Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Potential of atmospheric-ocean general circulation models in simulating relative humidity changes (Case study: Neka city)

Fatemeh Rajaei[*1]

1. Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: Rajaei_Fatemeh@znu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 16 March 2023
Revised: 21 April 2023
Accepted: 26 April 2023
Published online: 02 August 2023

Keywords:
Climate change, Relative humidity, Intergovernmental Panel on Climate Change, Atmospheric circulation models, Neka.

ABSTRACT

Global warming increases the moisture capacity of the air and decreases the relative humidity of the air. The most common method of simulating climate parameters is to use the output data of general circulation models of the ocean-atmosphere. In this research, the differences and assurance of the accuracy of the results of climate models in the prediction of relative humidity were investigated using the validation method. In this regard, the relative humidity data of Dasht Naz synoptic station in Neka city was used on a daily basis with a statistical length of 25 years (1990-2014 AD). In the following, the relative humidity parameter data of general circulation models (the sixth report of the Inter-State Committee on Climate Change), from the closest cell to the Dasht Naz synoptic station in the base period (1990-2014) and the future period (2100-2014) under two SSP2 and SSP5 scenarios were downloaded from the Environmental Analysis Center website in netcdft file format and extracted in ArcGIS 10.8 software. Also, downscaling of the output of the general circulation models of the ocean-atmosphere was done with the Cumulative Distribution Function (CDFT) method in RStudio statistical software. According to the results, ACCESS-ESM1-5, CNRM-CM6-1, CanESM5, IPSL-CM6A-LR, GISS-E2-1-G and MIROC6 models showed the highest correlation with observational data, but Except for two ACCESS-ESM1-5 and CanESM5 models, the other mentioned models had a high bias compared to the observational data. The lowest air humidity is predicted in June, July, and August, and the highest humidity in December and February. Regarding the relative humidity parameter, slight changes were seen in the SSP2 scenario compared to the observational data, and these changes were more in the SSP5 scenario. And the most changes in relative humidity under SSP5 are expected in autumn (3.7%) and the least in winter (0.5%).

Citation: Rajaei, F. (2023). Potential of atmospheric-ocean general circulation models in simulating relative humidity changes (Case study: Neka city). *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, *11*(2), 63-78.
DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Fatemeh Rajaei
Address: Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Tel: +989124852486
Email: Rajaei_Fatemeh@znu.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Potential of atmospheric-ocean general circulation models in simulating relative humidity changes (Case study: Neka city)

Fatemeh Rajaei[*1]
1. Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Rajaei_Fatemeh@znu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Physically, it has long been considered plausible that the distribution of relative humidity will remain roughly constant under climate change, this argument being stronger at higher latitudes where the air is typically closer to saturation but with significant increases in lower to mid-tropospheric specific humidity levels. On the other hand, observational data in this field are few and among the most difficult observations, and satellite records are very heterogeneous for estimating long-term humidity trends. But currently, climate model simulations of the general circulation of the oceanic atmosphere have the ability to feedback atmospheric moisture. The results of general atmospheric circulation models in the whole world are usually in good agreement with each other and on a large scale such as global, hemispheric, and regional. Global warming increases the moisture capacity of the air and decreases the relative humidity of the air. In the lower troposphere, water vapor in the atmosphere acts as the main source for precipitation in all climate systems, so that changes in water vapor in the atmosphere can have a significant impact on the hydrological cycle, precipitation intensity, flood, drought, etc. Most of the research that has been carried out in the field of climate change has usually used temperature and precipitation as indicators to evaluate and reveal climate change in each region, and the element of relative humidity has received less attention. While in this research, the relative humidity of the air has been used as an index of climate change. On the other hand, analyzing the climate models of the ocean-atmosphere and ensuring the correctness of their results, as well as the possible state of the relative humidity of the atmosphere in the future, provides the possibility for decision-makers and policymakers to be involved in policy-making, disaster management, and Infrastructure planning have enough information. Therefore, it is very necessary to conduct comprehensive research in this field. Therefore, the objectives of this research are 1- to compare the output of the relative humidity parameter of the general circulation models of the ocean-atmosphere (the sixth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change), 2- to analyze the error rate of the output of the results of the atmospheric climate models compared to the observational data, and 3- The selection of the best climate model for future relative humidity predictions pointed to the verification method in Neka city.
Methodology: Observational data of relative humidity of Dasht Naz synoptic station on a daily basis with a statistical length of 25 years in the period of 1990-2014 were used for this research. In the following, the data of the relative humidity parameter of the general circulation models (the sixth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change), from the closest cell to the Dasht Naz synoptic station in the base period (1990-2014) and the future period (2100-2014) under two SSP2 and SSP5 scenarios were downloaded from the Environmental Analysis Center website http://data.ceda.ac.uk/badc/cmip6IPCC in netcdft file format and extracted in ArcGIS 10.8 software. Downscaling of the output of atmospheric general circulation models was done with the Cumulative Distribution Function (CDFT) method in RStudio statistical software. In this research, the validation method was used to select the best model. In this regard, statistical indicators were used, including correlation, standard deviation, and bias of observational data compared to the data of the base period of climate models.
Results and Discussion: The results of the simulated monthly relative humidity difference of the climate models show that on a monthly scale, all the models, except the ACCESS-ESM1-5 and CanESM5 models, have estimated the relative humidity lower than the observation period, and the model MIROC6, MPI-ESM1-2-LR, and EC-Earth showed less accuracy than other models in predicting the amount of relative air humidity. Also, the winter season has the highest and the summer season has the lowest relative humidity. Also, in the winter season, most of the models' estimates are lower than the observations, except for the MIROC6, MPI-ESM1-2-

***Corresponding author:** Fatemeh Rajaei
Address: Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
Tel: +989124852486
Email: Rajaei_Fatemeh@znu.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

