

## پیش‌بینی تغییر اقلیم تهران و یزد در آینده تحت سناریوهای RCP و توسط مدل

### LARS-WG

رضا کاظمی<sup>۱</sup>

محمد رضا خزائی<sup>۲\*</sup>

[khazaei@pnu.ac.ir](mailto:khazaei@pnu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۵

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۲۵

#### چکیده

**زمینه و هدف:** تغییر اقلیم موجب تغییر متغیرهای اقلیمی در آینده می‌شود. برای پیشگیری از اثرات سوء تغییر اقلیم، لازم است متغیرهای اقلیمی برای آینده پیش‌بینی شوند. هدف این تحقیق شبیه‌سازی صحیح بارش و دمای روزانه تهران و یزد، با اقلیم خشک، در دوره ۲۰۶۵-۲۰۳۶ تحت اثر تغییر اقلیم و با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها است.

**روش بررسی:** خروجی‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCPs توسط LARS-WG ریزمقیاس شد. در ریزمقیاس نمائی، ویژگی‌های مختلف سناریوهای بزرگ مقیاس به سناریوهای ریزمقیاس شده انتقال یافت. در اغلب مطالعات پیشین تنها تغییرات میانگین‌ها در نظر گرفته شده است. عدم قطعیت‌های سناریوهای انتشار و نوسانات اقلیمی با به‌کارگیری سه سناریوی انتشار و تولید ۱۰۰ سری ۳۰ ساله‌ی متغیرها برای هر سناریو بررسی شد. لذا دامنه وسیعی از حالات محتمل آینده پیش‌بینی شد و نتایج مطمئن‌تری به دست آمد.

**یافته‌ها:** در آینده دمای تهران و یزد در اغلب ماه‌های سال افزایش می‌یابد، اما در بعضی از ماه‌ها نیز کاهش می‌یابد. به‌عنوان نمونه میانگین دمای حداکثر ماه آوریل (فروردین) در تهران بین ۶/۱ تا ۶/۹ و در یزد بین ۷/۱ تا ۸/۲ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد، اما در ماه سپتامبر (شهریور) دمای حداکثر در تهران تا ۲/۴ و در یزد تا ۰/۷ درجه کاهش می‌یابد. بارش سالانه در آینده در تهران بین ۲۰٪ تا ۴۰٪ و در یزد بین ۴۳٪ تا ۴۹٪ افزایش می‌یابد. اما تغییرات در ماه‌های مختلف متفاوت است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** آب و هوای تهران و یزد در آینده می‌تواند به مقدار زیادی تغییر کند. لذا اتخاذ تدابیر سازگاری با تغییر اقلیم ضروری است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، عدم قطعیت، RCPs، LARS-WG.

۱- کارشناس ارشد، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.  
۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

## **Prediction of future climate change in Tehran and Yazd under RCPs scenarios and using LARS-WG model**

**Reza Kazemi<sup>1</sup>**

**Mohammad Reza Khazaei<sup>2\*</sup>**

[khazaei@pnu.ac.ir](mailto:khazaei@pnu.ac.ir)

Admission Date: July 26, 2020

Date Received: October 17, 2019

### **Abstract**

**Background and Objective:** Climate change will change climate variables in the future. In order to reduce the negative effects of climate, it is required to project future climate variables. The purpose of this study is to simulate most realistic daily rainfall and temperature series for Tehran and Yazd, with arid climatic, in period of 2036-2065 with considering uncertainty.

**Material and Methodology:** the outputs of the CANESM2 under RCP scenarios were downscaled using LARS-WG. In downscaling, various characteristics of the large-scale scenarios were transferred to the downscaled scenarios. In most of the previous studies, only changes in averages have been considered. The uncertainties of emission scenarios and climatic variabilities were investigated using three emission scenarios and generating 100 series of 30-year variables for each scenario. So, a wide range of probable future scenarios is predicted and more reliable results are obtained.

**Findings:** The results show in the future, for both Tehran and Yazd, temperature will rise in most months of the year, while in some months it will decrease. Average maximum temperature in April will increase between 6.1 to 9.9 °C in Tehran, and between 7.1 to 8.2 in Yazd, while it will decrease in September by 2.4 degrees in Tehran, and by 0.7 degrees in Yazd. Future annual rainfall will increase between 20% to 40% in Tehran and between 43% to 49% in Yazd. However, changes vary in different months.

**Discussion and Conclusion:** Climate regime of both Tehran and Yazd can considerably change in the future. Therefore, adaptation strategies with climate change are necessary.

**Key words:** Climate change, Downscaling, Uncertainty, LARS-WG, RCPs.

---

1- Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, I.R of Iran. \* (Corresponding Author)

## مقدمه

ریزمقیاس یافته است. علاوه بر آن؛ با استفاده از WGها برای کاهش مقیاس، همبستگی طبیعی مقادیر بارش و دما در سری-های ریزمقیاس شده حفظ می‌شود، که این برای بعضی کاربردهای بعدی، مثلاً برای ارزیابی آثار هیدرولوژیکی تغییر اقلیم، ضروری است.

یکی از خوش‌نام‌ترین و پرارجاع‌ترین WGها، مدل LARS-WG<sup>۴</sup> است که در بسیاری از مطالعات ارزیابی آثار تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است. LARS-WG از نوع مدل‌های استوکاستیک چند متغیره‌ی تولید داده‌های هواشناسی است. این مدل با بیش از ۱۴۰ ارجاع در مقالات ISI تا سال ۲۰۰۶، یکی از مولدهای هواشناسی است که بیش‌تر از همه در مورد آن‌ها گزارش شده (۴) و به‌عنوان یک روش ریزمقیاس‌نمایی آماری خوب شناخته شده است (۵).

از جمله مطالعاتی که در آن‌ها از مدل LARS-WG برای پیش‌بینی آثار تغییر اقلیم در سال‌های آینده استفاده شده، به موارد زیر اشاره می‌شود: معافی مدنی و همکاران (۱۳۹۱)، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی برای دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) پرداختند (۶). ایشان خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 را برای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک در استان خراسان رضوی توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس نمودند. نتایج نشان داد که تحت سناریوی مورد بررسی، طی دو دهه آینده خشکسالی در اغلب ایستگاه‌های خراسان رضوی کاهش می‌یابد. آگراوال و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۵)، برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما در یک حوضه آبریز در کشور نپال از مدل LARS-WG استفاده کردند (۷). ایشان از خروجی‌های ۱۰ مدل جهانی تحت سه سناریوی انتشار A2، A1B و B1 از سری<sup>۵</sup> SRES استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی دمای حداقل و حداکثر عملکرد خوبی دارد. همچنین پیش‌بینی شد

