمومی

**Table 2- Performance assessment of the GCMs**

GCMs	RMSE	R <sup>2</sup>	NSE <sub>C</sub>	Pbias
BCC-CSM1.1	19.403	0.068	0.280	-10.669
CCSM4	20.871	0.069	0.220	-14.692
CESM1 (CAM5)	<b>18.078</b>	<b>0.143</b>	<b>0.352</b>	<b>-9.752</b>
CSIRO-MK3.6	19.425	0.123	0.275	3.481
GFDL-CM3	19.857	0.104	0.245	3.465
GFDL-ESM2G	20.074	0.086	0.232	0.907
GFDL-ESM2M	18.477	0.146	0.294	1.258
HadGEM2-ES	<b>18.196</b>	<b>0.242</b>	<b>0.337</b>	<b>10.845</b>
IPSL-CM5A-LR	21.629	0.060	0.222	-0.329
IPSL-CM5A-MR	18.685	0.158	0.293	-5.208
MIROC5	19.500	0.093	0.274	6.532
MIROC-ESM	<b>18.005</b>	<b>0.188</b>	<b>0.306</b>	<b>9.008</b>
MIROC-ESM-CHEM	<b>18.001</b>	<b>0.172</b>	<b>0.353</b>	<b>-7.584</b>
NorESM1-M	19.723	0.126	0.247	-5.977

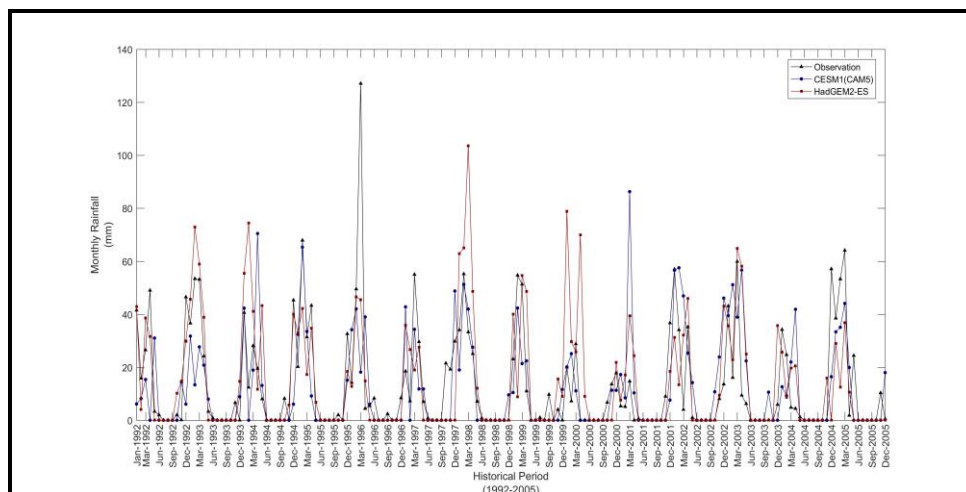
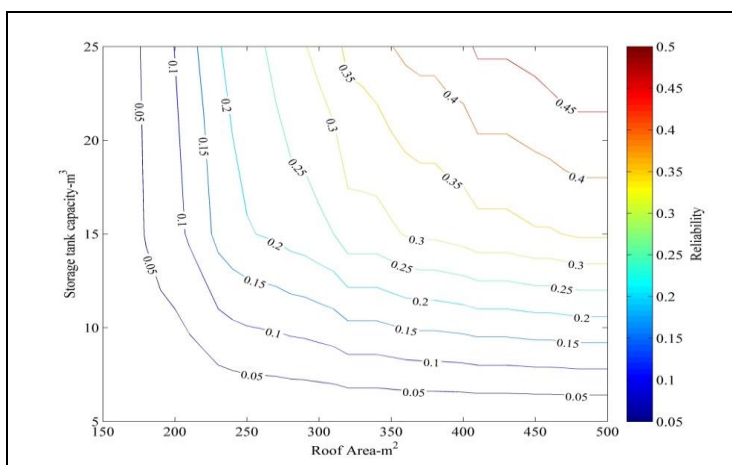


