Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Winter 2024, Vol.1, No.4, pp 105-118

10.22077/JDCR.2023.6996.1049

Evaluation of SDSM, LARS-WG, and ANN Methods in Downscaling of Temperature and Precipitation for Two Different Climates

Mahtab Helmi[1*], Sepideh Zeraati Neyshabouri[1], Mahdi Amirabadizadeh[2&3], Mostafa Yaghoobzadeh[2&3]

1. PhD Student in Water Resources, Department of Sciences and Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. Associate Professor, Department of Sciences and Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
3. Research Group of Drought and Climate change, University of Birjand, Birjand, Iran.

***Corresponding Author: mahtabhelmi@birjand.ac.ir**

Keywords:
Artificial intelligence, Climate change, Qouchan, Model, Taybad

Received:
28 November 2023

Revised:
19 Deccmber 2023

Accepted:
28 Deccmber 2023

Extended abstract

Introduction:

Meteorology is affected by climate change in many ways. Climate changes are a topic of great importance and long-term forecasting of climatic variables is crucial to understanding their changes. As a result, General Circulation Models have been developed to simulate climate parameters on a large scale. However, to perform these simulations on smaller scales, the output of these models needs to be downscaled using various techniques, commonly referred to as downscaling. Some of the most widely used downscaling models include: SDSM, CLIMGEN, LARS-WG and USCLIMATE. These models have been extensively employed for the downscaling of General Circulation Models in Iran and other the world. The current study was aimed to evaluate the performance of SDSM, LARS-WG, and ANN methods in downscaling temperature and precipitation data in Qouchan and Taybad.

Materials and Methods:

The study areas were meteorological stations at Taybad and Qouchan in Khorasan Razavi province. To conduct this research, daily data on precipitation and minimum and maximum temperature were analyzed. The data used were obtained from the Iranian Meteorological Organization. In order to perform calibration and validation, the data were divided into two categories (70% for calibration and 30% for validation). The LARS-WG model is a weather generator. This model simulates climate data by using semi-empirical distributions and uses statistical techniques to generate climate data. This model consists of three parts: calibration, evaluation, and generation of future data. SDSM model is a combination of two non-deterministic weather data generation methods and the linear regression method developed. The artificial neural network model (ANN) is a model of the natural nervous system and, like the brain, it can to learn by processing experimental data. This method is able finds the relationship between the set of inputs and outputs without prior knowledge of the relationships between the studied parameters. It predicts the output corresponding to the desired

How to cite this article:
Helmi, M., Zeraati Neyshabouri, S., Amirabadizadeh, M., & Yaghoubzadeh, M. (2024). Evaluation of SDSM, LARS-WG, and ANN Methods in Downscaling of Temperature and Precipitation for Two Different Climates. Journal of Drought and Climate change Research, 1(4), 105-118. 10.22077/JDCR.2023.6996.1049

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

input.

Results and Discussion:

Comparing of climatic parameters in observed data and model data by SDSM model showed that the accuracy of the model in estimating the maximum and minimum temperature in both Taybad and Qouchan stations is higher than precipitation. The highest coefficient of the model was for the smallest temperature parameter, which had values of 0.59 and 0.53 in Taybad and Qouchan stations, respectively. The LARS-WG model estimated the maximum and minimum temperatures in Taybad station better than Qouchan station. The ANN model was less accurate than the other two models. The current results revealed that the accuracy of SDSM and LARS-WG methods is similar to each other and both methods can be used for climate change studies. According to the obtained results and statistical criteria in this research, the ANN model has a lower performance than other models in forecasting. The results of this research are consistent with the results of similar studies by other researchers in the field of downscaling.

Conclusions:

Precipitation and temperature are the most important parameters in climate change. In this regard, the use of General Circulation Models is very effective. However, these models cannot simulate climate parameters at local scales. Therefore, different downscaling methods should be used. For this purpose, in the current study, three downscaling models namely SDSM, LARS-WG, and ANN were compared in estimating the climatic parameters of daily precipitation as well as minimum and maximum temperatures at two stations Taybad and Qouchan. By comparing all three investigated models, the results showed that the LARS-WG and SDSM models have the least amount of error in simulating the minimum and maximum temperature and the efficiency of these two models is higher than the ANN method in climate simulation. According to the obtained results and statistical criteria, the ANN model has a lower performance than other models in forecasting. Finally, the present study showed that the presented methods can be used to predict other climate parameters in future studies. It is suggested that future research evaluates the statistical downscaling methods based on the combination of artificial intelligence models. Also, the presented downscaling methods can be compared with other downscaling methods.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییراقلیم

دوره اول، شماره چهارم، پیاپی ۴، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۱۱۸ - ۱۰۵

doi 10.22077/JDCR.2023.6996.1049

ارزیابی روش‌های MSDS، GW-SRAL و NNA در ریزمقیاس‌سازی دما و بارش برای دو اقلیم متفاوت در استان خراسان رضوی

مهتاب حلمی [1*]، سپیده زراعتی نیشابوری[1]، مهدی امیرآبادی‌زاده[2,3]، مصطفی یعقوب‌زاده[2,3]

۱. دانشجوی دکتری منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳. گروه پژوهشی خشکسالی و تغییراقلیم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
*نویسنده مسئول: mahtabhelmi@birjand.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
تایـاد، تغییـر اقلیـم، قوچـان، مـدل، هـوش مصنوعـی.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۹/۰۷