با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای (به ویژه دی‌اکسید کربن) در قرن اخیر، تغییر اقلیم یکی از چالش‌هایی است که بشر با آن مواجه است. پیش‌بینی می‌شود تداوم تغییر اقلیم در آینده اثرات قابل توجه‌ای بر بارش و دما و سپس بر متغیرهای وابسته به آن-ها از جمله جریان رودخانه‌ها و کشاورزی داشته باشد. بر این مبنای، برای طرح برنامه‌های توسعه‌ای آینده، لازم است متغیرهای اقلیمی از جمله بارش و دما برای شرایط تغییر یافته آینده پیش‌بینی شوند. مدل‌های گردش عمومی (GCMs)، واکنش اقلیم جهانی را به غلظت گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی می‌کنند و سناریوهای اقلیمی آینده را برای سراسر کره زمین شبیه‌سازی می‌نمایند (۱). اما وضوح مکانی خروجی‌های جهانی کم است، لذا برای مطالعه‌ی آثار تغییر اقلیم در هر منطقه‌ی خاص، لازم است سناریوهای خروجی این مدل‌ها به وضوح مناسب ریزمقیاس شود (۲). مطالعات زیادی به ارزیابی آثار منطقه‌ای تغییر اقلیم پرداخته‌اند و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی متعددی برای کاهش مقیاس خروجی‌های جهانی توسعه یافته است. به‌دلیل قابلیت-های ویژه‌ی مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی (WGها)؛ در مطالعات بسیاری برای ریزمقیاس‌نمایی<sup>۲</sup> خروجی GCMها از این روش استفاده شده است. از جمله قابلیت‌های این مدل‌ها به موارد زیر اشاره می‌شود (۳). یک WG توسط سری‌های مشاهداتی واسنجی می‌شود و سپس می‌تواند سری‌های متعددی از متغیرها با طول آماری دلخواه تولید کنند. در حالی که سری‌های مشاهداتی طول کوتاهی دارد و حالات محدودی از اقلیم را ارائه می‌کند، سری‌های تولید شده طولانی مدت هستند و دامنه وسیعی از حالات محتمل اقلیمی را در بر می‌گیرند که برای تحلیل ریسک وقایع حدی و ارزیابی عدم قطعیت نوسانات اقلیمی اهمیت دارد. از دیگر مزایای استفاده از WGها امکان انتقال تغییرات مشخصات مختلف متغیرهای اقلیمی (از جمله تغییرات میانگین، طول دوره‌های خشک و تر و واریانس متغیرها) از سناریوهای بزرگ مقیاس به سناریوهای

4- Long Ashton Research Station Weather Generator  
5- Agarwal et al  
6- Special Report on Emission Scenarios

1- General Circulation Model (GCM)  
2- Weather Generators (WGs)  
3- Downscaling

خشکسالی را برای ایستگاه شهرکرد نشان می‌دهد. شابلون-علم و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۶)، از مدل LARS-WG برای پیش‌بینی آثار تغییر اقلیم بر منحنی شدت-مدت-فراوانی بارش روزانه در ایستگاه ساسکاتون<sup>۲</sup> کانادا استفاده کردند. ایشان در ادامه با استفاده از داده‌های ساعتی مشاهداتی و مدل K-NN داده‌های بارش روزانه اقلیم آینده را به داده‌های ساعتی تعمیم دادند و اثر تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش را تحت سناریوهای انتشار RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 و هشت مدل جهانی اقلیم (شامل مدل‌های CanESM2, BCC, CSIRO, CNRM, IPSL, HadGEM2-ES, MRI و MIROC) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که اندازه و بزرگی مقدار بارش‌های حدی سیل‌آسا در آینده نسبت به انتخاب مدل‌های گردش عمومی و سناریوهای<sup>۴</sup> RCPs حساس است. اما در مجموع شدت بارش تا پایان قرن ۲۱ در حال افزایش است (۱۲). محمدلو و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از LARS-WG خروجی‌های دو مدل گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار A1B, A2 و B1 را ریزمقیاس نمودند، و پیامدهای تغییر اقلیم برای دما و بارندگی حوضه باراندوزچای واقع در شمال غرب کشور را در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ پیش‌بینی کردند (۱۳). نتایج نشان داد که در دوره آبی، میزان دما و بارندگی نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهد یافت، ضمن آنکه الگوی زمانی بارندگی نیز تغییر خواهد یافت. سبحانی و گل-دوست (۱۳۹۷) سناریوی دمای حداقل روزانه یک مدل گردش عمومی را توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس نمودند و اثر تغییر اقلیم را بر آغاز و پایان یخبندان ایستگاه‌های پارس‌آباد، اردبیل و خلخال، در دوره‌های آینده پیش‌بینی نمودند (۱۴). نتایج نشان داد که مدل LARS-WG توانایی قابل‌قبولی در این شبیه‌سازی و پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر دوره‌های یخبندان دارد. همچنین نتیجه شده که در آینده طول دوره های یخبندان کوتاه‌تر خواهد شد.

که میانگین‌های فصلی و سالانه دمای حداکثر و حداقل در آینده افزایش می‌یابد. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۴)، اثر تغییر اقلیم بر بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه را در ۴ ایستگاه در سمنان پیش‌بینی کردند (۸). در این مطالعه خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سه سناریوی A2, B1 و A1B از سری SRES برای دوره زمانی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس شد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۴)، اثر تغییر اقلیم را بر میانگین ماهانه دما و بارش توسط دو روش کاهش مقیاس LARS-WG و عامل تغییرات ارزیابی کردند و سپس اثر تغییر اقلیم بر جریان در یک حوضه با اقلیم خشک در یزد را بررسی کردند (۹). در نتیجه ملاحظه شد که با استفاده از دو روش، سناریوهای جریان آینده ۳۰ درصد تفاوت دارد. در این بررسی اثر روش کاهش مقیاس بر میانگین‌ها بررسی شد و مطالعه برای یک سناریوی A2 از سری SRES در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ انجام شد. نتایج نشان داد که لازم است تغییرات آماره‌های مختلف در کاهش مقیاس توسط مدل LARS-WG در نظر گرفته شود. ضرغامی و همکاران (۲۰۱۶)، اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش جریان بالادست حوضه یامچی واقع در شمال غرب ایران را برای دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) مورد ارزیابی قرار دادند (۱۰). در این پژوهش خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 (از خانواده سناریوهای انتشار SRES) را توسط LARS-WG و سناریوهای انتشار RCP4.5, RCP2.6 و RCP8.5 را توسط مدل SDSM ریزمقیاس نمودند (۱۰). نتایج این ارزیابی نشان داد که برای افق ۲۰۱۱-۲۰۳۰، متوسط دما تا ۰/۷۷ درجه سانتیگراد و بارش تا ۱۱ میلی متر افزایش خواهد یافت. خورانی و همکاران (۱۳۹۵)، اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی در دو ایستگاه خشک و نیمه‌خشک بندرعباس و شهرکرد را برای دوره (۲۰۱۱-۲۰۴۰) پیش‌بینی کردند (۱۱). در این مطالعه خروجی‌های مدل HadCM3 تحت سه سناریوی A2, B1 و A1B از سری SRES توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس گردید. نتایج نشان داد که بر اساس تمام سناریوهای مورد مطالعه، شدت خشکسالی در هر دو ایستگاه افزایش خواهد یافت، به جز سناریوی B1 که کاهش