LR, and EC-EARTH models. The average temperature of the models in the winter season -0.04 and in the autumn season -0.85 degrees Celsius is lower than the observation period. On the other hand, it is worth mentioning that in the lower troposphere, the water vapor in the atmosphere acts as the main source for precipitation in all weather systems, so that changes in water vapor in the atmosphere can have a significant effect. Pay attention to the hydrological cycle, precipitation intensity, floods, droughts, etc., therefore, errors in the prediction of relative humidity in the two seasons of spring and summer can be effective in predicting the amount of precipitation in the region. In order to determine the most suitable model for simulating the relative humidity of the historical period, correlation index, coefficient of variation, standard deviation and bias have been used. According to the results, ACCESS-ESM1-5, CNRM-CM6-1, CanESM5, IPSL-CM6A-LR, GISS-E2-1-G, MPI-ESM1-2-LR, and MIROC6 models have the highest data correlation. They showed observed and simulated data, but except for the ACCESS-ESM1-5 and CanESM5 models, the other mentioned models had a high bias compared to the observational data. In terms of standard deviation values, the models showed similar values, except for two models, CNRM-CM6-1 and MIROC6, which had higher values. Therefore, two ACCESS-ESM1-5 and CanESM5_ESM models are proposed among the climate models for predicting relative humidity in the future in the Neka region. In the future period, relative humidity under the SSP2 scenario showed minor changes compared to the observation data of the base period. These changes were more in the SSP5 scenario. ACCESS-ESM1-5 model compared to the CanESM5 model has simulated more relative humidity increase. The future relative humidity changes in different seasons showed that the maximum increase in relative humidity under SSP5 is expected in autumn (3.7 %) and the least in winter (0.5 %). On the other hand, the decrease of relative humidity in the spring season is predicted by 1.3%.

Conclusion: Neka city ranks second in wheat production as well as the source of drinking and agricultural water supply in Mazandaran province, and it is important to have a plan for managing water and agricultural resources under the conditions of climate change in the basin. Therefore, the results of this research in order to predict the humidity conditions of the air in future periods provide the possibility for decision-makers and policymakers to make appropriate management decisions in various fields by knowing the future situation.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: This study was conducted as a research project and it has received financial support from the University of Zanjan.

Authors' contribution: Fatemeh Rajaei: As the only author of the paper, conducted all parts of the research and wrote the whole manuscript.

Conflicts of interest: The author of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: The article is extracted from the research project No. P/46781 of Zanjan University (project code 4003) dated 9/2/1400.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]
[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

پتانسیل مدل‌های گردش عمومی جو اقیانوسی در شبیه‌سازی تغییرات رطوبت نسبی (مطالعه موردی: شهرستان نکا)

فاطمه رجائی [*1]

۱. استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، Rajaei_Fatemeh@znu.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۵ اسفند ۱۴۰۱
بازنگری: ۰۱ اردیبهشت ۱۴۰۲
پذیرش: ۰۶ اردیبهشت ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۱ مرداد ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
تغییر اقلیم، رطوبت نسبی، هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی جو اقیانوسی، نکا.

چکیده

گرمایش جهانی، ظرفیت رطوبتی هوا را افزایش و رطوبت نسبی هوا را کاهش می‌دهد. معمول‌ترین روش شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی، استفاده از داده‌های خروجی مدل‌های گردش عمومی جو اقیانوسی است. در این پژوهش با روش صحت‌سنجی به بررسی اختلاف‌ها و اطمینان از صحت نتایج مدل‌های اقلیمی در پیش‌بینی رطوبت نسبی پرداخته شد. در این راستا، داده‌های رطوبت نسبی ایستگاه سینوپتیک دشت ناز در شهرستان نکا، به‌صورت روزانه با طول آماری ۲۵ سال (۲۰۱۴- ۱۹۹۰ میلادی) استفاده شد. در ادامه داده‌های پارامتر رطوبت نسبی مدل‌های گردش عمومی (گزارش ششم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم)، از نزدیک‌ترین سلول به ایستگاه سینوپتیک دشت ناز در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و نیز دوره آینده (۲۰۱۴-۲۱۰۰) تحت دو سناریوی SSP2 و SSP5 از وب‌سایت مرکز تحلیل محیط زیست در قالب netcdft، دریافت شد. هم‌چنین، ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو اقیانوسی با روش تابع توزیع تجمعی (CDFT) در نرم‌افزار آماری RStudio انجام شد. با توجه به نتایج حاصل، مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1، CanESM5، IPSL-CM6A-LR، GISS-E2-1-G و MIROC6 بیش‌ترین همبستگی را با داده‌های مشاهداتی نشان دادند اما به جز دو مدل ACCESS-ESM1-5 و CanESM5 سایر مدل‌های مذکور دارای اریب بالایی نسبت به داده‌های مشاهداتی بودند. کم‌ترین رطوبت نسبی در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت و بیش‌ترین رطوبت در ماه‌های دسامبر و فوریه شبیه‌سازی شده است. در مورد پارامتر رطوبت نسبی در سناریوی SSP2، تغییرات جزیی نسبت به داده‌های مشاهداتی دیده شد و این تغییرات در سناریوی SSP5 بیش‌تر بود. و بیش‌ترین تغییرات رطوبت نسبی تحت SSP5 در فصل پاییز (۳/۷ درصد) و کم‌ترین در فصل زمستان (۰/۵ درصد) انتظار می‌رود.

استناد: رجایی، فاطمه (۱۴۰۱). پتانسیل مدل‌های گردش عمومی جو اقیانوسی در شبیه‌سازی تغییرات رطوبت نسبی (مطالعه موردی: شهرستان نکا). *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۱(۱)، ۶۳-۷۸.

DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3

© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

[*] **نویسنده مسئول:** فاطمه رجائی
نشانی: گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
تلفن: ۰۹۱۲۴۸۵۲۴۸۶
پست الکترونیکی: Rajaei_Fatemeh@znu.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