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۱۰/۰۷

چکیده

مدل‌هـای گـردش عمومـی جـو، یکـی از مهم‌تریـن و کاربردی‌تریـن مدل‌هـا در مطالعـات تغییـرات اقلیمـی در مقیـاس منطقـه‌ای هسـتند. از آنجـا کـه شبیه‌سـازی پارامترهـای اقلیمـی در ایـن مدل‌هـا، در مقیـاس بـزرگ مکانـی و زمانـی انجـام می‌شـود، خروجـی آن‌هـا بـا اسـتفاده از روش‌هـای مختلـف، کوچک‌مقیـاس می‌گـردد. در ایـن پژوهـش، نتایـج سـه مـدل ریزمقیاس‌نمایـی SDSM، LARS-WG و ANN در شبیه‌سـازی پارامترهـای اقلیمـی بـارش روزانـه و کمینـه و بیشـینه دمـای روزانـه در دو ایسـتگاه تایبـاد (بـا آب و هـوای گـرم و خشـک) و قوچـان (بـا آب و هـوای سـرد و معتـدل) در اسـتان خراسـان رضـوی مقایسـه شـده اسـت. بدیـن منظـور از دوره بیسـت سـاله داده‌هـای بـارش و کمینـه و بیشـینه دمـای روزانـه ایسـتگاه‌ها بیـن سـال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۶ اسـتفاده گردیـد. بـرای مقایسـه‌ی دقـت مدل‌هـا، از شـاخص‌های ضریـب تبییـن، ریشـه‌ی مجمـوع مربعـات خطـا و میانگیـن مطلـق خطـا اسـتفاده شـد. نتایـج نشـان داد مدل‌هـای LARS-WG و SDSM کم‌تریـن میـزان خطـا را در شبیه‌سـازی کمینـه و بیشـینه دمـای روزانـه دارنـد. مقـدار میانگیـن مطلـق خطـای مـدل SDSM بـرای پارامتـر کمینه دمـا در دو ایسـتگاه تایبـاد و قوچـان بـه ترتیـب ۰/۶۱ و ۰/۷۱ می‌باشـد. مقـدار خطـای پارامتـر مذکـور در مـدل LARS-WG در دو ایسـتگاه تایبـاد و قوچـان بـه ترتیـب ۰/۶۵ و ۰/۴۳ اسـت. از سـوی دیگـر، در مـدل ANN، میانگیـن مطلـق خطـای کمینـه دمـا در ایسـتگاه تایبـاد ۱/۷۸ و در ایسـتگاه قوچـان ۱/۷۳ بدسـت‌آمده اسـت. در نهایـت می‌تـوان بیـان کـرد؛ مدل‌هـای ریزمقیاس‌نمایـی SDSM و LARS-WG از دقـت بالاتـری در شبیه‌سـازی مقادیـر پارامترهـای اقلیمـی دمـای روزانـه و بخصـوص پارامتـر کمینـه دمـا در ایسـتگاه‌های تایبـاد و قوچـان نسـبت بـه مـدل ANN برخـوردار می‌باشـند.

مقدمه

تغییر اقلیم به تغییرات درازمدت در توزیع آماری الگوهای آب و هوایی اشاره دارد. با آغاز انقلاب صنعتی و رشد کارخانه‌های صنعتی و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، همچنین جنگل‌زدایی و تغییر در کاربری اراضی، گازهای گلخانه‌ای افزایش پیدا کردند. این افزایش گازها منجر به افزایش میانگین دمای کره زمین شده است. (Yoosefdoost et al., 2021). تغییرات اقلیمی اثرات قابل توجهی بر روی بسیاری از مؤلفه‌های چرخه آب، به‌خصوص در بارش، پوشش برف، رطوبت خاک، رواناب سطحی، فشار آب جوی و تبخیر و تعرق دارند. بطور کلی افزایش دما و تغییر اقلیم باعث تغییر در مقدار و شکل بارش و بروز خشکسالی‌ها می‌شود (Helmi and Shahidi, 2023). همچنین پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، به دلیل آثار زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی اهمیت بسیار زیادی دارد. بنابراین انتظار می‌رود با پیشرفت‌های اخیر در جوامع علمی، اقدامات متناسب در شرایط افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بکار گرفته شود (Refsgaard et al., 2013).

پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی جهت آگاهی از میزان تغییرات آن‌ها و فراهم نمودن آمادگی لازم، مورد توجه بسیاری از مجامع علمی در جهان قرار گرفته است. بر همین اساس، مدل‌های گردش عمومی جو توسعه یافته‌اند. در حال حاضر، مدل‌های جفت‌شده اقیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو یکی از بهترین ابزارها جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم می‌باشند (Delghandi et al., 2023). شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در این مدل‌ها، در مقیاس بزرگ مکانی و زمانی انجام می‌گردد. از این‌رو جهت استفاده از این عناصر شبیه‌سازی شده در مقیاس‌های کوچک‌تر، می‌بایست خروجی این مدل‌ها با تکنیک‌های مختلف کوچک مقیاس شوند که به این فرآیند ریزمقیاس‌نمایی یا کوچک‌مقیاس‌سازی می‌گویند (Samadi et al., 2011). ریزمقیاس‌نمایی به دو روش دینامیکی و آماری انجام می‌گردد. مدل‌های دینامیکی از دقت مناسبی برخوردار هستند، اما به‌دلیل هزینه زیاد و زمان‌بر بودن، از آن‌ها صرف‌نظر می‌شود. در روش آماری، بطور کلی ارتباطی بین رفتار واقعی ایستگاه و برونداد مدل گردش عمومی ایجاد می‌گردد. در این روش می‌توان در مدت زمان بسیار کوتاه، ریزمقیاس‌نمایی را برای یک ایستگاه در چندین دوره آینده انجام داد. در حالی‌که روش‌های دینامیکی معمولاً با محدودیت زمانی مواجه می‌شوند. بنابراین روش آماری به‌دلیل نیاز به محاسبات کم، اقتصادی بودن و سرعت بالا در فرآیند ریز مقیاس‌نمایی، در کاربردهای علوم آب بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است (Wilks and Wilby, 1999). از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری که مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توان به مدل‌های SDSM، CLIMGEN، LARS-WG و USCLIMATE اشاره کرد. این مدل‌ها برای کوچک‌مقیاس‌گردانی مدل‌های گردش عمومی جو در ایران و سایر نقاط جهان کاربرد زیادی داشته‌اند(Kundu et al., 2017; Ar-tlert et al., 2013; Tao et al., 2015; Ashraf et al., 2011; Ramezani Moghadam et al., 2018).

به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش در اقلیم حاره‌ای در کشور مالزی، زولکارنین و همکاران (Zulkarnian et al., 2014) از دو مدل LARS-WG و SDSM استفاده نمودند. نتایج نشان داد که خروجی مدل SDSM عملکرد بالاتری نسبت به مدل LARS-WG دارد. بطور کلی روند تغییرات بارش روزانه در SDSM بیشتر از LARS-WG می‌باشد و در هر دو مدل در مقادیر دمای متوسط روزانه، روند افزایشی مشاهده گردیده است. در ارزیابی دما و بارندگی حوضه آبریز تانزانیا با استفاده از GCM و ریزمقیاس‌نمایی SDSM، گولاچا و مولانگو (Gulacha and Mulungu, 2017) نتیجه گرفتند که میانگین حداکثر و حداقل دما، روندی افزایشی خواهد داشت. در مطالعه‌ای دیگر نتایج عملکرد مدل SDSMدر مقایسه با مدل LARS-WG توسط حسن و همکاران (Hassan et al, 1998) نشان داد که عملکرد مدل SDSMنسبت به مدل LARS-WG بهتر است. همچنین، هر چند که نتایج یکسانی در دو مدل ارائه نشد، اما روند افزایشی میانگین درجه حرارت روزانه در خروجی هر دو مدل مشاهده گردید. بوچیانی و همکاران (Bucchignani et al., 2018) وضعیت آب و هوای آینده در خاورمیانه