Fig. 2- Time series of the simulated and observation monthly precipitation  
شکل ۲- مقایسه بارندگی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی توسط دو مدل برتر



**Fig3- Reliability level in the historical period**

### شکل ۳- سطوح مختلف اعتمادپذیری در دوره پایه

ذخیره، می‌توان ارزیابی بهتری در خصوص اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد سامانه‌های آبگیر باران در شهر بیرجند نمود. میانگین وزنی سطوح اعتمادپذیری بر اساس بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل برتر گردش عمومی تحت ۲ سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول میانگین سطوح اعتمادپذیری در آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. همچنین افزایش سطوح اعتمادپذیری سناریوی RCP2.6 در مقایسه با RCP8.5 بیشتر خواهد بود.

بر اساس بارندگی پیش‌بینی شده توسط CESM1 (بهترین مدل گردش عمومی)، می‌توان انتظار داشت که بین ۲۰ تا ۶ درصد میانگین سطوح اعتمادپذیری در آینده افزایش داشته باشد. در سناریوی دوم سطوح اعتمادپذیری در آینده بر اساس نمونه‌های اخذ شده از توزیع نرمال مساحت پشت‌بام و جمعیت خانواده‌ها و خروجی مدل CESM1 در دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 برآورد گردیده است. سطوح اعتمادپذیری با در نظر گرفتن تمامی مساحت‌های پشت‌بام متناسب با جمعیت خانواده‌ها و در سه مقیاس متفاوت از تانک ذخیره روی شکل (۶) ارائه شده است.

مطابق با نتایج مندرج در شکل (۶) کاملاً مشخص است که قابلیت اعتماد سطوح آبگیر باران برای تأمین نیاز آب خانگی با افزایش جمعیت خانواده‌ها کاهش می‌یابد. همچنین این شکل حدود اعتمادپذیری این سامانه‌ها بر اساس جمعیت خانواده‌ها نشان می‌دهد. به طور مثال با در نظر گرفتن تمامی مساحت‌های پشت‌بام و سه مقیاس تانک ذخیره، حداکثر اعتمادپذیری به سامانه آبگیر باران در تأمین نیاز آب خانواده‌ای با جمعیت ۳ نفر، حدود ۴۰ درصد برآورد می‌گردد.

منحنی‌های سطوح مختلف اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر آب باران برای دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۷) مطابق با بهترین مدل‌های گردش عمومی و تحت ۲ سناریوی انتشار بدست آمد. شکل (۴) و (۵) به ترتیب سطوح اعتمادپذیری را در سناریوی اول برای مدل‌های CESM1 (CAM5) و HadGEM2-ES تحت دو سناریوی واداشت نشان می‌دهد. طبق این اشکال سطوح مختلفی از اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر آب باران در دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 بدست آمد. به طوری که در سناریوی RCP2.6 بیشترین سطح اعتمادپذیری بیشتر از سناریوی RCP8.5 محاسبه شد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در کنار افزایش شدت واداشت از سطح زمین موجب کاهش بارندگی و متعاقباً کاهش اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر باران می‌شود (Haque, 2016). بر اساس نتایج اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر باران در دوره پایه و آینده می‌توان نتیجه گرفت که سطوح اعتمادپذیری در آینده (به خصوص در سناریوی RCP2.6) نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد داشت.