مقدمه

عوامل مختلفی باعث برهم خوردن شرایط حاکم بر اجزاء مختلف سیستم اقلیم کره زمین می‌شود که می‌تواند تاثیراتی را بر اجزاء دیگر بگذارد. این عوامل به دو بخش عوامل داخلی ناشی از کنش‌های متقابل بین اجزاء سیستم اقلیم و عوامل خارجی طبیعی ناشی از تابش خورشیدی، فعالیت‌های آتشفشانی و افزایش غیر طبیعی گازهای گلخانه‌ای قابل تقسیم هستند. گرمایش جهانی، ظرفیت رطوبتی هوا را افزایش و رطوبت نسبی هوا را کاهش می‌دهد. قابل ذکر است بخار آب در نقش یک گاز گلخانه‌ای خود موجب تشدید گرمایش جهانی می‌شود (دهقانی و علیجانی، ۱۳۹۶). در تروپوسفر پایین، بخار آب موجود در جو به‌عنوان منبع اصلی برای بارندگی در تمام سیستم‌های آب و هوایی عمل می‌کند، به‌طوری‌که، تغییرات بخار آب در جو می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر چرخه هیدرولوژی، شدت بارش، وقوع سیل، خشکسالی و غیره داشته باشد. حوزه نکا طی سال‌های مختلف شاهد سیلاب‌های نسبتا شدیدی بوده است به‌عنوان نمونه می‌توان به سیل مرداد ماه سال ۱۳۸۷ اشاره نمود که موجب تخریب پل اصلی شهر و زیر آب رفتن بخش وسیعی از اراضی کشاورزی شد. از سوی دیگر، شهرستان نکا از مناطق گردش‌گری در ایران محسوب می‌شود و امروزه صنعت گردش‌گری در معرض اثرات بالقوه اقلیمی جهانی است و تغییراتی در شاخص‌های اقلیم گردش‌گری اثرات اقتصادی قابل توجهی بر منطقه خواهد داشت، زیرا گردشگر ممکن است به تغییرات ویژگی‌های محیطی واکنش نشان دهد و مقصدهای جایگزین با خطرات کم‌تر را انتخاب کنند (González et al., 2022). بنابراین مطالعه و شناسایی محدودیت‌ها و مخاطرات تهدید کننده جوی و اقلیمی و نیز آگاهی از جاذبه‌ها و پتانسیل‌های نهفته در ویژگی‌های جوی و اقلیمی و جغرافیای گسترده در فصل‌های مختلف سال به‌منظور ملحوظ داشتن آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های مختلف ملی و استانی از اهمیت زیادی برخوردار است (Scott et al., 2019). از نظر فیزیکی، مدت‌ها قابل قبول به‌نظر می‌رسید که توزیع رطوبت نسبی تحت تغییرات اقلیمی تقریباً ثابت بماند، این استدلال در عرض‌های جغرافیایی بالاتر که در آن هوا معمولاً به اشباع نزدیک‌تر است قوی‌تر است اما افزایش قابل توجهی در سطوح رطوبت ویژه تروپوسفر پایین تا میانی مشاهده شده است. از طرفی داده‌های مشاهداتی در این زمینه کم و جز دشوارترین رصدها هستند و نیز رکوردهای ماهواره‌ای برای تخمین روندهای طولانی مدت رطوبت بسیار ناهمگن هستند. اما در حال حاضر، شبیه‌سازی‌های مدل‌های اقلیمی گردش عمومی جو اقیانوسی توان بازخورد رطوبت جو را دارند. نتایج مدل‌های گردش عمومی جو در کل دنیا معمولاً هم‌خوانی مناسبی با یکدیگر و در مقیاس بزرگ مانند جهانی، نیمکره‌ای و منطقه‌ای دارند، برخی مطالعات نشان می‌دهند زمانی که نتایج مدل‌ها در مقیاس بسیار کوچک‌تر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، به‌خصوص در مقیاس زیر قاره‌ای، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌شود. این مورد باعث ایجاد این سؤال در مطالعات اثرات تغییر اقلیم می‌شود که چگونه می‌توان این تفاوت‌ها را از بین برد و مدلی یا مدل‌هایی را انتخاب کرد که بتوانند پیشینه‌ی مناسبی را از آینده تغییر اقلیم ارائه کنند. سه روش جهت انتخاب مدل‌های مختلف اقلیمی توسعه یافته است که عبارت‌اند از: روش حدی (حداکثر/ حداقل)، روش گروهی [1] و روش صحت‌سنجی[2]. درروش حدی از میزان حداکثر و حداقل تغییر مدل‌ها برای تعیین اثرات تغییر اقلیم استفاده می‌شود. درروش گروهی از میانگین یا میانه همه مدل‌ها یا بسیاری از مدل‌ها برای کاهش عدم قطعیت مدل تکی استفاده می‌شود. درروش صحت‌سنجی مدل‌هایی انتخاب می‌شوند که بتوانند اقلیم مشاهداتی تاریخی منطقه را به‌خوبی پیش‌بینی کنند (Fenech et al., 2002).

Wei و Xu (2021) با استفاده از داده‌های روزانه ۱۰ ایستگاه هواشناسی طی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۸، عملکرد دو شاخص رطوبت نسبی (RH) و فشار بخار آب واقعی (e_a) را در ارزیابی روند ترسالی و خشکسالی مناطق خشک شمال چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که RHسالانه در طول دهه‌های گذشته تقریباً در همه ایستگاه‌ها ۰-۰.۱۰ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که e_a روند افزایشی را در ۴۰ درصد ایستگاه‌ها و روند کاهشی را در ۶۰ درصد ایستگاه‌های دیگر نشان می‌دهد. مطالعه صورت پذیرفته در لبنان توسط Farhat (۲۰۱۸) نشان داد که مقادیر تبخیر با تغییر جهت باد غالب تغییر می‌کند و نوسان بیش‌تر رطوبت نسبی هوا در پاییز به‌دلیل بادهای خشک جنوب شرقی است که منجر به نوسان در میزان تبخیر روزانه می‌شود. رابطه معکوس بین رطوبت نسبی و تبخیر مشاهده شد. نتایج نشان داد میزان تبخیر روزانه با کاهش رطوبت نسبی به میزان ۵۳ درصد، ۸۰ درصد افزایش یافت و پیش‌بنی نمودند به احتمال زیاد در سال‌های آینده، منطقه با توجه به تغییرات پارامترهای اقلیمی به سمت تنش آبی بیش‌تر پیش می‌رود. در تحقیقی دیگر Zebaze و همکاران (۲۰۱۷) انتقال رطوبت در لایه‌های تروپوسفر و تعامل آن بین بارندگی و رویدادهای موج کلوین بر فراز آفریقا را با استفاده از داده‌های ERA-Interim ارزیابی نمودند. همبستگی قوی بین بارش و انتقال رطوبت