و شمال آفریقا را با مدل Cosmo-Clim شبیه‌سازی نمودند. نتایج بر افزایش دما و کاهش بارش دلالت دارد. در پژوهشی جهت کوچک‌سازی دما و بارش، کارایی سه روش کوچک‌سازی آماری LARS-WG، SDSM و ANN در شمال غربی ایران توسط حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2020) مقایسه شد. نتایج نشان داد برای پیش‌بینی بارش، مدل SDSM بهترین کارایی را در بین مدل‌ها دارد. برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی متغیرهای اقلیمی حوضه سیمره، نادری و همکاران (Naderi et al., 2017) از مدل SDSM بهره گرفتند. نتایج شبیه‌سازی پارامترهای بارش و دمای میانگین نشانگر عملکرد مناسب این مدل بود. رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2014) کارایی مدل SDSM را برای ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای دما در دو اقلیم خشک و فراخشک بررسی نمودند. نتایج نشان داد که این مدل در منطقه خشک نسبت به منطقه فراخشک از عملکرد بالاتر و دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی دما برخوردار است. استفاده از مدل LARS-WG به‌منظور بررسی پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی در شهرستان کرمان توسط جعفری گدنه و همکاران (Jafari Godeneh et al., 2019) انجام گردید. نتایج نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل LARS-WG در پیش‌بینی دما و کارایی متوسط آن برای بارندگی است. در پژوهش‌های علیزاده و زهرایی (Alizadeh and Zahraei, 2014) و گودرزی و همکاران (Goudarzi et al., 2016) عملکرد مدل‌های SDSM و LARS-WG در ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای هواشناسی بررسی گردید. یافته‌ها در اقلیم سرد و نیمه‌خشک بیانگر دقت بیشتر هر دو مدل در شبیه‌سازی پارامتر دما می‌باشد.

در مجموع با بررسی منابع و نتایج بدست آمده، هیچ یک از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی برتری مطلق بر مدل دیگر ندارد و با توجه به نوع متغیر و اقلیم موردنظر، می‌توانند در بررسی‌های تغییرات اقلیمی مفید واقع شوند. بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد تاکنون تحقیقی مبنی بر مقایسه دو اقلیم متفاوت در سطح استان خراسان رضوی با مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی انجام نشده است. بنابراین مطالعه پیش‌رو با هدف کوچک‌مقیاس‌سازی پارامترهای دما و بارش در ایستگاه قوچان با اقلیم سرد معتدل و ایستگاه تایباد با اقلیم گرم و خشک بر اساس عملکرد مدل‌های SDSM، LARS-WG و ANN صورت گرفته است. در این تحقیق سعی بر این است که کارایی سه مدل با در نظر گرفتن معیارهای خطا در شبیه‌سازی متغیرهای کمینه و بیشینه دما و بارش روزانه در دو اقلیم مختلف، بررسی و مقایسه گردد.

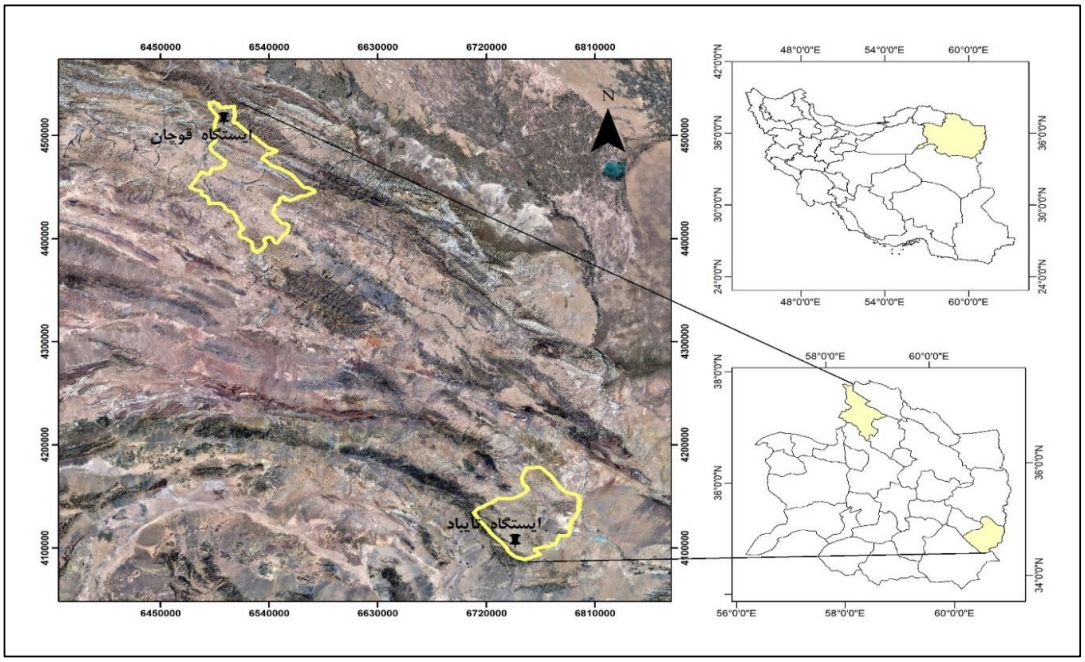
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مطالعاتی، شامل ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان‌های تایباد و قوچان در استان خراسان رضوی می‌باشد. تایباد، مرکز شهرستان تایباد و در نزدیک مرز ایران و افغانستان قرار دارد. موقعیت جغرافیایی آن بین مدار ۶۰ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۸۰۶ متر است. بطور کلی اقلیم گرم و خشک بر آن حاکم است. قوچان مرکز شهرستان قوچان، در شمال خراسان رضوی و در مدار جغرافیایی ۳۶ درجه و۳۷ دقیقه طول شرقی تا ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. با توجه به شرایط کوهستانی قوچان، اقلیم این شهر سرد و معتدل با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است و ارتفاع قوچان از سطح دریا ۱۳۵۰ متر می‌باشد. شکل (۱) موقعیت این دو ایستگاه را در سطح ایران و استان خراسان رضوی نشان می‌دهد.

روش تحقیق

در پژوهش حاضر، به‌منظور استفاده از مؤلفه‌های هواشناسی بارش و کمینه و بیشینه دمای روزانه، جهت به‌کارگیری در مدل‌های اقلیمی ریزمقیاس‌نمایی SDSM و ANN، پارامترهای مذکور برای ایستگاه‌های همدیدی، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی تایباد و قوچان تهیه و دریافت شد. مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در محدوده زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ انتخاب و مقایسه میانگین بلندمدت ماهانه مؤلفه‌های اقلیمی (بارش، دمای بیشینه و کمینه) مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده ایستگاه‌های همدیدی تایباد و قوچان طی دوره‌های واسنجی (۱۹۹۹) – (۱۹۸۶) و دوره اعتبار سنجی (۲۰۰۵) – (۲۰۰۰) با استفاده از مدل‌های مقیاس‌کاهی مذکور



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی در ایران

Fig 1. Location of study area in Iran

استخراج گردید.