علاوه بر این که نیاز آب خانگی یک خانواده با جمعیت ۵ نفر در نیمی از ماه‌های دوره بهره‌برداری از طریق به کارگیری سامانه‌های آبگیر باران در شهر بیرجند قابل تأمین خواهد بود. همچنین تحلیل دقیق‌تر منحنی‌های اعتمادپذیری نشان می‌دهد که فاصله بین سطوح پایین اعتمادپذیری نسبت به سطوح بالا کمتر می‌باشد. به بیان دیگر ارتقای اعتمادپذیری در سطوح پایین نسبت به سطوح بالا راحت‌تر می‌باشد. در خصوص علت این موضوع می‌توان بیان نمود که در اقلیم‌های خشک نظیر شهر بیرجند که عمدتاً اکثر بارندگی‌ها در طول سال قابل توجه نمی‌باشد، دستیابی به سطوح پایین اعتمادپذیری با سهولت بیشتری امکان‌پذیر می‌باشد. با بررسی میانگین وزنی سطوح اعتمادپذیری بر اساس کلیه ترکیب‌های سطح پشت‌بام و تانک

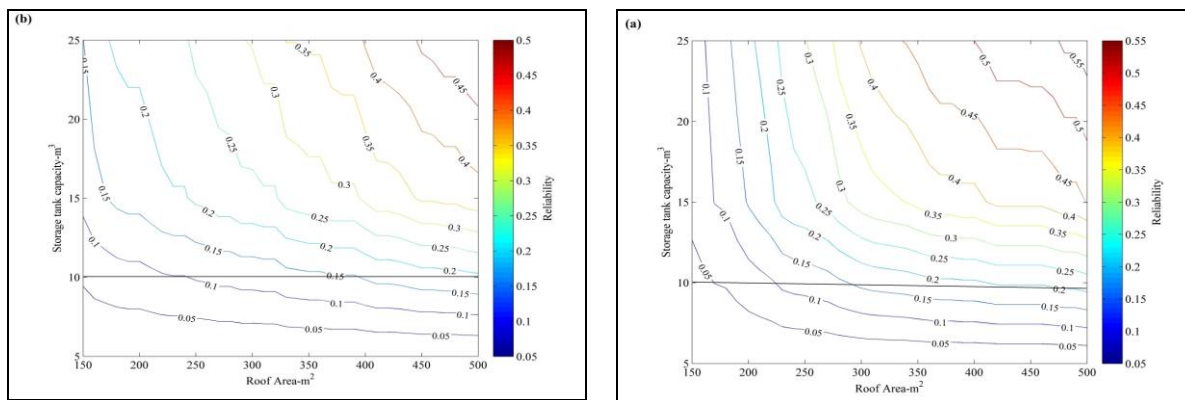


Fig4- Reliability levels of RWHS based on CESM1 under RCP2.6 (a) and RCP8.5 (b) شکل ۴- سطوح اعتمادپذیری خروجی مدل CESM1 تحت سناریوی RCP2.6 (a) و RCP8.5 (b)