[1] Ensemble
[2] Validation

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

در مقیاس زمانی ماهانه پیدا شد. از سوی دیگر، مطالعه Pajooh و Darand (۲۰۱۹الف) تغییرات و روند رطوبت ویژه تروپوسفر بر روی ایران را با استفاده از داده‌های ECMWF تحلیل نمودند. یافته‌ها نشان داد که روند سالانه رطوبت ویژه در اکثر نقاط ایران رو به کاهش بوده و تنها در سواحل شمالی و جنوبی کشور در حال افزایش است. بیش‌ترین روند افزایشی رطوبت ویژه در سواحل جنوبی ایران با ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مشاهده شد. هم‌چنین بسیاری از مطالعات دیگر افزایش میزان رطوبت جو را همراه با گرم شدن کره زمین در بخش‌های مختلف جهان طی دهه‌های (Brown and DeGaetano, 2013; Krichak et al., 2015; Chu et al., 2015; Iwasaki, 2015; Kottayil and Satheesan, 2015) و تعدادی کمی از مطالعات کاهش رطوبت (Seidel et al., 2007; Paltridge et al., 2009) در جهان را نشان دادند. مرور منابع نشان می‌دهد مطالعه‌ای در خصوص واکاوی مدل‌های اقلیمی جو گزارش ششم IPCC و توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی تغییرات رطوبت نسبی هوا صورت نپذیرفته است. از سوی دیگر، غالب پژوهش‌هایی که در زمینه تغییرات اقلیمی انجام گرفته است معمولاً دما و بارش را به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی و آشکارسازی تغییر اقلیم در هر منطقه استفاده کرده‌اند و عنصر رطوبت نسبی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. در حالی که در این پژوهش از رطوبت نسبی هوا به‌عنوان نمایه تغییر اقلیم استفاده شده است. از سوی دیگر، تجزیه و تحلیل مدل‌های اقلیمی جو اقیانوسی و اطمینان از صحت نتایج آن‌ها و نیز وضعیت احتمالی رطوبت نسبی جو در دوره آینده این امکان را برای تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گزاران فراهم می‌کند تا در سیاست‌گذاری، مدیریت بلایا و برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها اطلاعات کافی را داشته باشند. لذا لزوم انجام یک پژوهش جامع در این زمینه امری بسیار ضروری است. بنابراین، از اهداف این تحقیق می‌توان به ۱- مقایسه خروجی پارامتر رطوبت نسبی مدل‌های گردش عمومی جو اقیانوسی (گزارش ششم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم)، ۲- واکاوی میزان خطای خروجی نتایج مدل‌های اقلیمی جو نسبت به داده های مشاهداتی و ۳- انتخاب بهترین مدل اقلیمی جهت پیش‌بینی‌های رطوبت نسبی در آینده به روش صحت‌سنجی در شهرستان نکا اشاره نمود.

مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

شهرستان نکا با مساحت ۱۳۵۹ کیلومتر مربع در استان‌های مازندران واقع شده است. شهرستا نکا بین دریای خزر در شمال و رشته‌کوه‌های البرز در جنوب قرار دارد، میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد است که حداقل و حداکثر دما به ترتیب در ماه‌های ژانویه و اوت است. میزان بارندگی سالانه حوضه ۶۰۰ میلی متر است. حداکثر بارندگی سالانه در پاییز و حداقل در تابستان با روند کاهشی در ارتفاعات است. در منطقه بیش‌ترین حجم رطوبت در ترازهای زیرین جو و به‌ترتیب اهمیت توسط دریای خزر، خلیج فارس، خلیج عدن، دریای عرب و عمان تامین می‌شود، اما در ترازهای میانی و فوقانی جو، میزان رطوبت فرارفت شده بسیار کم‌تر از ترازهای زیرین جو صورت گرفته و علاوه بر دریای خزر منابع آبی دریای سیاه و مدیترانه جایگزین دریاهای جنوبی در تغذیه رطوبتی بارش‌های منطقه می‌شوند (پژوه و کوهی، ۱۳۹۹).

جدول ۱- مدل‌های اقلیمی مورد بررسی در این تحقیق

Table 1- Climate models examined in this research

موسسه/کشور	مدل	بزرگ‌نمایی (درجه)
Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science, Australia	ACCESS-ESM5	1.87*1.25
Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Victoria, Canada	CanESM5	2.79*2.81
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NJ, USA	GFDL-ESM4	1.0*1.25
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Kanagawa, Japan	MIROC6	1.4*1.4
Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany	MPI-ESM1-2-LR	1.87*1.86
Centre National de Recherches Meteorologiques, France	CNRM-CM6-1	1.4*1.4
Institut Pierre-Simon Laplace (France)	IPSL-CM6A-LR	1*1
NASA/Goddard Institute for Space Studies (USA)	GISS-E2-1-G	2.5*2
EC-Earth Consortium, Europe	EC-Earth	0.35*0.5

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

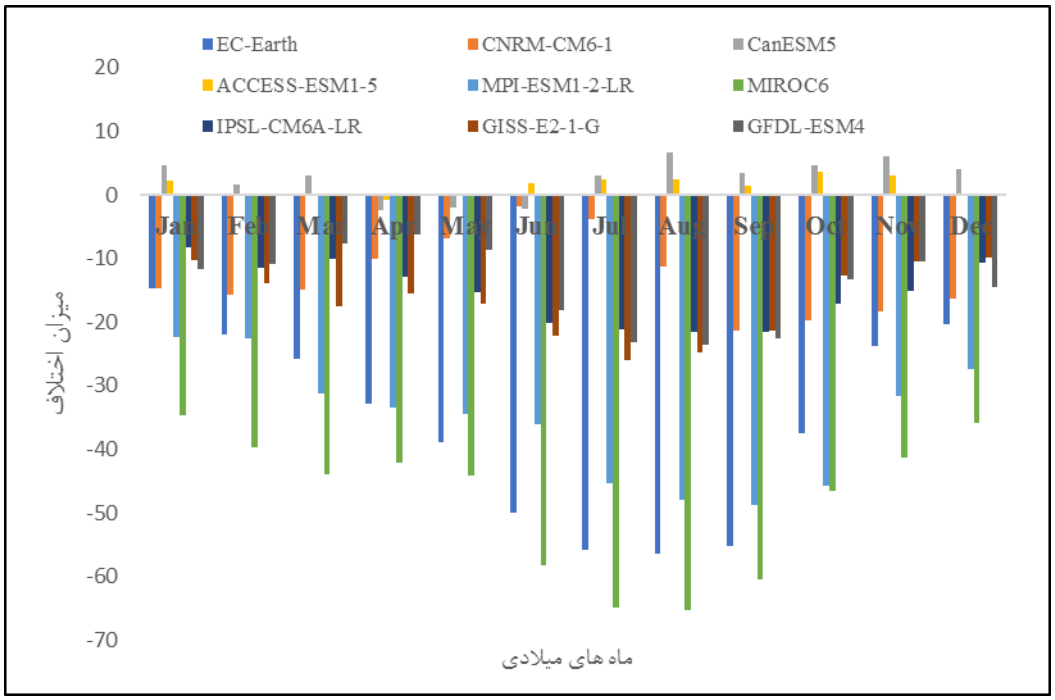
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