1- Shahabul et al

2- Intensity-Duration-Frequency curve

3- Saskatoon

4- Representative Concentration Pathways

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد تحقیق

این مطالعه برای دو ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران و سینوپتیک یزد انجام شده است. به این منظور از سری‌های ۳۰ ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۰) بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه روزانه ثبت شده در این ایستگاه‌ها استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. ایستگاه تهران دارای میانگین بارش ۲۴۱ میلی‌متر در سال و میانگین دمای ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد و ایستگاه یزد دارای میانگین بارش ۶۴ میلی‌متر در سال و میانگین دمای ۱۹ درجه سانتی‌گراد است و بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتون، هر دو منطقه دارای اقلیم خشک هستند و به کاهش مقدار آب در دسترس در آینده حساس می‌باشند.

در اغلب مطالعات پیشین از سناریوهای قدیمی SRES استفاده شده است. ضمن آنکه اغلب تنها تغییرات میانگین‌های متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس به سناریوهای ریزمقیاس شده منتقل شده است و از انتقال تغییرات سایر ویژگی‌های آماری به سناریوهای ریزمقیاس شده صرف نظر شده است. این موضوع به دلیل آن است که در نسخه اخیر LARS-WG که توسط سمنو و استراتونوویچ (۲۰۱۰) (۱۵)، توسعه یافته است، سناریوهای آینده تنها بر اساس تغییرات میانگین‌های ماهانه خروجی داده‌های جهانی تنظیم شده‌اند و هیچ تنظیمی در سایر آماره‌ها شامل توزیع طول دوره‌های خشک و توزیع طول دوره‌های بارانی و واریانس دما انجام نشده است. زیرا برای تعیین تغییرات این آماره‌ها و اعمال آن‌ها در سری‌های کاهش مقیاس یافته، لازم است که از سناریوهای روزانه مدل‌های گردش عمومی استفاده شود؛ و داده‌های روزانه برای اغلب داده‌های جهانی در دسترس نیست. لذا از همه تغییراتی که داده‌های جهانی پیش‌بینی می‌کنند در متغیرهای اقلیمی اتفاق بیفتد، تنها تغییرات میانگین‌ها به سری‌های ریزمقیاس شده منتقل شده و تغییرات سایر ویژگی‌های اقلیمی نادیده گرفته می‌شود. در تحقیق حاضر، اثر تغییر اقلیم بر بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر تهران و یزد بر مبنای خروجی‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای جدید RCPS ارزیابی شده است. به این منظور از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس نمودن سناریوهای بزرگ مقیاس اقلیمی به گونه‌ی استفاده شده است که ویژگی‌های مختلف سناریوهای بزرگ مقیاس به سناریوهای ریزمقیاس شده انتقال یافته است. چنین روشی منجر به نتایج مطمئن‌تری برای پیش‌بینی اقلیم آینده می‌شود. علاوه بر آن نتایج تحت سناریوهای مختلف انتشار RCPS و دامنه ۹۵٪ نوسانات اقلیمی ارائه شده است که دامنه وسیعی از حالات محتمل آینده را برای اتخاذ تصمیمات مطمئن‌تر در بر می‌گیرد.

## جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی تهران-مهرآباد و یزد

Table 1. Characteristics of the Tehran-Mehrabad and Yazd weather stations

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	میانگین دما (درجه)	میانگین بارش سالیانه (میلیمتر)
مهرآباد تهران	۵۱°۱۹'	۳۵°۴۱'	۱۱۹۱	۱۷,۵	۲۴۱
یزد	۵۴°۲۴'	۳۱°۴۲'	۱۲۳۷	۱۹	۶۴

تصادفی، از توزیع تجربی مقادیر بارش همان ماه انتخاب می-شود. برای مدل سازی سری های دمای حداقل روزانه و دمای حداکثر روزانه، میانگین ها و انحراف معیار روزانه، به صورت جداگانه برای روزهای خشک و تر محاسبه شده و سیکل فصلی آن ها توسط سری فوریه درجه ۳ مدل و حذف می شود. سپس، بر باقی مانده های این متغیرها، یک مدل خودهمبسته درجه ی اول چند متغیره برازش داده می شود. در این مدل برای تخمین فاز تصادفی دماهای حداقل و حداکثر، از توزیع نیمه تجربی استفاده می شود که برای هر ماه تقویمی و برای روزهای خشک و تر به صورت مجزا تعیین می گردد و پارامترهای آن با درون یابی به همه روزهای سال تعمیم داده می شود.

## روش ریز مقیاس نمایی

برای کاهش مقیاس توسط WGها، آماره های بدست آمده از سری های مشاهداتی، مطابق با سناریوهای تغییر اقلیم مدل-های گردش عمومی تغییر داده می شود و سناریوهای اقلیم آینده با استفاده از آماره های تغییر یافته، تولید می شود. بر اساس سناریوهای تولید شده توسط GCMها خصوصیات مختلفی از متغیرهای اقلیمی (از جمله میانگین، واریانس، نسبت روزهای بارانی) در آینده می تواند تغییر کند. در مدل LARS-WG سناریوهای اقلیمی آینده برای ریزمقیاس نمایی به گونه ای تعبیه شده است که تنها تغییرات میانگین های متغیرهای اقلیمی برای شرایط آینده در نظر گرفته شده است و تغییرات سایر ویژگی های متغیرها در سری های ریزمقیاس شده اعمال نمی شود. لذا در این تحقیق با استفاده از سناریوهای روزانه ی بزرگ مقیاس اقلیم آینده، علاوه بر تغییر میانگین ها، تغییرات سایر ویژگی های آماری متغیرهای اقلیمی نیز در سناریوهای ریز مقیاس شده اعمال شده است تا وضعیت اقلیمی آینده در حوضه به صورت کامل تر و صحیح تر پیش بینی شود. مراحل

## سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای و سناریوهای اقلیمی

سری جدید سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای با عنوان RCPs در سال ۲۰۱۰ توسط هیئت بین الدول تغییر اقلیم تهیه شده است. سناریوی خانواده RCPs شامل ۴ سناریوی مختلف است. این سناریوهای عبارتند از: RCP6، RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 که بر اساس اثر انتشار گازهای گلخانه ای بر سطح واداشتهای تابشی به ۴ دسته ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ وات بر متر مربع تا پایان قرن ۲۱، نامیده شده اند. این مطالعه با استفاده از سناریوهای روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 انجام شده است. خروجی های مدل CanESM2 که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است مربوط به دوره ۳۰ ساله ی ۱۹۷۱-۲۰۰۰ به عنوان دوره کنترل و دوره ۳۰ ساله ۲۰۳۶-۶۵ به عنوان دوره آینده است.