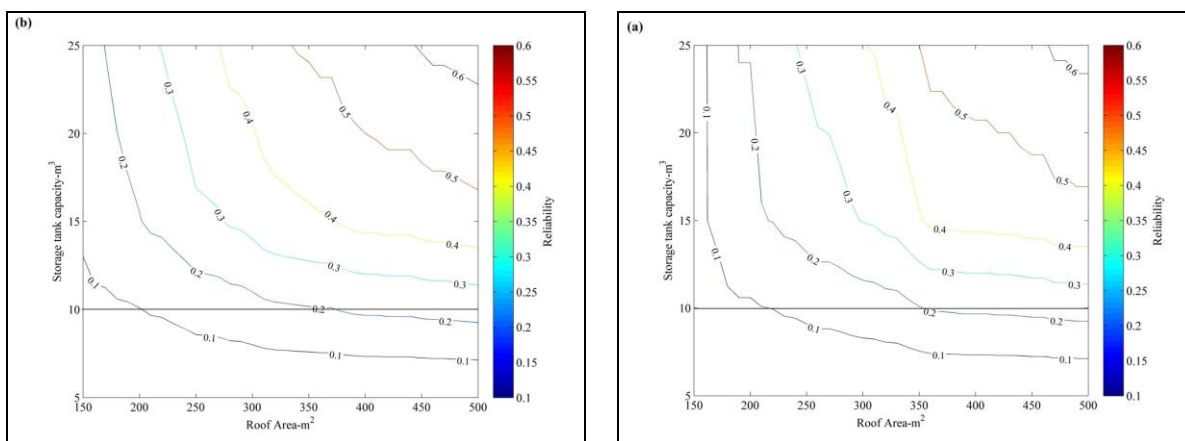
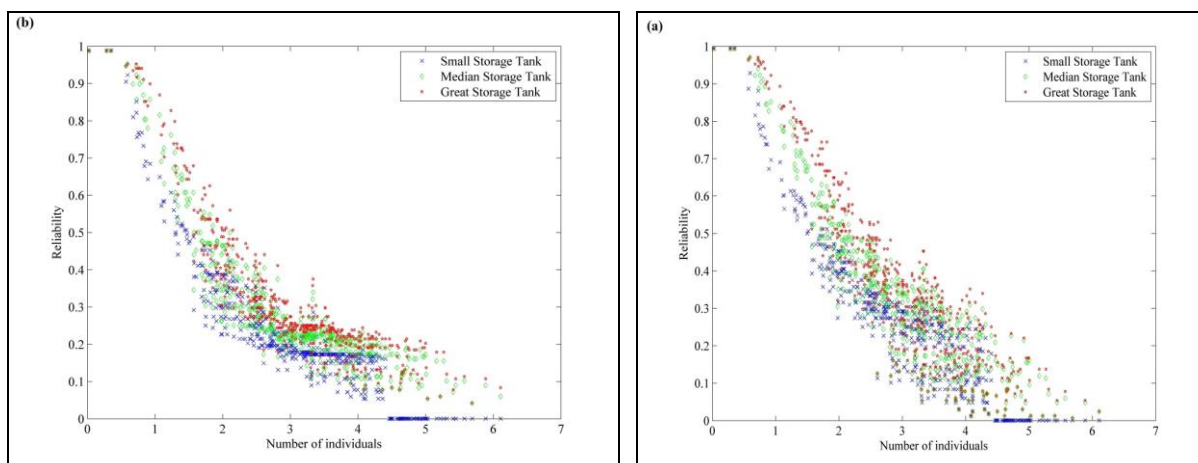


Fig. 5- Reliability levels of RWHS based on HadGEM2-ES under RCP2.6 (a) and RCP8.5 (b) شکل ۵- سطوح اعتمادپذیری خروجی مدل HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP2.6 (a) و RCP8.5 (b)

Table3- Details of the weighted mean reliability in the historical and future periods

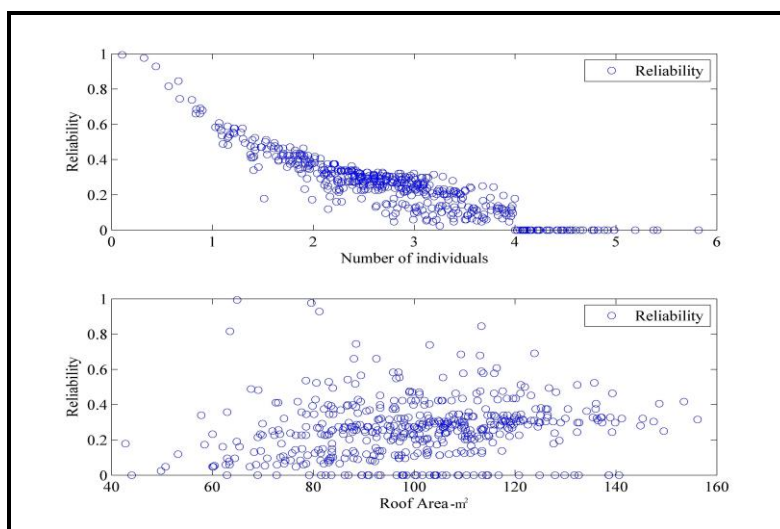
جدول ۳- میانگین وزنی سطوح اعتمادپذیری در دوره پایه و آینده