روش کار

داده‌های مشاهداتی رطوبت نسبی ایستگاه سینوپتیک دشت ناز به‌صورت روزانه با طول آماری ۲۵ سال در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۰ میلادی برای این تحقیق استفاده شد. در ادامه داده‌های پارامتر رطوبت نسبی مدل‌های گردش عمومی (گزارش ششم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم)، از نزدیک‌ترین سلول به ایستگاه سینوپتیک دشت ناز در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۴) و نیز دوره آینده (۲۰۱۴-۲۱۰۰) تحت دو سناریوی SSP2 و SSP5 از پایگاه مرکز تحلیل محیط زیست http://data.ceda.ac.uk/badc/cmip6IPCC در قالب فایل netcdft، دریافت و در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استخراج شد. اطلاعات خروجی مدل‌های چرخش عمومی (جدول ۱)، بزرگ مقیاس بوده و جهت استفاده از آن‌ها در مطالعات ارزیابی اثرات لازم است که کوچک مقیاس شوند ریز مقیاس‌سازی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو با روش تابع توزیع تجمعی (CDFT) در نرم‌افزار آماری RStudio انجام شد. در این تحقیق از روش صحت‌سنجی جهت انتخاب بهترین مدل استفاده شد. در این راستا از شاخص‌های آماری شامل بررسی همبستگی، انحراف معیار و خطای داده‌های مشاهداتی نسبت به داده‌های دوره پایه مدل‌های اقلیمی استفاده شد. در نهایت مدل مناسب انتخاب و در ارزیابی اثرات تغییر اقلیمی دوره آینده منطقه پیشنهاد شد. نمودار تیلر در این مطالعه در نرم‌افزار Rstudio و با استفاده از پکیج Taylor رسم شده است.

نتایج و بحث

یکی از اهداف تحقیق حاضر بررسی توانمندی هر یک از مدل‌های گردش عمومی جو گزارشش ششم IPCC، در شبیه‌سازی اطلاعات دوره پایه در شباهت با داده‌های مشاهداتی است. نتایج مقادیر رطوبت نسبی خروجی مدل‌های اقلیمی و مقایسه آن‌ها با دوره مشاهداتی منطقه مطالعاتی در ادامه ارائه شده‌اند.



شکل ۱- اختلاف میانگین ماهانه مدل‌های اقلیمی با داده مشاهداتی (درصد)

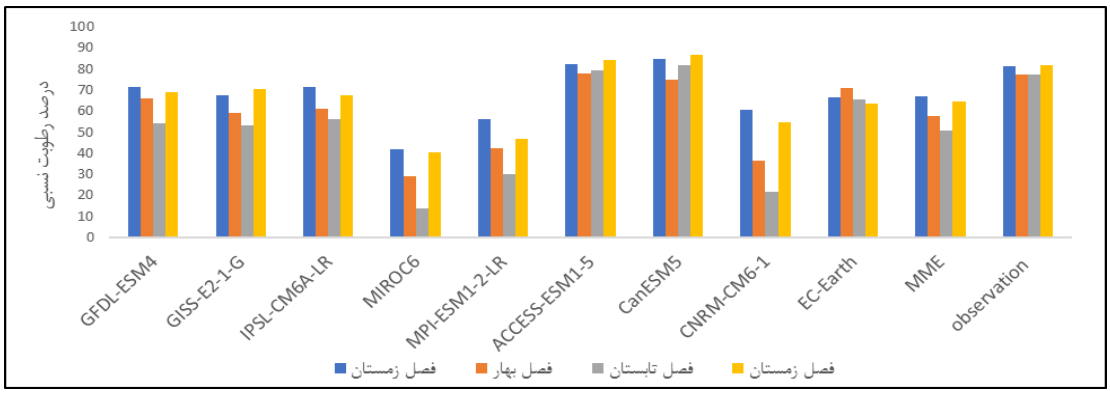
Figure 1- Monthly average difference of climate models with observational data (%)

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

نتایج اختلاف رطوبت نسبی ماهانه شبیه‌سازی شده مدل‌های اقلیمی نشان می‌دهد (شکل ۱) که در مقیاس ماهانه تمام مدل‌ها به جز دو مدل ACCESS-ESM1-5 و CanESM5 مقدار رطوبت نسبی را کم‌تر از دوره مشاهداتی برآورد کرده‌اند و تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین مدل‌های اقلیمی در خصوص پیش‌بینی میزان رطوبت نسبی وجود دارد به‌طوری که مدل‌های MIROC6، MPI-ESM1-2-LR و EC-Earth دقت کم‌تری نسبت به سایر مدل‌ها در بیش‌بینی مقدار رطوبت نسبی هوا نشان دادند. اما روند میزان رطوبت نسبی شبیه‌سازی شده ماهانه توسط مدل‌های اقلیمی مشابه دوره مشاهداتی می باشد به‌طوری که کم‌ترین رطوبت هوا را در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت و بیش‌ترین رطوبت در ماه‌های دسامبر و فوریه پیش‌بینی شده است. در نتایج مربوط به رطوبت نسبی در مقیاس فصلی نیز مطالب فوق قابل مشاهده است. به‌طوری‌که، نتایج نشان می‌دهد که در همه فصل‌ها اکثر مدل‌های اقلیمی برآوردشان کم‌تر از دوره مشاهداتی بوده است.