## معرفی مدل LARS-WG

مدل LARS-WG یک مدل مولد داده های استوکستیک روزانه هواشناسی (WG) است (۱۶) و (۱۷). در LARS-WG طول سری های خشک و تر، مقدار بارش و تابش خورشیدی روزهای تر و روزهای خشک، از توزیع های نیمه تجربی مدل می شود. این توزیع ها برای هر ماه از سال از داده های مشاهداتی به دست می آیند. برای تولید داده، ابتدا طول سری های متناوب خشک و تر به صورت تصادفی از توزیع نیمه تجربی انتخاب شده و سپس مقدار بارش هر روزتر، به صورت

اقلیمی می‌تواند موجب عدم قطعیت در نتایج پیش‌بینی تغییر اقلیم شود. در این پژوهش، عدم قطعیت نوسانات طبیعی اقلیمی، با تولید ۱۰۰ سری ۳۰ ساله برای هر متغیر در دوره گذشته و برای هر سناریوی آینده منظور شده است.

### نتایج و بحث

#### اعتبارسنجی مدل LARS-WG

آزمون‌های اعتبارسنجی مدل، شامل t-test برای مقایسه میانگین‌ها و f-test برای مقایسه واریانس‌های متغیرهای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه انجام شد. در این آزمون‌ها میانگین‌های متغیرهای تولید شده در هر ماه از سال، با مقادیر متناظر تولید شده توسط مدل مقایسه شد و مشاهده شد که مقادیر P-value آزمون‌ها عموماً بالاتر از ۰/۰۵ است. این نتایج نشان می‌دهد عملکرد مدل در سطح معنی‌داری ۵ درصد قابل قبول است. همچنین مقادیر P-value آزمون کولموگروف-اسمیرنوف عموماً بزرگتر از ۰/۰۵ است که نشان می‌دهد مدل توزیع فراوانی متغیرهای مشاهداتی را در سطح معنی‌داری ۵ درصد قابل قبول تولید کرده است. با توجه به آنکه عملکرد مدل در بازتولید خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی قابل قبول است اعتبار مدل تأیید می‌شود. علاوه بر آزمون‌های آماری، مقایسه‌ی میانگین‌های بارش و دمای حداکثر تولید شده توسط مدل LARS-WG با مقادیر متناظر مشاهداتی، برای تهران و یزد، به عنوان نمونه، در شکل (۱) نشان داده شده است. میانگین‌های تولید شده با میانگین‌های مشاهداتی در اغلب موارد مطابقت دارد که بیانگر عملکرد قابل قبول مدل است. عملکرد مدل LARS-WG در مطالعات بسیاری در مناطق مختلف دنیا تأیید شده است (۱۷)، (۱۸)، (۱۹) و (۲۰). با توجه به نتایج به دست آمده، مدل LARS-WG متغیرهای بارش و دمای تهران و یزد را به خوبی شبیه‌سازی کرده است و در نتیجه می‌تواند برای ارزیابی آثار تغییر اقلیم در این مناطق به کار رود.

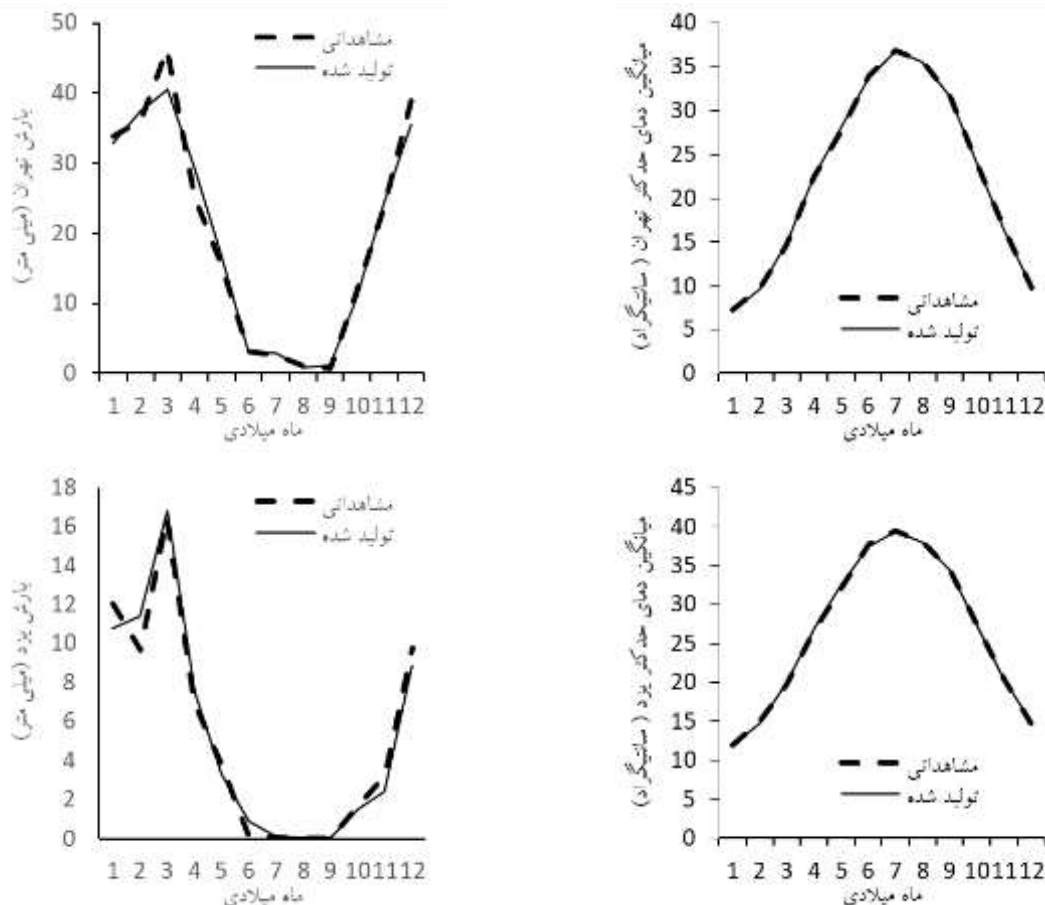
ریزمقیاس‌نمایی در این تحقیق به شرح زیر است: ۱- آماره‌های سری‌های روزانه بارش، کمینه دما و بیشینه دمای روزانه خروجی مدل گردش عمومی، برای دوره کنترل و همچنین برای سناریوی آینده محاسبه می‌شود. ۲- نسبت تغییرات برای میانگین ماهانه‌ی بارش، طول دوره‌های تر، طول دوره‌های خشک، انحراف معیار دمای روزانه و مقدار تغییرات (تفاضل) برای میانگین ماهانه‌ی دمای حداقل و دمای حداکثر محاسبه می‌شود و به ترتیب به صورت ضرب و جمع به مقادیر متناظر مشاهداتی اعمال می‌شود تا آماره‌های سناریوهای ریزمقیاس شده به دست آید. سپس بر مبنای این آماره‌ها، سری‌های متغیرهای اقلیمی برای سناریوهای آینده توسط LARS-WG تولید می‌شود (۱۵).