Period	RCP	Weighted mean of the reliability
Historical		0.15
	CESM1- 2.6RCP	0.18
	CESM1- 8.5RCP	0.16
Future	HadGEM2- 2.6RCP	0.22
	HadGEM2- 8.5RCP	0.24
	MIROC-ESM- 2.6RCP	0.17
	MIROC-ESM- 8.5RCP	0.16
	MIROC-ESM-CHEM- 2.6RCP	0.17
	MIROC-ESM-CHEM- 8.5RCP	0.17



شکل ۶- تغییرات اعتمادپذیری سطوح آبگیر باران براساس جمعیت خانواده مطابق با مدل CESM1 تحت سناریوی RCP8.5 (b) و RCP2.6 (a)

Fig6- Reliability of RWHS based on family population and CESM1 under RCP2.6 (a) and RCP8.5 (b)



شکل ۷- رابطه بین اعتمادپذیری، جمعیت خانواده و سطح پشت‌بام

Fig7- Relationship between the reliability, the roof area, and the water demands may

در این مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر روی اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر باران مسکونی در دو دوره پایه و آینده بررسی شد. سطوح مختلف اعتمادپذیری براساس بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی به‌دست آمد. سپس با استفاده از روش BCSD ریزمقیاس‌نمایی و با بکارگیری درون‌یابی کریجینگ ساده، مقدار بارندگی برای ایستگاه سینوپتیک بیرجند به‌دست آمد. نتایج نشان داد که اعتمادپذیری سامانه‌های آبگیر باران براساس بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های برتر گردش عمومی، در

بر اساس دانش عمومی ما از کارکرد سامانه‌های آبگیر باران، با افزایش سطح پشت‌بام می‌توان آب باران بیشتری را جمع‌آوری نمود و متعاقباً سطح اعتمادپذیری افزایش می‌یابد. ولی نتایج سناریوی دوم نشان داد که وابستگی اعتمادپذیری این سامانه‌ها به جمعیت خانواده‌ها به مراتب بیشتر از مساحت پشت‌بام می‌باشد. شکل (۷) مطابق با بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل CESM1، تأثیرگذاری توأم دو متغیر جمعیت خانواده و مساحت پشت‌بام را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

تمامی مساحت‌های پشت‌بام و یک تانک ذخیره با حجم ۱۰ مترمکعب حداً ۴۰ درصد خواهد بود. در نهایت باید توجه لازم داشت که عملیاتی شدن این سامانه‌ها به صورت گسترده، نیازمند حمایت‌ها و الزامات قانونی از طرف مراجع ذی‌صلاح می‌باشد. نمونه‌های موفق اجرا شده در کشورهای استفاده کننده نظیر آلمان، ژاپن، هند، استرالیا، ایالت متحده آمریکا و انگلستان از این سامانه‌ها نشان می‌دهد که به منظور استفاده گسترده این سامانه‌ها لازم است تا الزامات قانونی و حمایت‌های مالی و فنی ابتدا در مناطق مورد مطالعه تصویب شود. در این خصوص می‌توان از تجارب موفق به‌دست آمده در کشورهای فوق استفاده نمود.