مدل LARS-WG

مدل LARS-WG مولد تصادفی آب و هوا است که با بهره‌گیری از توزیع نیمه تجربی به شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی می‌پردازد. این مدل، به منظور تولید داده‌های آب و هوایی، از تکنیک‌های آماری استفاده می‌کند و به‌دلیل تکرار محاسبات، نیاز به داده‌های ورودی کم و سادگی، کاربرد بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌ها دارد (Wilks, 1992). LARS-WG از سه قسمت واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های آینده تشکیل شده است. برای این منظور ابتدا، ویژگی‌های آماری داده‌های دیده‌بانی تعیین و تحلیل می‌شود؛ سپس، مدل با استفاده از داده‌های مشاهداتی، اقدام به بازتولید آن‌ها کرده و خصوصیات آماری این داده‌های مصنوعی را تعیین می‌نماید. در این مرحله، مدل از یک توزیع نیمه تجربی برای نمایش توزیع تجربی داده‌های مشاهداتی استفاده می‌کند. گام بعدی، مدل داده‌های مشاهداتی و بازتولید شده را از نظر آماری آنالیز کرده و در راستای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده محدوده مطالعاتی، با وارد کردن سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، به همراه خروجی مدل‌های اقلیمی به داده‌های دوره پایه باز تولید شده، تغییرات اقلیمی آینده را شبیه‌سازی می‌کند. این سناریوهای انتشار و خروجی مدل‌های اقلیمی در داخل مدل تعریف شده است و عملاً نیازی به پایگاه داده نمی‌باشد.

مدل SDSM

این مدل ترکیبی از دو روش تولید داده‌های آب و هوایی غیرقطعی و روش رگرسیونی خطی می‌باشد که توسط ویلبی و همکاران توسعه داده شد (Wilby et al., 2002). مدل SDSM از چهار بخش تشکیل شده است. ۱- تعیین متغیرهای پیش‌بینی کننده، ۲- واسنجی مدل، ۳- صحت‌سنجی مدل و ۴- شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی. داده‌های ورودی این مدل شامل داده‌های مشاهداتی ایستگاهی و داده‌های بزرگ‌مقیاس مراکز ملی پیش‌بینی محیطی[1] (NCEP) و خروجی مدل‌های اقلیمی که از نزدیک‌ترین شبکه جهانی به دست آمده است. مدل SDSM در مرحله غربال‌سازی و واسنجی، با اعمال آزمون‌های همبستگی، همبستگی جزئی و همبستگی متقابل بین متغیر اقلیمی (پیش‌بینی شونده) و داده‌های بزرگ مقیاس NCEP (پیش‌بینی کننده)، بهترین متغیّر پیش‌بینی کننده را برای محل و متغیر اقلیمی مورد نظر انتخاب می‌نماید. سپس

1. National Centers for Environmental Prediction

آن را برای پیش‌بینی اقلیم آینده در نظر می‌گیرد. در نهایت، با برقراری ارتباط بین خروجی مدل‌های اقلیمی و داده‌های مصنوعی ایجادشده توسط پیش‌بینی کننده‌های NCEP، داده‌های ریزمقیاس شده برای متغیرهای اقلیمی در محدوده مطالعاتی ایجاد می‌گردد (Kilsby et al., 2007).

مدل ANN

مدل شبکه عصبی مصنوعی مدل ساده‌شده‌ای از سیستم عصبی طبیعی بوده و همانند مغز با پردازش روی داده‌های تجربی، قابلیت یادگیری دارد. برتری شبکه عصبی، یادگیری مستقیم از روی داده‌ها بدون نیاز به برآورد مشخصات آماری آن‌ها است. این روش بدون دانش قبلی از روابط بین پارامترهای مورد مطالعه، قادر به پیداکردن رابطه بین مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌ها برای پیش‌بینی خروجی متناظر با ورودی دلخواه می‌باشد (Erfanian et al., 2012). شبکه عصبی انتخاب شده برای تحلیل داده‌ها و شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی، متشکل از لایه ورودی، میانی و خروجی است که معماری آن بر مبنای ارتباطات بین نرون‌ها در لایه‌های مختلف می‌باشد. در تخمین تعداد نرون‌ها، شبکه مورد نظر با تعداد نرون‌های مختلف آزمایش شد و سرانجام شبکه با تعداد ۲ نرون انتخاب گردید. روش و قانون خاصی برای انتخاب و تعبیه تعداد مناسب نرون‌های لایه‌ها وجود ندارد و این کار بسته به تجربه و مهارت کاربر شبکه عصبی و از طریق آزمون و خطا انجام می‌شود.

در پژوهش حاضر به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های هواشناسی از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه استفاده گردید که یک شبکه پیش‌خور چندلایه، شامل یک ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشد. اوّلین مرحله قبل از ورود داده‌ها به شبکه عصبی مصنوعی، استاندارد نمودن آن‌ها است. از آن‌جایی‌که داده‌های ورودی خام، سرعت و دقّت شبکه را کاهش می‌دهد، بایستی داده‌های ورودی به شبکه استاندارد گردند. در این پژوهش، به‌منظور نرمال کردن، داده‌ها بین ۰/۱ و ۰/۹ از رابطه (۱) استفاده گردید.

$$N = 0.8 \times \left[\frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}\right] + 0.1 \qquad (۱)$$

که در این رابطه، N داده‌های استاندارد شده؛ X_i داده‌های مشاهده شده؛ X_{min}، حداقل داده‌های مشاهده شده و X_{max}، حداکثر داده‌های مشاهده شده می‌باشد. در شبکه‌های عصبی، برای انتقال خروجی‌های هر لایه به لایه بعدی، از یک تابع محرّک استفاده می‌شود (Maan et al., 2016). در پژوهش حاضر از توابع لوگ سیگموئید، تانژانت سیگموئید و خطی استفاده گردید. همچنین، به منظور ساخت شبکه از کدنویسی در محیط نرم‌افزار R-studio استفاده و پس از استاندارد نمودن داده‌ها، مقدار ۷۰ درصد آن برای آموزش و ۳۰ درصد باقیمانده برای آزمون در نظر گرفته شد.

ارزیابی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی

به‌منظور مقایسه عملکرد روش‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی مورد ارزیابی در این مطالعه، از پارامترهای ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۲)، میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۳)، و خطای مطلق میانگین (MAE) (رابطه ۴) استفاده شد.

ضریب تبیین عددی بین صفر و یک بوده و معمولاً با درصد عنوان می‌گردد. در خصوص میانگین مربعات خطا و خطای مطلق میانگین، واحد اندازه‌گیری با توجه به پارامتر موردنظر عنوان شده و هر چه این اعداد کمتر بوده و به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده کارایی بهتر مدل می‌باشد.