#### روش اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل، ویژگی‌های آماری داده‌های تولید شده با ویژگی‌های متناظر سری‌های مشاهداتی مقایسه می‌شود. مقایسه میانگین‌ها به وسیله آزمون‌های t-test و مقایسه‌ی واریانس‌های متغیرهای اقلیمی توسط آزمون f-test صورت می‌گیرد. همچنین مقایسه توزیع‌های فراوانی متغیرها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام می‌شود (۱۸). هنگامیکه مقدار P-value بزرگتر از ۰/۰۵ به دست آید، عملکرد مدل در سطح معنی‌داری ۵ درصد قابل قبول است (۱۵).

#### تحلیل عدم قطعیت

با توجه به آنکه وضعیت غلظت گازهای گلخانه‌ای در آینده به صورت قطعی مشخص نیست، این پژوهش تحت سه سناریوی RCP انجام شده است که دامنه‌ای از حالات محتمل انتشار گازهای گلخانه‌ای برای آینده را در بر می‌گیرد. از دیگر عوامل عدم قطعیت در نتایج مطالعات پیش‌بینی تغییر اقلیم، نوسانات اقلیمی است که می‌تواند به عنوان مهمترین منبع عدم قطعیت مطرح باشد (۳). از آنجا که سری‌های مشاهداتی طول کوتاهی (نوعاً ۳۰ سال) دارد، نوسانات اقلیمی را به تعداد کافی در خود ندارد (۱۷). در نتیجه کوتاهی طول آماری با وجود نوسانات



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های متغیرهای تولید شده و مشاهده‌ای

Figure 1. Comparison of averages of observed and simulated variables

### پیش‌بینی تغییر اقلیم

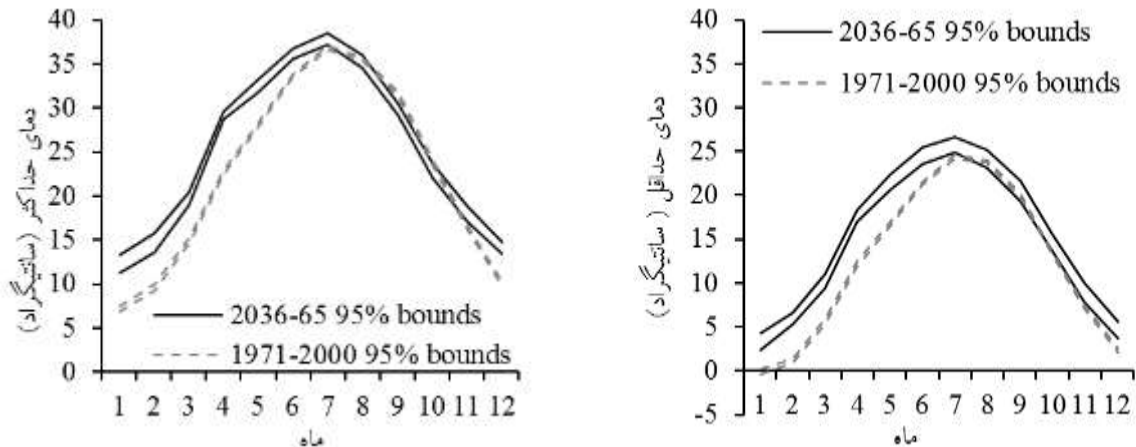
اتفاق خواهد افتاد. بیشترین افزایش میانگین دمای حداکثر و حداقل در ماه آوریل (فروردین) اتفاق می‌افتد که پیش‌بینی می‌شود در این ماه با توجه به عدم قطعیت‌ها، نسبت به میانه‌ی مقادیر دوره‌ی تاریخی، میانگین دمای حداکثر بین ۶/۱ تا ۶/۹ درجه سانتیگراد افزایش یابد و میانگین دمای حداقل بین ۴/۸ تا ۶/۱ درجه افزایش یابد. در حالی که تحت اثر تغییر اقلیم اغلب ماه‌های سال در آینده افزایش دما خواهند داشت، در بعضی از ماه‌ها کاهش دما نیز محتمل است. به طور خاص در ماه‌های سپتامبر و اکتبر (شهریور و مهر) میانگین دمای حداکثر آینده می‌تواند تا ۲/۴ درجه سانتیگراد نسبت به دوره گذشته کاهش یابد. گذشته از تغییرات ماه به ماه و تغییر سیکل فصلی دما، میانگین سالانه‌ی دماهای حداکثر روزانه آینده نسبت به گذشته بین ۱/۹ تا ۳/۴ افزایش خواهد یافت و میانگین سالانه‌ی دماهای حداقل روزانه آینده نسبت به گذشته بین ۱/۹ تا ۳/۷

دامنه محتمل برای میانگین‌های متغیرها در آینده تحت اثر تغییر اقلیم پیش‌بینی شد و در شکل‌های (۲) تا (۵) با دامنه محتمل برای میانگین‌های متغیرهای تاریخی مقایسه شده است. در این نتایج، منظور از دامنه محتمل آینده، حدود ۹۵ درصد ۳۰۰ سری ۳۰ ساله‌ی تولید شده (۱۰۰ سری برای هر یک از سه سناریوی انتشار) است. حدود ۹۵ درصد دوره گذشته نیز، حدود ۹۵ درصد ۱۰۰ سری ۳۰ ساله‌ی تولید شده برای دوره تاریخی است. در شکل (۲) مقادیر میانگین دمای حداقل و حداکثر روزانه تهران در دوره‌ی آینده (۲۰۳۶-۲۰۶۵) و دوره‌ی گذشته (۱۹۷۱-۲۰۰۰) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در آینده مقادیر میانگین‌های ماهانه دمای حداقل و حداکثر و همچنین سیکل ماهانه دمای حداقل و حداکثر در تهران تغییر خواهد کرد. به گونه‌ای که تحت اثر تغییر اقلیم بیشترین افزایش دما در زمستان و بهار (شش ماه اول سال میلادی)



می‌دهد که با وجود عدم قطعیت‌ها، اطمینان زیادی بر تغییر دما در آینده نسبت به دوره گذشته است. از جمله تبعات افزایش دما در زمستان کاهش بارش به صورت برف در آینده است.