فصل زمستان بیش‌ترین (Q1) و فصل تابستان (Q3) کم‌ترین رطوبت نسبی را پیش‌بینی نموده‌اند (شکل ۲). پیش‌بینی کم‌تر رطوبت نسبی در فصل گرم سال می‌تواند ناشی از پیش بینی ضعیف مدل‌ها در پیش‌بینی دما در این فصل باشد (شکل ۳). همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد افزایش درجه حرارات محیط، ظرفیت رطوبتی هوا را افزایش و رطوبت نسبی هوا را کاهش می‌دهد (دهقانی و علیجانی، ۱۳۹۶). همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، پیش‌بینی برآورد دما در تابستان و بهار در اکثر مدل‌ها به‌جز مدل MPI-ESM1-2-LR و MIROC6 بیش‌تر از مشاهداتی دوره مشاهداتی است. میانگین دمای مجموع مدل‌ها در فصل بهار اختلاف دمای ۰/۱۹+ و در فصل تابستان مدل‌ها ۰/۳۹+ درجه سلسیوس بیش‌تر از دوره مشاهداتی است. در فصل زمستان تقریباً اکثر مدل‌ها برآوردشان در تخمین دما کم‌تر از مشاهداتی است به‌جز مدل‌های MIROC6، MPI-ESM1-2-LR و EC-EARTH. میانگین دمای مدل‌ها در فصل زمستان (۰/۰۴−) و در فصل پاییز (۰/۸۵−) درجه سلسیوس کم‌تر از دوره مشاهداتی است. از سوی دیگر، قابل ذکر است در تروپوسفر پایین، بخار آب موجود در جو به‌عنوان منبع اصلی برای بارندگی در تمام سیستم‌های آب و هوایی عمل می‌کند، به‌طوری‌که، تغییرات بخار آب در جو می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر چرخه هیدرولوژی، شدت بارش، وقوع سیل، خشکسالی و غیره داشته باشد، بنابراین خطا در پیش‌بینی رطوبت نسبی در دو فصل بهار و تابستان می‌تواند در پیش‌بینی مقادیر بارش در منطقه نیز تاثیر گذار باشد. تحقیق Darand و Pazhoh (۲۰۱۹ب) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و بیش‌ترین رطوبت نسبی در فصل‌های سرد مشاهده شد و با افزایش تدریجی دما، رطوبت کاهش نشان داد. هم‌چنین نتایج این مطالعه با تحقیق کتیرایی و همکاران (۱۳۹۰) هم‌خوانی دارد. نتایج مقادیر متوسط ماهانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم ۴۶ ایستگاه سینوپتیک در دروه آماری ۱۹۷۶–۲۰۰۵ نشان داد که میانگین رطوبت نسبی در شمال و شمال غربی بیش‌تر از سایر نقاط ایران است و در زمستان بیش‌تر از سایر فصل‌هاست. هم‌چنین، نتایج آن‌ها نشان داد که روند رطوبت نسبی سالانه در اکثر ایستگاه‌ها غیر از کرانه‌های دریای خزر و خلیج فارس و پاره‌ای از نقاط غربی کشور منفی است.

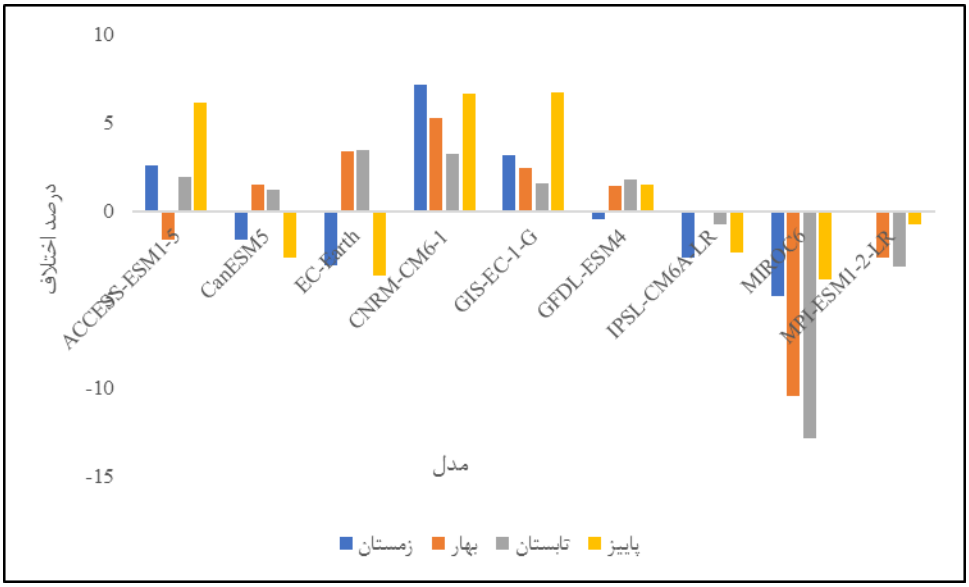


شکل ۲- مقادیر رطوبت نسبی فصلی مدل‌های اقلیمی گزارش ششم

Figure 2- Seasonal relative humidity values of climate models of the sixth report

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]



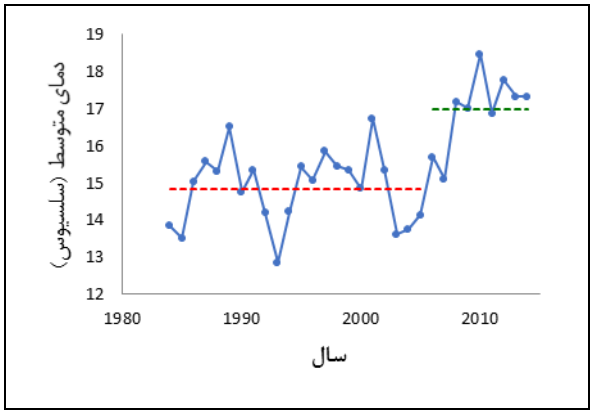
شکل۳- درصد اختلاف دما فصلی دوره پایه مدل‌های اقلیمی نسبت به دما دوره مشاهداتی

Figure 3- The percentage difference in seasonal temperature of the base period of the climate models compared to the temperature of the observation period