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2(Y_i - \bar{Y})^2} \qquad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{N}} \qquad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i - Y_i|}{N} \qquad (۴)$$

نتایج و بحث

ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل SDSM

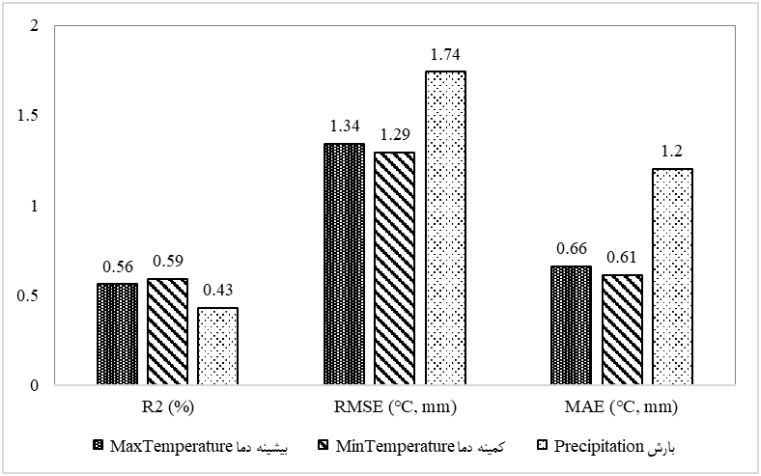
نتایج مربوط به شاخص‌های ارزیابی مدل SDSM در خصوص ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای اقلیمی کمینه و بیشینه‌ی دما و بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) و شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در داده‌های مشاهداتی و داده‌های ریزمقیاس شده توسط مدل SDSM نشان داد که دقت مدل در برآورد بیشینه و کمینه‌ی دما در هر

دو ایستگاه تایباد و قوچان بالاتر از بارش است. بالاترین ضریب تبیین مدل برای پارامتر کمینه‌ی دما بوده که در ایستگاه‌های تایباد و قوچان به ترتیب مقادیر ۰/۵۹ و ۰/۵۳ حاصل گردیده است و میزان خطای مدل نیز برای این پارامتر کمینه می‌باشد.

جدول ۱. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در برآورد پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی

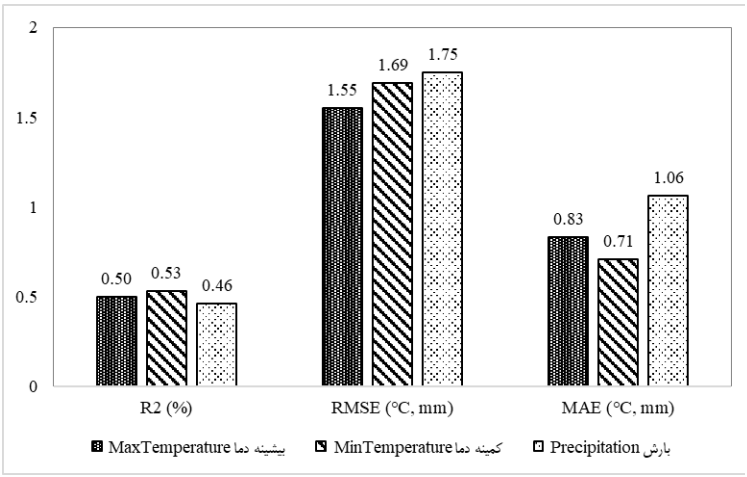
Table 1. Results of SDSM downscaling model of climatic parameters in study stations

ایستگاه Station	پارامتر Parameter	ضریب تبیین (R^2)	ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE)	میانگین مطلق خطا (MAE)
تایباد Taybad	بیشینه دما Max Temperature	0.56	1.34	0.66
	کمینه دما Min Temperature	0.59	1.29	0.61
	بارش Precipitation	0.43	1.74	1.20
قوچان Ghouchan	بیشینه دما Max Temperature	0.50	1.55	0.83
	کمینه دما Min Temperature	0.53	1.69	0.71
	بارش Precipitation	0.46	1.75	1.06



شکل ۲. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در ایستگاه تایباد

Fig 2. Results of SDSM downscaling model in Taybad station



شکل ۳. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM در ایستگاه قوچان

Fig 3. Results of SDSM downscaling model in Ghouchan station

همسو با یافته‌های پژوهش حاضر، نتایج پژوهش عساکره و مطلبی‌زاده (Asakare and Motalebizad, 2017) نشان داد خروجی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما در ایستگاه سینوپتیک ارومیه هرچند در بعضی ماه‌ها با واقعیت تفاوت کمی داشته، اما نتایج شبیه‌سازی آن نزدیک به داده‌های واقعی می‌باشد. همچنین در مطالعه‌ای، دقت سه روش ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG، SDSM-DC و SVM مورد ارزیابی قرار گرفت (Duan and Mei, 2014). نتایج گویای این واقعیت بود که دقت مدل‌های SDSM و LARS در تعیین شاخص‌های حدی اقلیمی از مدل SVM بالاتر است. یافته‌های این تحقیق، با نتایج مطالعات مشابه سایر پژوهشگران در زمینه ریزمقیاس‌نمایی با مدل SDSM هم‌خوانی دارد. در این راستا، مطالعات گودرزی و همکاران (Goudarzi et al., 2016) و قاسمی‌فر و همکاران (Ghasemifar et al., 2016) نشان داد که مدل SDSM دارای توانایی مناسبی در شبیه‌سازی دمای حداقل بوده و بالاترین ضریب تبیین و پایین‌ترین خطای مدل نیز مربوط به کمینه‌ی دما می‌باشد.

نتایج ریزمقیاس‌نمایی با استفاده ازمدل LARS-WG

جدول (۲) و اشکال (۴) و (۵)، نشان‌دهنده شاخص‌های ضریب تبیین، ریشه مجذور مربعات خطا و میانگین مطلق خطا برای داده‌های کمینه و بیشینه‌ی دما و بارش در ایستگاه‌های تایباد و قوچان با استفاده از مدل LARS-WG می‌باشد. دقت مدل در برآورد بیشینه و کمینه‌ی دما در ایستگاه تایباد بالاتر از ایستگاه قوچان است. در رابطه با پارامتر بارش نیز دقت مدل LARS-WG در هر دو ایستگاه تقریباً مشابه بود و خطای قابل قبولی نیز داشت. اما در مقایسه با مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی بارش نتایج مدل LARS-WG ضعیف‌تر می‌باشد. همسو با نتایج این تحقیق، هاشمی و همکاران (Hashemi et al., 2011) به منظور ارزیابی دقت روش‌های ریزمقیاس‌نمایی در حوضه کلوسا واقع در جنوب نیوزیلند، دو روش SDSM و LARS-WG را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که دقت دو روش مشابه یکدیگر بوده و می‌توان از هر دو روش برای مطالعات تغییر اقلیم بهره‌گرفت.