افزایش خواهد یافت. در شکل (۲) مشاهده می‌شود دامنه مقادیر محتمل آینده در اغلب ماه‌های سال (به ویژه در زمستان و بهار) خارج از حدود ۹۵٪ اقلیم گذشته است. این نتیجه نشان



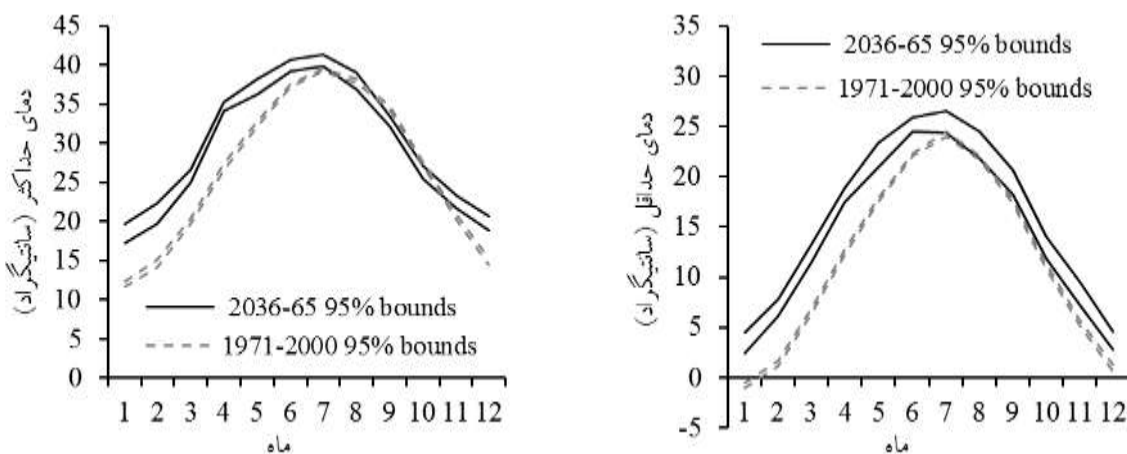
شکل ۲- ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دمای حداقل و حداکثر تهران با بررسی دامنه عدم قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و

#### سناریوهای انتشار

Figure 2. Climate change impact assessment on minimum and maximum temperatures in Tehran with investigation of uncertainties bounds of climate variability and the emission scenarios

و در حدی‌ترین حالت می‌تواند تا ۰/۱ درجه در ماه سپتامبر (شهریور) کاهش یابد. در مجموع در یزد میانگین سالانه‌ی دماهای حداکثر روزانه آینده نسبت به گذشته بین ۲/۳ تا ۴/۱ افزایش خواهد یافت و میانگین دماهای حداقل روزانه آینده نسبت به گذشته بین ۲/۴ تا ۴/۴ افزایش خواهد یافت. در یزد نیز دامنه مقادیر محتمل آینده در اغلب ماه‌های سال (به ویژه در زمستان و بهار) خارج از حدود ۹۵٪ اقلیم گذشته است. این نتیجه نشان می‌دهد که با وجود عدم قطعیت‌ها، اطمینان زیادی بر تغییر دما در آینده نسبت به دوره گذشته است. اگر چه یزد و تهران از هم فاصله مکانی قابل توجه‌ای دارند و در سلول‌های متفاوت شبکه بندی مدل گردش عمومی مورد مطالعه قرار دارند، اما نتایج برای یزد و تهران در کلیات هماهنگی دارد و البته مقدار اندکی با هم متفاوت است.

دامنه محتمل میانگین دمای یزد در دوره آینده (۲۰۳۶-۲۰۶۵) و دوره گذشته (۱۹۷۱-۲۰۰۰) برای دمای حداقل و حداکثر روزانه در شکل (۳) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات سیکل ماهانه دمای آینده‌ی دو ایستگاه تقریباً با هم هماهنگ است. به گونه‌ای که در یزد نیز بیشترین افزایش دما در زمستان و بهار اتفاق خواهد افتاد و در تابستان کاهش دما تحت اثر تغییر اقلیم محتمل است. بیشترین افزایش میانگین دما در ماه آوریل (فروردین) اتفاق می‌افتد که به ترتیب میانگین‌های دمای حداکثر و حداقل بین ۷/۱ تا ۸/۲ و ۴/۹ تا ۶/۴ درجه سانتیگراد افزایش خواهد یافت. ضمن آنکه به دلیل تغییر سیکل ماهانه‌ی دما، در ماه‌های سپتامبر و اکتبر (شهریور و مهر) میانگین دمای حداکثر تا ۲/۳ درجه سانتیگراد کاهش خواهد یافت؛ اما دمای حداقل کاهش محسوسی نخواهد داشت



شکل ۳- ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دمای حداقل و حداکثر یزد با بررسی دامنه عدم قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و

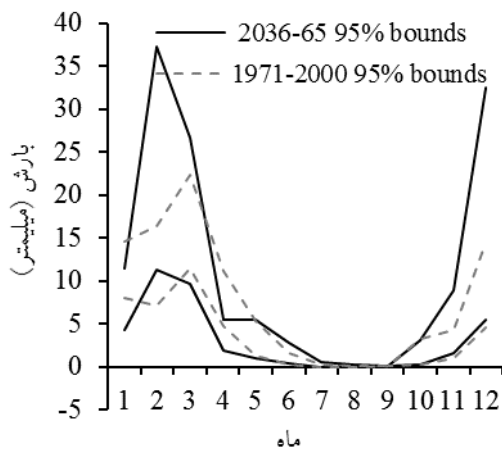
#### سناریوهای انتشار

Figure 3. Climate change impact assessment on minimum and maximum temperatures in Yazd with investigation of uncertainties bounds of climate variability and the emission scenarios

بین ۲۵ تا ۷۵ درصد نسبت به میانه دوره گذشته کاهش یابد. اما در مجموع، مقدار بارش سالانه یزد در دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ بین ۴۳٪ تا ۴۹٪ افزایش خواهد یافت. با توجه شکل‌های (۴) و (۵) روند کلی تغییرات بارش در هر دو ایستگاه تهران و یزد به صورت کلی با هم همخوانی دارد و ضمن افزایش میانگین بارش سالانه در آینده، سیکل سالانه به گونه‌ای تغییر خواهد کرد که بارش در فصول پائیز و زمستان افزایش و در فصل بهار کاهش یابد.