نتایج مطالعه روند رطوبت نسبی مشاهداتی در دوره ۱۹۹۰–۲۰۱۴ و مدل‌های اقلیمی در مقیاس سالانه (جزء مدل‌های CMCC-ESM2، FGOALS-g3، MPI-ESM1-2-HR و MRI-ESM2-0)، با استفاده از روش من کندال، روند کاهشی و نقطه تحول در سال ۱۹۹۸ را نشان داد که مطابق با روند دمای متوسط در منطقه مورد مطالعه است (شکل‌های ۴ و ۵). در بررسی مطالعات مشابه می‌توان به مطالعه Tabari و همکاران (۲۰۰۹) اشاره نمود در این مطالعه روند ۴۰ ساله متغیرهای دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد و تبخیر تعرق گیاه مرجع در دو اقلیم سرد و گرم ایران به روش من‌کندال بررسی شد. یافته‌های آنان نشان داد که بیش‌ترین نوسانات در سری داده‌های بارش و سرعت باد و کم‌ترین نوسانات در سری داده‌های دما وجود دارد. تحقیق Marianji و همکاران (۲۰۱۳) نیز معنی‌دار بودن روند افزایشی دما و روند کاهشی بارش و دبی سالانه در حوزه آبریز رودخانه یلفان در ایران را با استفاده از آزمون من‌کندال به اثبات رساندند. از سوی دیگر Karpouzos و همکاران (۲۰۲۰) در قسمت شمالی یونان تغییر پذیری داده‌های بارش را به‌منظور کمک به درک بهتر وضعیت هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای مطالعه روند تغییرات بارش از آزمون های من کندال و شن استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که همه ایستگاه‌های که در آن ارتفاعات پایین بودند به‌عبارتی در زون کشاورزی بودند اگر چه معنی‌دار نشدند اما روند کاهشی داشته اند. هم‌چنین، نتایج بررسی همگنی داده‌های بارش و دما در ایستگاه سلیمان تنگه با استفاده از آزمون همگنی پتیت و بوشاند در استان مازندارن، روند کاهشی و معنی‌داری را در سال ۱۳۹۸ در حوزه آبخیز تجن نشان داد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۸). از سوی دیگر، نتایج این تحقیق با نتایج Darand و Pazhoh (۲۰۱۹ج) هم‌خوانی دارد. نتایج تحقیق آن‌ها نیز روند کاهشی رطوبت جو را در سال ۱۹۹۹ نشان داد و نیز با توجه به کاهش روند رطوبت در تروپوسفر و خشکسالی شدید در سال‌های اخیر، اقلیم گرم‌تر و کم بارش برای ایران پیش‌بینی نمودند. هم‌چنین، مطالعه نوشادی و آهنی (۱۳۹۴) به بررسی روند تغییرات میانگین رطوبت نسبی ماهانه، فصلی و سالانه ایران در طی سال‌های ۱۳۸۴–۱۳۳۹ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد به‌طور کلی ایستگاه‌های واقع در مناطق مرکزی و قسمت‌های شرقی کشور دارای روند کاهشی بیش‌تری در رطوبت نسبی بودند. از سوی دیگر مطالعه کوثری و اسدی (۱۳۸۷) نیز نشان دادند که متوسط رطوبت نسبی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور به‌خصوص در طی اواخر سال ۱۳۷۹ روند کاهشی داشته است. کاهش روند رطوبت در منطقه ممکن است به‌دلیل تغییرات در الگوهای گردش جوی باشد که نقش مهمی در تغییر محتوای بخار آب جو دارد. با توجه به این واقعیت که بخار یک گاز گلخانه‌ای است، کاهش مقدار بخار آب و رطوبت در تروپوسفر منجر به سطوح پایین‌تر گرمایش در تروپوسفر می‌شود.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

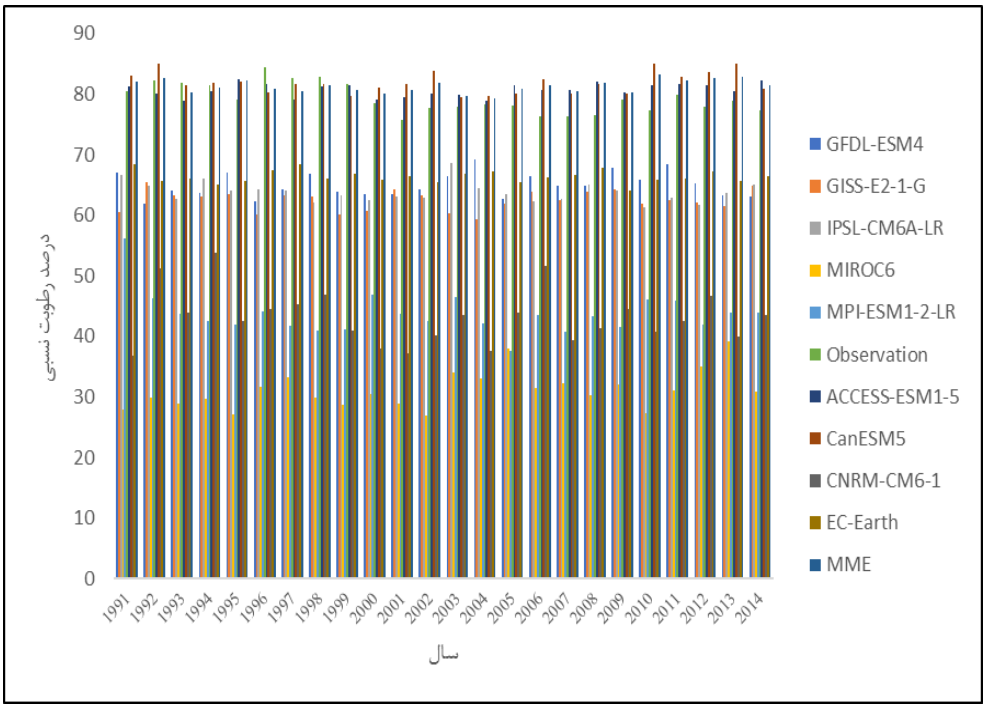
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]



شکل ٤- بررسی روند داده‌های دما در ایستگاه مشاهداتی دشت ناز

Figure 4- Evaluation of temperature data trend in Dasht Naz observation station

بررسی روند سالانه رطوبت نسبی در دوره پایه نشان می‌دهد که مدل‌های اقلیمی روند تقریباً مشابهی با داده‌های مشاهداتی دارند اما فقط دو مدل ACCESS-ESM1-5 و CanESM5 مقادیر نزدیک داده‌های مشاهداتی را شبیه‌سازی کرده‌اند (شکل ۵) و سایر مدل‌های اختلاف بیش‌تری را نشان دادند. قابل ذکر است هیچ مدل اقلیمی از همه جهات برتر از سایرین نیست، بلکه مدل‌های مختلف نقاط قوت و ضعف متفاوتی دارند. شبیه‌سازی دما در مدل‌های اخیر به خوبی شبیه‌سازی شده‌اند اما شبیه‌سازی بارش و رطوبت با وجود تلاش‌ها برای بهبود مدل‌ها هنوز دارای مشکل هستند که ممکن است تا حدی به‌دلیل وضوح ناکافی ویژگی‌هایی مانند جبهه‌های هوا، خطا در محاسبات فیزیک رطوبت یا مشکل در تعاملات شبیه‌سازی شده بین مناطق استوایی و عرض‌های میانی یا بین استراتوسفر و تروپوسفر باشد که بر جریان اقیانوس‌ها و برخی شبیه‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های آب و هوایی منطقه‌ای تأثیر می‌گذارند. از سوی دیگر، عدم قطعیت در اثرات اقلیمی ذرات معلق انسان ساخت (ذرات مایع و جامد معلق در جو) یک مانع بزرگ در مطالعات اقلیمی است و این‌که چه مقدار گرم شدن ناشی از گازهای گلخانه‌ای با حضور ذرات معلق در جو خنثی شده است. هم‌چنین، هنوز عدم قطعیت‌هایی در ارتباط با افزایش ابرها در شبیه‌سازی اثرات اقلیمی ذرات معلق هوا وجود دارد، زیرا این ذرات معلق در هوا با ابرها تعامل دارند و به‌طور بالقوه می‌توانند خواص تابشی ابر و پوشش ابر را تغییر دهند (Flato et al., 2013; Fatichi, 2016).