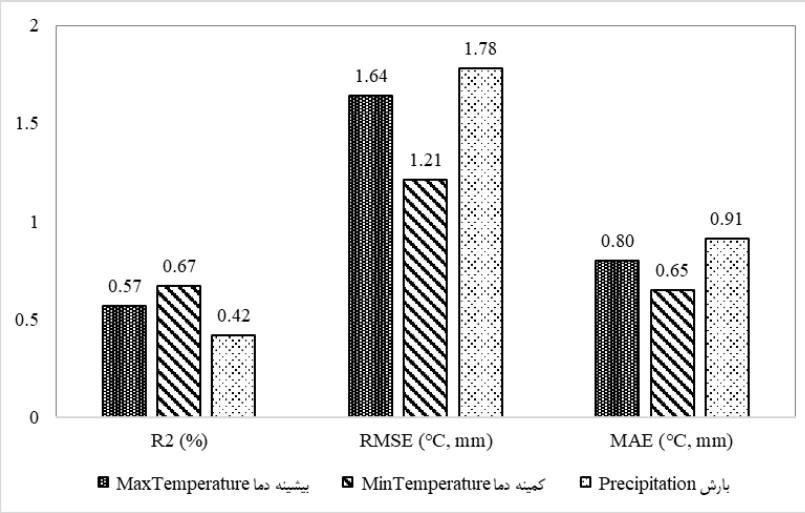
جدول ۲. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در برآورد پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی

Table 2. Results of LARS-WG downscaling model of climatic parameters in study stations

ایستگاه Station	پارامتر Parameter	ضریب تبیین (R^2)	ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE)	میانگین مطلق خطا (MAE)
تایباد Taybad	بیشینه دما Max Temperature	0.57	1.64	0.80
	کمینه دما Min Temperature	0.67	1.21	0.65
	بارش Precipitation	0.42	1.78	0.91
قوچان Ghouchan	بیشینه دما Max Temperature	0.52	1.59	0.95
	کمینه دما Min Temperature	0.66	0.94	0.43
	بارش Precipitation	0.43	1.70	0.91

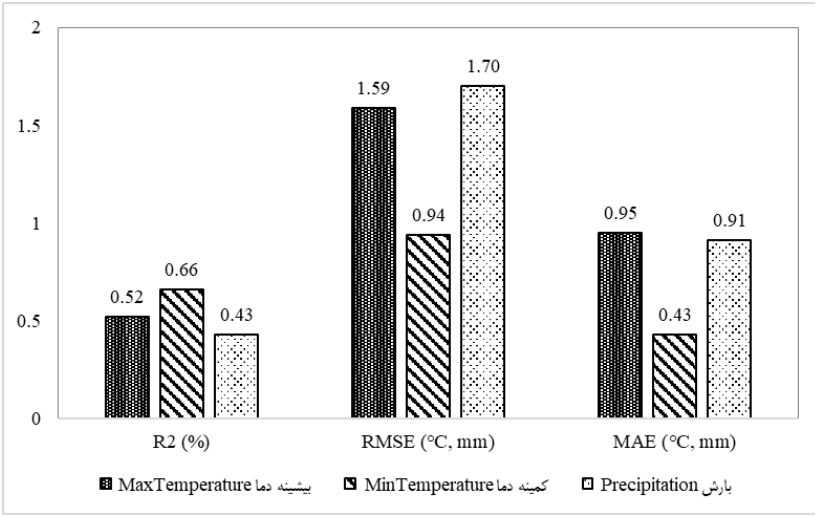
ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از ANN

ضریب تبیین، ریشه مجذور مربعات خطا و میانگین مطلق خطا داده‌های کمینه و بیشینه‌ی دما و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک تایباد و قوچان در جدول (۳) و شکل‌های (۶) و (۷) ارائه داده شده است. همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید، مقدار ضریب تبیین هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، بیانگر تشابه بیشتر بین رفتار داده‌های تولیدشده و رفتار داده‌های مشاهداتی است. همسو با یافته‌های این پژوهش، زرفشانی و جهانگیر (Zarfeshani and Jahangir, 2021) در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی مقادیر دما و بارش استان اصفهان بر اساس دو مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS و SDSM



شکل ۴. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در ایستگاه تایباد

Fig 4. Results of LARS-WG downscaling model in Taybad station



شکل ۵. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در ایستگاه قوچان

Fig 5. Results of LARS-WG downscaling model in Ghouchan station

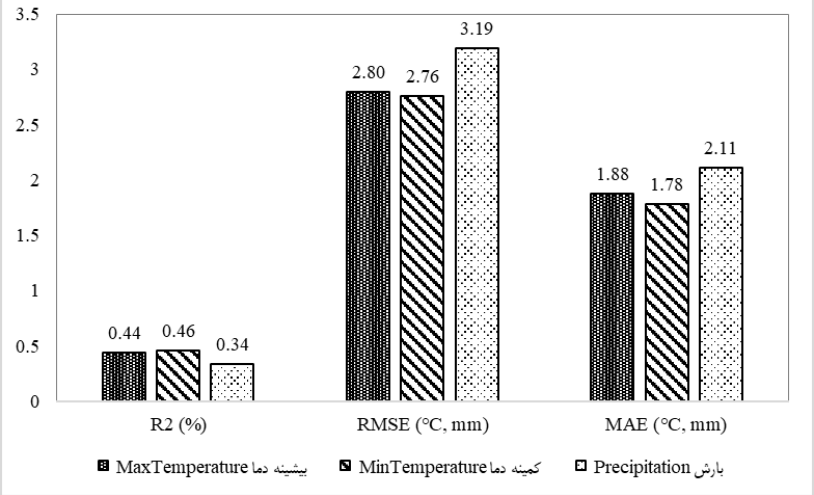
و روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی گزارش نمودند که میزان دقت مدل ریزمقیاس‌نمایی شبکه‌ی عصبی کمتر از دو مدل دیگر می‌باشد. در تأیید یافته‌های صحت‌سنجی مدل شبکه عصبی مصنوعی در این تحقیق، می‌توان به نتایج مطالعه امیرآبادی و همکاران (Amirabadizadeh et al., 2018) اشاره کرد. آن‌ها در بررسی روش‌های هوش مصنوعی و رگرسیونی جهت ریزمقیاس‌نمایی مقادیر دمای روزانه گزارش نمودند که می‌توان شش مدل رگرسیون بردار پشتیبان، رگرسیون چند متغیره، برنامه‌ریزی ژنتیک، سیستم‌های استنتاج فازی، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی را به ترتیب بر اساس میزان دقت و کارایی مدل در جهت برآورد و شبیه‌سازی مقادیر متوسط دمای روزانه ایستگاه همدیدی ارومیه معرفی نمود. در واقع مدل ANNکمترین میزان دقت و بیش‌ترین میزان خطا را به خود اختصاص داده است. نظیف و همکاران (Nazif et al., 2009) نیز دقت مدل ANN را در ریزمقیاس‌نمایی مقادیر بیشینه دمای روزانه ضعیف معرفی نمودند. همسو با پژوهش حاضر، سلاجقه و همکاران، (Salajegheh et al., 2017) اعلام داشتند که در دو ایستگاه کرمانشاه و روانسر، در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی دماهای حداقل و حداکثر روزانه، عملکرد دو الگوی SDSM و LARS-WG قابل توجه و مناسب است. این نتایج با مطالعه سبحانی و همکاران (Sobhani et al., 2017) که به‌منظور ارزیابی الگوهای ریزمقیاس‌نمایی

آمـاری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سـازی متغیرهـای هواشناسـی حوضـه آبریـز دریاچـه ارومیـه صـورت گرفتـه اسـت، هم‌راسـتا می‌باشـد. همچنیـن در بررسـی دیگـری، جعفـرزاده و همـکاران (Jafarzadehet al., 2016)، دو روش یادشـده را در دشـت بیرجنـد، بررسـی نمودنـد و در نهایـت اذعـان بـه عملکـرد مطلـوب آن‌هـا داشـتند.