سناریوی RCP2.6 به مراتب بیشتر از RCP8.5 می‌باشد. همچنین یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که سطوح اعتمادپذیری در آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. به طوریکه میانگین وزنی اعتمادپذیری در آینده و مطابق با بهترین مدل گردش عمومی بین ۲۰ تا ۶ درصد افزایش خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد که پیاده‌سازی این سامانه‌ها با مساحت پشت‌بام بیش از ۴۰۰ متر مربع و تانک ذخیره بیش از ۲۰ مترمکعب، می‌تواند نیاز آب خانگی یک خانواده با جمعیت ۵ نفر را در نیمی از ماه‌های بهره‌برداری (دوره پایه و آینده) تأمین نماید. علاوه بر این حداکثر اعتمادپذیری این سامانه‌ها برای تأمین نیاز آب خانواده‌ای با جمعیت ۳ نفر با در نظر گرفتن

### References

- 1- Abaje, I.B., Ndabula, C. and Garba, A.H., 2014. Is the changing rainfall patterns of Kano State and its adverse impacts an indication of climate change?. *European Scientific Journal*, 10(2): 192-206.
- 2- Abatzoglou, J.T. and Brown, T.J., 2012. A comparison of statistical downscaling methods suited for wildfire applications. *International Journal of Climatology*, 32(5), pp.772-780.
- 3- AbdelKhaleq, R.A. and Ahmed, I.A., 2007. Rainwater harvesting in ancient civilizations in Jordan. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(1), pp.85-93.
- 4- Adejuwon, J.O., 2012. Rainfall seasonality in the Niger Delta Belt, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning*, 5(2), p.51-60.
- 5- Afshar, A.A., Hasanzadeh, Y., Besalatpour, A.A. and Pourreza-Bilondi, M., 2017. Climate change forecasting in a mountainous data scarce watershed using CMIP5 models under representative concentration pathways. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(1-2), pp.683-699.
- 6- Aladenola, O., Cashman, A. and Brown, D., 2016. Impact of El Niño and Climate Change on Rainwater Harvesting in a Caribbean State. *Water Resources Management*, 30(10), pp.3459-3473.
- 7- Amin, M.T., Alazba, A.A. and ElNesr, M.N., 2013. Adaptation of climate variability/extreme in arid environment of the Arabian peninsula by rainwater harvesting and management. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10(1), pp.27-36.
- 8- Balogun, I.I., Sojobi, A.O. and Oyedepo, B.O., 2016. Assessment of rainfall variability, rainwater harvesting potential and storage requirements in Odeda Local Government Area of Ogun State in South-western Nigeria. *Cogent Environmental Science*, 2(1), p.1138597.
- 9- Basinger, M., Montalto, F. and Lall, U., 2010. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392(3), pp.105-118.
- 10- Becker, S., Gemmer, M. and Jiang, T., 2003. Observed and interpolated precipitation trends and variability in the Yangtze catchment area. *Journal of Lake Sciences*, 15(Suppl), pp.123-129.
- 11- Christensen, N.S., Wood, A.W., Voisin, N., Lettenmaier, D.P. and Palmer, R.N., 2004. The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. *Climatic Change*, 62(1), pp.337-363.