در شکل (۴) دامنه محتمل میانگین بارش آینده و گذشته‌ی تهران، با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های سناریوهای انتشار RCP و نوسانات اقلیمی، مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به دامنه عدم قطعیت‌ها، مقدار بارش سالانه تهران در دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ نسبت به میانه‌ی دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ بین ۲۰٪ تا ۴۰٪ افزایش خواهد یافت. به استثنای دو ماه آوریل و می (شهریور و اردیبهشت) که بارش در آنها بین ۸ تا ۶۳ درصد نسبت به میانه دوره گذشته کاهش خواهد یافت، در اغلب ماه‌های سال احتمال افزایش بارش غالب است. به عنوان نمونه، در ماه میانی فصل زمستان (فوریه) انتظار می‌رود میانگین بارش بین ۳٪ تا ۲۱۷٪ افزایش یابد. در ماه میانی پائیز (نوامبر) نیز پیش‌بینی می‌شود در آینده نسبت به گذشته، مقدار بارش بین ۲۲٪ کاهش تا ۸۵٪ درصد افزایش داشته باشد.

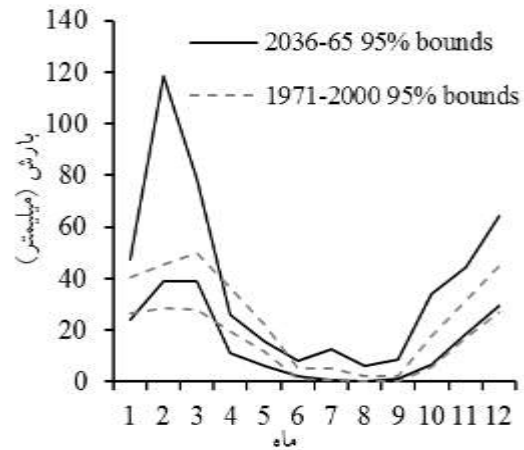
در شکل (۵) دامنه محتمل میانگین بارش آینده و گذشته در یزد مقایسه شده است. در اغلب ماه‌های سال احتمال غالب بر افزایش بارش است، اما با توجه به عدم قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار، احتمال کاهش بارش نیز در تعدادی از ماه‌ها منتفی نیست. مثلاً در ماه آوریل (فروردین) که بیشترین کاهش را خواهد داشت، انتظار می‌رود میانگین بارش



شکل ۵- اثر تغییر اقلیم بر بارش یزد با بررسی دامنه عدم

قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار

Figure 5. Climate change impacts on precipitation in Yazd with investigation of uncertainties bounds of climate variability and the emission scenarios



شکل ۴- اثر تغییر اقلیم بر بارش تهران با بررسی دامنه عدم

قطعیت‌های نوسانات اقلیمی و سناریوهای انتشار

Figure 4. Climate change impacts on precipitation in Tehran with investigation of uncertainties bounds of climate variability and the emission scenarios

### نتیجه‌گیری

برای پیش‌بینی اقلیم آینده می‌شود. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های سناریوهای انتشار، این مطالعه تحت سناریوهای انتشار مختلف RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انجام شده است. برای در نظر گرفتن عدم قطعیت نوسانات اقلیمی، برای شرایط اقلیمی گذشته و هر یک از سناریوهای آینده، ۱۰۰ سری ۳۰ ساله بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه تولید شده است و حدود ۹۵٪ مقادیر آینده با مقادیر متناظر دوره تاریخی مقایسه شده است. به این روش دامنه وسیعی از حالات محتمل آینده پیش‌بینی شده است و نتایج مطمئن‌تر به دست آمده است.

نتایج نشان می‌دهد که اگرچه در آینده در اغلب ماه‌های سال دمای هوا افزایش خواهد یافت، اما سیکل سالانه دما نیز تغییر خواهد کرد و در بعضی از ماه‌های سال دمای هوا کاهش می‌یابد. برای هر دو منطقه، بیشترین افزایش دما در آینده در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق خواهد افتاد. در ماه آوریل (فروردین) که پیش‌بینی می‌شود بیشترین افزایش دما را داشته باشد، میانگین دمای حداکثر تهران بین ۶/۱ تا ۶/۹ درجه

در این مقاله سناریوهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر روزانه ایستگاه‌های مهرآباد تهران و یزد در دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ تحت اثر تغییر اقلیم شبیه‌سازی و اثر تغییر اقلیم بر آن‌ها ارزیابی شده است. به این منظور با استفاده از مدل LARS-WG خروجی‌های مدل CanESM2 تحت سناریوهای جدید RCP ریزمقیاس شده است و سری‌های طولانی مدت روزانه متغیرهای مذکور تولید شده است. زیرمقیاس نمایی توسط مدل LARS-WG به گونه‌ی انجام شده است که علاوه بر تغییر میانگین‌ها، تغییرات سایر ویژگی‌های سناریوهای متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس (از جمله طول سری‌های روزهای متوالی بارانی (یا خشک) و واریانس دما) به سناریوهای ریزمقیاس شده انتقال یافته است. این در حالی است که در اغلب مطالعات پیشین، به دلیل استفاده از سناریوهای تعبیه شده در LARS-WG، تنها تغییرات میانگین متغیرها در اثر تغییر اقلیم مورد توجه بوده است و تغییرات سایر مشخصات متغیرهای اقلیمی نادیده گرفته شده است. استفاده از روش مورد استفاده در این تحقیق به واقعیت نزدیکتر است و منجر به نتایج مطمئن‌تری

از آنجا که در آینده به علت تغییر اقلیم متغیرهای اقلیمی از جمله بارش و دما تغییر خواهد کرد، انتظار می‌رود متغیرهای متأثر از اقلیم مانند جریان رودخانه، محصولات کشاورزی و خطرات محیطی نیز دچار تغییر شود. لذا پیشنهاد می‌شود با استفاده از نتایج پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم، شرایط سازگاری با اقلیم تغییر یافته‌ی آینده ایجاد شود. از جمله این تدابیر آن است که برای ایجاد طرح‌های جدید از سناریوهای اقلیمی آینده با در نظر گرفتن تغییر اقلیم استفاده شود. همچنین لازم است طرح‌های زیربنائی موجود که در آینده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و بر مبنای داده‌های اقلیمی گذشته طراحی شده‌اند، با در نظر گرفتن تغییرات متغیرهای اقلیمی در آینده مجدداً تحلیل ریسک شده و در صورت نیاز بازسازی شوند. ضمن آنکه با توجه به اهمیت عدم قطعیت‌ها و وسعت دامنه شرایط محتمل آینده، لازم است در تعریف طرح‌های سازگاری آینده، عدم قطعیت‌های مختلف مورد بررسی و توجه قرار گیرد.