جدول ۳. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی ANN در برآورد پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های مطالعاتی

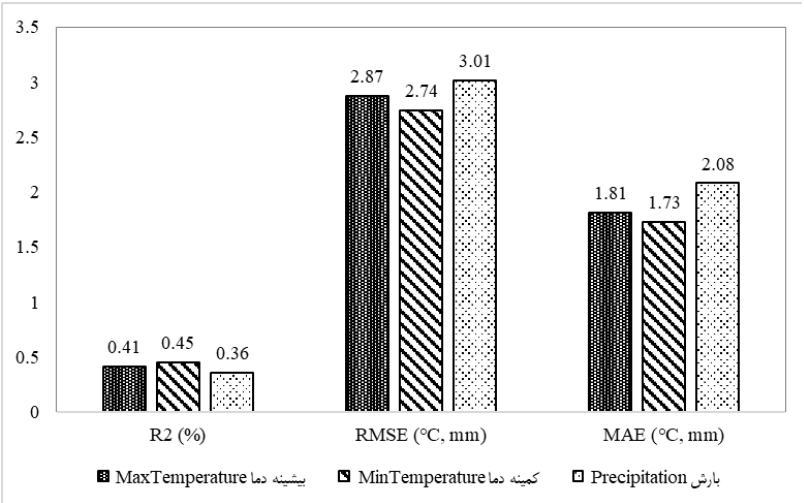
Table 3. Results of ANN downscaling model of climatic parameters in study stations

ایستگاه Station	پارامتر Parameter	ضریب تبیین (R^2)	ریشه مجذور مربعات خطا (RMSE)	میانگین مطلق خطا (MAE)
تایباد Taybad	بیشینه دما Max Temperature	0.44	2.80	1.88
	کمینه دما Min Temperature	0.46	2.76	1.78
	بارش Precipitation	0.34	3.19	2.11
قوچان Ghouchan	بیشینه دما Max Temperature	0.41	2.87	1.81
	کمینه دما Min Temperature	0.45	2.74	1.73
	بارش Precipitation	0.36	3.01	2.08



شکل ۶. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی ANN در ایستگاه تایباد

Fig 6. Results of ANN downscaling model in Taybad station



شکل ۷. نتایج مدل ریزمقیاس‌نمایی ANN در ایستگاه قوچان

Fig 7. Results of ANN downscaling model in Ghouchan station

نتیجه‌گیری

بارش، دما و بررسی تغییرات این پارامترها از مهم‌ترین عوامل در تعیین تغییرات اقلیمی می‌باشند. در این راستا استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو کارایی زیادی دارد. اما این مدل‌ها به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن آن‌ها قادر به شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در مقیاس محلی نمی‌باشند و لازم است که از روش‌های مختلف کوچک‌مقیاس‌سازی استفاده گردد. از بین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، روش‌های آماری در مدت زمان بسیار کوتاه، ریزمقیاس‌نمایی را برای یک ایستگاه در چندین دوره آینده انجام می‌دهند. از این رو کاربرد فراوانی دارند. بدین منظور در مطالعه‌ی حاضر، سه مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری شامل SDSM، LARS-WG و ANN در برآورد پارامترهای اقلیمی بارش روزانه و کمینه و بیشینه‌ی دمای روزانه در دو ایستگاه تایباد و قوچان مقایسه شدند. با مقایسه هر سه مدل مورد بررسی، نتایج نشان داد که مدل‌های LARS-WG و SDSM کم‌ترین میزان خطا را در شبیه‌سازی کمینه و بیشینه دمای روزانه دارند و کارایی این دو مدل نسبت به روش ANN در شبیه‌سازی اقلیمی بیشتر است. با توجه به نتایج بدست آمده و معیارهای آماری مورد بررسی، مدل ANN دارای عملکرد پایین‌تری نسبت به سایر مدل‌ها در پیش‌بینی است. به طور کلی نتایج نشان داد که مدل‌های SDSM و LARS از دقت بالاتری در شبیه‌سازی مقادیر پارامترهای اقلیمی دمای روزانه در ایستگاه‌های تایباد و قوچان نسبت به مدل ANN برخوردار می‌باشند. در نهایت یافته‌های پژوهش نشان داد که روش‌های ارائه شده می‌توانند در پیش‌بینی سایر پارامترهای اقلیمی در مطالعات آتی نیز مورد استفاده قرار گیرد. در انتها پیشنهاد می‌شود محققان در تحقیقات آینده، روش ریزمقیاس‌نمایی آماری مبتنی بر ترکیب مدل‌های هوش مصنوعی را مورد ارزیابی قرار دهند. همچنین، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی ارائه شده می‌توانند با روش‌های دیگر ریزمقیاس‌نمایی آماری و دینامیکی مورد مقایسه قرار گیرند.

منابع

Alizadeh, H. & Zahraei, B. (2014). Comparison of Statistical Downscaling Models in Simulation of the Daily Rainfall. The Sixteenth Conference of Iran Geophysics, Tehran, Iran. [In Persian]

Amirabadizadeh, M., Nazeri Tahroudi, M. & Zeynali, M.J. (2018). Evaluation of the Accuracy of Artificial Intelligence and Regression Models for the Simulation of Daily Temperature, *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, 1(1), 65-76. [In Persian]

Artlert, K., Chaleeraktrakoon, Ch. & Nguyen, V. (2013). Modeling and Analysis of Rainfall Processes in the Context of Climate Change for Mekong, Chi and Mun River Basins (Thailand), *Hydro- environment Research*, 7(1), 2-17.

Asakare, H. & Motalebizad, S. (2017). Comparing the performance of the SDSM models and those based on artificial neural networks in predicting the changes in minimum temperatures (station in case: Urmia), *The Journal of Spatial Planning*, 21(4), 140-160. [In Persian]

Ashraf, B., Mousavi Baygi, M., Kamali, G.A. & Davari. K. (2011). Prediction of Seasonal Variations of Climatological Parameters over Next 20 Years by Using Statistical Downscaling Method of HADCM3 Data (Case Study: Khorasan Razavi Province), *Journal of Water and Soil*, 25(4), 940-952. [In Persian]

Bucchignani, E., Mercogliano, P., Panitz, H. & Montesarchio, M. (2018). Climate Change Projections for the Middle East–North Africa Domain with COSMO-CLM at Different Spatial Resolutions, *Advances in Climate Change Research*, 9(1), 66-80.