- 12- Cressie, N.A., 1993. Statistics for spatial data/Noel AC Cressie. *Wiley series in probability and mathematical statistics. Applied probability and statistics section.*
- 13- Dagar, J.C., Sharma, P.C., Chaudhari, S.K., Jat, H.S. and Ahamad, S., 2016. Climate change vis-à-vis saline agriculture: Impact and adaptation strategies. In *Innovative Saline Agriculture* (pp. 5-53). Springer, New Delhi.
- 14- Duan, K., and Mei, Y. 2014. A comparison study of three statistical downscaling methods and their model-averaging ensemble for precipitation downscaling in China. *Theoretical and Applied Climatology*, 116: 707-719.
- 15- Ferrand, E.A., 2015. Rainwater harvesting as an effective climate change adaptation strategy in rural and urban settings. In *Managing Water Resources under Climate Uncertainty* (pp. 405-420). Springer, Cham.
- 16- Hanson, L.S., 2010. Rainwater harvesting performance in a changing climate. In *World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change* (pp. 485-494).
- 17- Haque, M.M., Rahman, A. and Samali, B., 2016. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production*, 137, pp.60-69.
- 18- Helmreich, B. and Horn, H., 2009. Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, 248(1-3), pp.118-124.
- 19- Jafarzadeh A, Khashei-siuki and A, Shahidi A. 2016. Assessment two methods of statistical downscaling LARS-WG and SDSM in estimates of climate parameters variation (Case study: Birjand plain). *Journal of water and soil conservation*. 19;23(4). (In Persian).
- 20- Jafarzadeh, A., Pourreza-Bilondi, M., Afshar, A.A., Khashei-Siuki, A. and Yaghoobzadeh, M., 2018. Estimating the reliability of a rainwater catchment system using the output data of general circulation models for the future period (case study: Birjand City, Iran). *Theoretical and Applied Climatology*, pp.1-12.
- 21- Jenkins, D. and Pearson, F., 1978. Feasibility of rainwater collection systems in California. *Contribution-California. University.*
- 22- Jokisch, A., Urban, W. and Kluge, T., 2016. Small Scale Rain-and Floodwater Harvesting for Horticulture in Central-Northern Namibia for Livelihood Improvement and as an Adaptation Strategy to Climate Change. In *Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities* (pp. 39-52). Springer, Cham.
- 23- Kahinda, J.M., Taigbenu, A.E. and Boroto, R.J., 2010. Domestic rainwater harvesting as an adaptation measure to climate change in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35(13), pp.742-751.
- 24- Kalungu, J.W., Filho, W.L., Mbugu, D.O. and Cheruiyot, H.K., 2015. Assessing the impact of rainwater harvesting technology as adaptation strategy for rural communities in Makueni County, Kenya. *Handbook of climate change adaptation*, pp.1615-1634.
- 25- König, K.W. and Lo, A., 2009. Rainwater harvesting providing adaptation opportunities to climate change. *Rainwater harvesting: a lifeline for human well-being*, p.56.
- 26- Lebel, S., Fleskens, L., Forster, P.M., Jackson, L.S. and Lorenz, S., 2015. Evaluation of In Situ rainwater harvesting as an adaptation strategy to climate change for maize production in rainfed Africa. *Water Resources Management*, 29(13), pp.4803-4816.
- 27- Myers, L. E. (1975). Water harvesting--2000 BC to 1974 AD. ARS W Agric Res Serv US Dep Agric.

- 
- 28- Ogungbenro, S.B. and Morakinyo, T.E., 2014. Rainfall distribution and change detection across climatic zones in Nigeria. *Weather and Climate Extremes*, 5, pp.1-6.
- 29- Pahlavani P, Dastorani M, Tabatabaee J, and Vafakhah M. (2016) Evaluation and comparison of rainwater harvesting potential from roof catchments in different climatic conditions (Case Study: Mashhad and Noor in Iran). *Journal of Rainwater Catchment Systems*. 4 (3):1-10. (In Persian)
- 30- Pandey, R., Kala, S. and Pandey, V.P., 2015. Assessing climate change vulnerability of water at household level. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(8), pp.1471-1485.
- 31- Phillips, D.L., Dolph, J. and Marks, D., 1992. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58(1-2), pp.119-141.
- 32- Qian, W. and Zhu, Y., 2001. Climate change in China from 1880 to 1998 and its impact on the environmental condition. *Climatic change*, 50(4), pp.419-444.
- 33- Tabari, H. and Talaei, P.H., 2011. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. *Journal of Hydrology*, 396(3), pp.313-320.
- 34- Traboulsi, H. and Traboulsi, M., 2015. Rooftop level rainwater harvesting system. *Applied Water Science*, pp.1-7.
- 35- Wallace, C.D., Bailey, R.T. and Arabi, M., 2015. Rainwater catchment system design using simulated future climate data. *Journal of Hydrology*, 529, pp.1798-1809.
- 36- Wood, A.W., Maurer, E.P., Kumar, A. and Lettenmaier, D.P., 2002. Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D20), pp.ACL-6.