## References

1. IPCC, 2001. *Climate change (2001), Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. UK: Cambridge University Press.
2. Khazaee, M.R., Bayazidi, M., & Sharafati, A., 2017. Climate change impact on annual precipitation and temperature of Zanjan province with uncertainties investigation. *Ecohydrology, Vol. 4(3)*, pp. 847-860. (In Persian)
3. Khazaee, M.R. Ahmadi, S. Saghafian, B. and Zahabiyoun, B., 2013. A new daily weather generator to preserve extremes and low-frequency variability. *Climatic Change, Vol. 119*, pp. 631-645.
4. Utset, A., Martinez-cob, A., Farre, I., & Caverro, J. 2006. Simulating the effects

سانتیگراد و میانگین دمای حداقل آن بین ۴/۸ تا ۶/۱ افزایش خواهد یافت. دامنه تغییرات مذکور به دلیل عدم قطعیت‌های سناریوهای انتشار و نوسانات اقلیمی است. برای یزد نیز میانگین دمای حداکثر در آوریل بین ۷/۱ تا ۸/۲ درجه سانتیگراد و میانگین دمای حداقل آن بین ۴/۹ تا ۶/۴ افزایش خواهد یافت. در مقابل در ماه سپتامبر (شهریور) میانگین دمای حداکثر آینده تهران تا ۲/۴ درجه سانتیگراد و میانگین دمای حداقل آن تا ۰/۷ درجه سانتیگراد کاهش خواهد یافت. در یزد نیز در این ماه در میانگین دمای حداکثر آینده تا ۲/۳ درجه سانتیگراد کاهش خواهد یافت.

نتایج نشان می‌دهد که با توجه به عدم قطعیت سناریوهای انتشار، مقدار بارش سالانه تهران در دوره ۲۰۳۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ بین ۲۰٪ تا ۴۰٪ افزایش خواهد یافت؛ اما تغییرات در ماه‌های مختلف متفاوت است. در بیشتر ماه‌های سال احتمال افزایش بارش بیشتر است، اما در بعضی از ماه‌ها نیز بارش کاهش خواهد یافت. در ماه آوریل (فروردین) که بیشترین افزایش دما را داشت، بارش نیز بین ۸ تا ۶۳ درصد نسبت به میانه دوره گذشته کاهش خواهد یافت. اما در فوریه میانگین بارش بین ۳٪ تا ۲۱٪ افزایش می‌یابد.

در یزد نیز بارش سالانه بین ۴۳٪ تا ۴۹٪ افزایش خواهد یافت، اما در بعضی از ماه‌ها نیز احتمال غالب بر کاهش بارش خواهد بود. بیشترین کاهش در یزد نیز در ماه آوریل خواهد بود که در آن بارش بین ۲۵ تا ۷۵ درصد نسبت به میانه دوره گذشته کاهش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که آب و هوای تهران و یزد در آینده به علت تغییر اقلیم تغییر خواهد کرد. چنین نتیجه‌ای با نتایج دامنه وسیعی از مطالعات تغییر اقلیم از جمله (۱۱، ۲ و ۶) همسو است. لیکن مقدار و جهت اثرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف متفاوت گزارش شده است و لذا برای هر منطقه باید منحصرأ تعیین شود. همچنین در مطالعاتی که عدم قطعیت‌ها بررسی شده است، نتایج دامنه‌ای از مقادیر متفاوت را در بر می‌گیرد که در این خصوص نتایج این تحقیق با نتایج سایر مطالعات از جمله (۷، ۱۰ و ۲) همسو است.

- climate change impacts: a case study of Yamchi reservoir, Iran. *Saudi Society for Geosciences*, 9:678.
11. Khoorni, A., & Jamali, Z., 2016. Effects of climate change on drought duration and severity in arid and semi-arid stations (Bandarabbass and Shahrekord), based on HADCM3 model. *Geography and Planning*, Vol. 20(57), pp. 131-115. (In Persian)
  12. Shahabul Alam, M.D., & Elshorbagy, A., 2016. Quantification of the climate change-induced variation Intensity-Duration-Frequency curves in Canadian Paris. *Journal of Hydrology*, Vol. 527, pp. 990-1005.
  13. Mohammadlou, M., Haghizadeh, A., Zeinivand, H., & Tahmasebipour, N., 2014. Evaluation of Climate Change Impacts on Runoff Changes Trend in Barandoezchay Watershed in West Azerbaijan Province Using General Circulation Models (GCM). *Ecohydrology*, Vol. 1(1), pp. 25-34. (In Persian)
  14. Sobhani, B., & Goldust, A., 2018. Prediction of the Starting and Ending of Freezing Periods of Ardabil Province by Using HADCM3 Climatic Model. *Geographical Researches*, Vol. 33(2), pp. 191-205. (In Persian)
  15. Semenov, M.A., & Stratonovitch, P., 2010. Use of multi-model ensembles from global climate model for assessment of climate change impacts. *Climate Research*, Vol. 41, pp. 1-14.
  16. Semenov, M.A., 2007. Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 144, pp. 127-138.
  17. Semenov, M.A., Brooks R.J., Barrow E.M., & Richardson, C.W., 1998. of extreme dry and wet years on the water use of flooding-irrigated maize in a Mediterranean landplane. *Agricultural Water Management*, Vol. 85, pp. 77-84.
  5. Dibike, Y.B., & Coulibaly, P., 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, Vol. 307, pp. 145-163.
  6. Moafi Madani, F., Mousavi Bayagi, M., & Ansari, H., 2012. Prediction of drought in the Khorasan Razavi province during 2011-2030 by using statistical downscaling of HADCM3 model output. *Geography and environmental hazards*, Vol. 1(3), pp. 21-37. (In Persian)
  7. Agarwal, A., Babel, M.S., Masky, S., Shrestha, S., Kawasaki, A., & Tripathi, N.K., 2015. Analysis of temperature projection in the Koshi River Basin, Nepal. *International Journal of Climatology*, Vol. 36 (1), pp. 266-279.
  8. Hejazizadeh, Z., Hosseini, S.M., & Karbalaee Dorei, A., 2015. The Simulation of Climate change in Semnan province with scenarios of atmospheric general circulation model (HADCM3). *Geography and environmental hazards*, Vol. 4(15), pp. 1-24. (In Persian)
  9. Goodarzi, E., Massah Bavani, A.R., Dastorani, M.T., & Talebi, A., 2014. Evaluating effect of downscaling methods; change-factor and LARS-WG on surface runoff (A case study of Azam-Harat River basin, Iran). *Desert*, Vol. 19, pp. 99-109.
  10. Zarghami, M., Fotookian, M.R., Safari, N., and Aslanzadeh, A., 2016. Reservoir operation using system dynamics under

- Performance in 12 Coastal Stations of Iran. *Iranian Water Researches Journal*, Vol. 5 , pp. 217-222. (In Persian)
20. Khosravanian, J., Onagh M., Goudarzi M., Hejazi S.A.,2015. Predicting of climate parameters using LARS-WG model in Ghare-su basin. *Journal of Geography and Planning*, Vol. 53 , pp. 93-115. (In Persian)
- Comparison of the WGEN and LARE-WG stochastic weather generators in diverse climate. *Climate Research*, Vol. 10 , pp. 95-107.
18. Semenov, M.A.,2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*. Vol. 3 , pp. 203–212.
19. A Babaei, B., Mirzaei F., Sohrabi T., 2011. Assessment of LARS-WG