Delghandi, M., Joorablou, S. & Ganji Nowroozi, Z. (2023). The impact of climate change on severity, duration and magnitude of drought using SPI and RDI in the Semnan region, *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(1), 1-18.

Duan, K. & Mei, Y. (2014). A comparison study of three

(2020). Assessing the Impact of Climate Change over the Northwest of Iran: An Overview of Statistical Downscaling Methods, *Theoretical and Applied Climatology*, 141(1), 1-16.

Helmi, M. & Shahidi, A. (2023). The using of SPI and SPEI indices in evaluating the effect of drought on quality of surface water resources (Case study: Kashafroud river), *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(1), 83-96.

Jafari Godeneh, M., Salajegh, A. & Haghighi, P. (2019). Forecast Comparative of Rainfall and Temperature in Kerman County Using LARS-WG6 Models, *EcoHydrology*, 7(2), 529-538. [In Persian]

Jafarzadeh, A., Khashei-Siuki, A. & Shahidi, A. (2016). assessment of statistical downscaling methods LARS-WG & SDSM in forecast of climate parameter variation, *Journal of Water and Soil conservation*, 23(4), 309-322. [In Persian]

Kilsby, C., Jones, P., Burton, A. & Ford, A. (2007). A daily weather generator for use in climate change studies, *Environmental Modelling & Software*, 22, 1705-1719.

Kundu, S., Khare, D. & Mondal, A. (2017). Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance, *Ecological Engineering*, 105, 42-57.

Maan, A. K., Jayadevi, D. A. & James, A. P. (2016). A survey of memristive threshold logic circuits, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 28(8), 1734-1746

Naderi, S., Goodarzi, M. & Ghadmi Dehno, M. (2017). The Effect of Climate Change on Climatic Parameters in Seymareh Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(39), 69-76. [In Persian]

Nazif, S., Karamouz, M., Falahi, M. & Rahimi Farahani, M. (2009). Long lead rainfall prediction using statistical downscaling and artificial neural network statistical downscaling methods and their model-averaging ensemble for precipitation downscaling in China, *Theoretical and Applied Climatology*, 116, 707-719.

Erfanian, M., Ansari, H. & Alizadeh, A. (2012). Forecasting Precipitation and Temperature Using Artificial Neural Networks (Case Study: Mashhad Station), *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 3(11), 53-73. [In Persian]

Ghasemifar, E., Alijani, B. & Salighe, M. (2016). Investigating the temperature changes of the southern shores of the Caspian Sea using three models LARSWG, SDSM and Artificial Neural Network, *Journal of Natural Geography*, 9(4), 23-41. [In Persian]

Goudarzi, M., Salahi, B. & Hosseini, S. A. (2016). Performance Assessment of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering,* 9(31), 11-22. [In Persian]

Gulacha Metekiya, M. & Mulungu Deogratias, M.M. (2017) Generation of Climate Change Scenarios for Precipitation and Temperature at Local Scales Using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania, *Physics and Chemistry of The Earth*, 100, 62-72.

Hashemi, M.Z., Shamsedin, A.Y. & Melville, B.W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 475-484.

Hassan, H., Aramaki, T., Hanaki, K., Matsu, T. & Wilby, R.L. (1998). Lake Stratification and Temperature Profiles Simulated Using Downscaled GCM Output, *Water Science and Technology*, 38(11), 217-226.

Hosseini, A., Eslahi, M., Sheikhbabaei, A. & Seifi, A. J.

(2015). Analysis and prediction of reference evapotranspiration with climate change in Xiangjiang River Basin, China, *Water Science and Engineering*, 4, 273-281.

Wilby, R. L., Dawson, C.W. & Barrow, E.M. (2002). SDSM-A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts, *Journal of Environmental Modeling and Software*, 17(2), 145-157.

Wilks, D. (1992). Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies, *Climate Change*, 22, 67-84.

Wilks, D.S. & Wilby, R.L. (1999). The Weather Generation game: a review of Stochastic Weather Models, *Progress in Physical Geography*, 23(3), 329-357.

Yoosefdoost, I., Khashei-Siuki, A., Mohammadrezapour, O. & Tabari, H. (2021). Evaluating Performance of Four Statistical Downscaling Models (SDSM) of Precipitation and Temperature Data under the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Scenario, *Journal of Climate Research*, 12(45), 43-66. [In Persian]

Zarfeshani, A. & Jahangir, M.H., (2021). The Isfahan values of Temperature and Precipitation Forecast Based on Two Fine scale models LARS-WG and SDSM and Artificial Neural Network Method, *Iranian journal of Irrigation and Drainage*, 15(1), 23-49. [In Persian]

Zulkarnian, H., Shamsudin, S. & Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature, *Theoretical and Applied Climatology*, 116(1-2), 243-257.

modeling, *International Journal of Science & Technology,* 16(2), 166-172.

Ramezani Moghadam, J., Yaghoobzadeh, M. & Jafarzadeh, A. (2018). Examination of Feature Selection Methods for Downscaling of Daily Precipitation in Two Different Climates*, Journal of Water and Soil,* 32(4), 831-848. [In Persian]

Refsgaard, J.C., Atnbjerg-Nielsen, K., Drews, M., Halsnæs, K., Jeppesen, E., Madsen, H., Markandya, A., Olesen, J.E., Porter, J.R. & Christensen, J.H. (2013). The Role of Uncertainty in Climate Change Adaptation Strategies – A Danish Water Management Example, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(3), 337-359.

Rezaei, M., Nohtani, M., Abkar, A., Rezaei, M. & Mirkazehi Rigi, M. (2014). Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Arid Regions (Case Study: Kerman and Bam), *Journal of Watershed Management Research,* 5(10), 117-131. [In Persian]

Salajegheh, A., Rafiei Sardoii, E., Moghadamnia, A., Malekian, Ar., Araghinejad, S., Khalighi Sigarodii, Sh. & Saleh Pourjam, A. (2017). Performance Assessment of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in Simulation of Precipitation and Temperature, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2), 253-262. [In Persian]

Samadi, S., Ehteramian, K. & Sarraf, B.S. (2011). SDSM Ability in Simulate Predictors for Climate Detecting over Khorasan Province, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 3, 741-749.

Sobhani, B., Eslahi, M. & Babaeian, I. (2017). Comparison Of Statistical Downscaling in Climate Change Models to Simulate Climate Elements in Northwest Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, 49(2), 301-325. [In Persian]

Tao, X.E., Chen, H., Xu, C.Y., Hou, Y.K. & Jie, M.X.