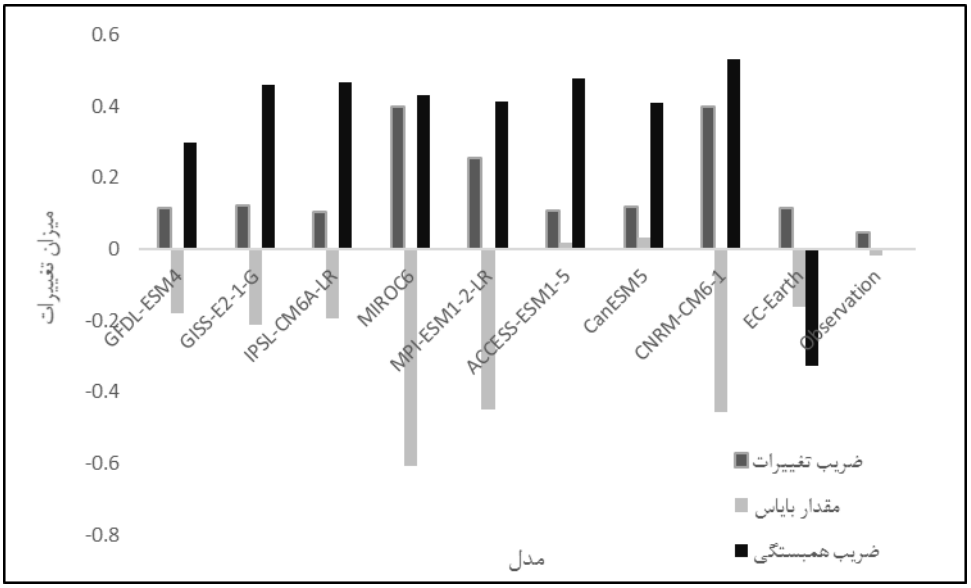
شکل ۵- مقادیر رطوبت نسبی سالانه مدل‌های اقلیمی گزارش ششم (درصد)

Figure 5- Annual relative humidity values of climate models of the sixth report (%)

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

به‌منظور تعیین مناسب‌ترین مدل در شبیه‌سازی رطوبت نسبی دوره تاریخی، از شاخص همبستگی، ضریب تغییرات، انحراف معیار و خطا استفاده شده است که نتیجه آن در در شکل ۶ منعکس شده است. با توجه به نتایج حاصل، مدل ACCESS-ESM1-5، CNRM-CM6-1، CanESM5، IPSL-CM6A-LR، GISS-E2-1-G، MPI-ESM1-2-LR و MIROC6 بیش‌ترین همبستگی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان دادند اما به جز دو مدل ACCESS-ESM1-5 و CanESM5 سایر مدل‌های مذکور دارای خطای بالایی نسبت به داده‌های مشاهداتی بودند (شکل ۶). از نظر مقادیر انحراف معیار، مدل‌ها مقادیر مشابه نشان دادند جز دو مدل CNRM-CM6-1 و MIROC6 دارای مقادیر بالاتری بودند. بنابراین دو مدل ACCESS-ESM1-5 و CanESM5_ESM از بین مدل‌های اقلیمی برای پیش‌بینی رطوبت نسبی در آینده در منطقه نکا پیشنهاد می‌شود. در مطالعه صورت پذیرفته توسط Bagcaci et al. (2021) در ترکیه، مدل‌های HadGEM3-GC31، GFDL-ES و ACCESS-ESM1-5 توانایی دقیق‌تری در پیش‌بینی‌ها نشان دادند. از تحقیقات صورت پذیرفته در ایران می‌توان به مطالعه Eskandari et al. (2020) اشاره نمود این مطالعه مانند تحقیق حاضر به توانایی مدل CanESM2 در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی تاکید داشتند. این تحقیق نیز مشابه تحقیق Swart و همکاران (۲۰۲۰) در خصوص افزایش توانایی مدل CanESM5 گزاش ششم هیات بین دول تغییر اقلیم (به‌دلیل بهبود مکانیسم فرایندهای فیزیکی و افزودن ماژول‌های مذکور) در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی تاریخی را تایید می‌نماید Yaoو Saini (۲۰۲۰) نیز به نتایج مشابه با این تحقیق در دشت تبت دست یافتند در تحقیق آن‌ها مدل Miroc6 به‌طور ضعیف و مدل CanESM5 و GFDL-ES توانایی بالاتری در شبیه‌سازی داشتند. در تحقیق Hamed و همکاران (۲۰۲۲) نیز بر توانایی مدل CMCC-ESM2 در شبیه‌سازی دما و نیز کاهش عدم قطعیت با همادی نمودن مدل‌های اقلیمی دست یافتند. از سوی دیگر در مطالعه صورت پذیرفته در ترکیه توسط Bagcaci و همکاران (۲۰۲۱)، مدل‌های HadGEM3-GC31، GFDL-ES و ACCESS-ESM1-5 توانایی دقیق‌تری در پیش‌بینی‌ها نشان دادند. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان داد مدل‌های گزارش ششم در مقایسه با مدل‌های اقلیمی گزارش پنجم دقت بیش‌تری در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دارد و احتمال می‌رود دما حداکثر تا ۶/۵ درجه سلسیوس افزایش و بارش ۲/۵ درصد در دوره آتی کاهش یابد. از تحقیقات صورت پذیرفته در ایران می‌توان به مطالعه Eskandari و همکاران (۲۰۲۰) اشاره نمود که مانند تحقیق حاضر به توانایی مدل CanESM2 در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی تاکید داشته است. از سوی دیگر، نتایج Xin و همکاران (۲۰۲۱) در مالزی، بر همادی نمودن مدل‌های اقلیمی گزارش ششم در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در چین تاکید داشت. هم‌چنین MPI، مدل مناسبی شناخته شده است. از سوی دیگر مدل BCC-CSM1.1m در چین نتایج مناسبی را نشان داد (Liu et al., 2022)، این در حالی هست که نتایج این مدل در مطالعه حاضر رضایت‌بخش نبود.



شکل ٦- ضرایب آماری مدل‌های اقلیمی

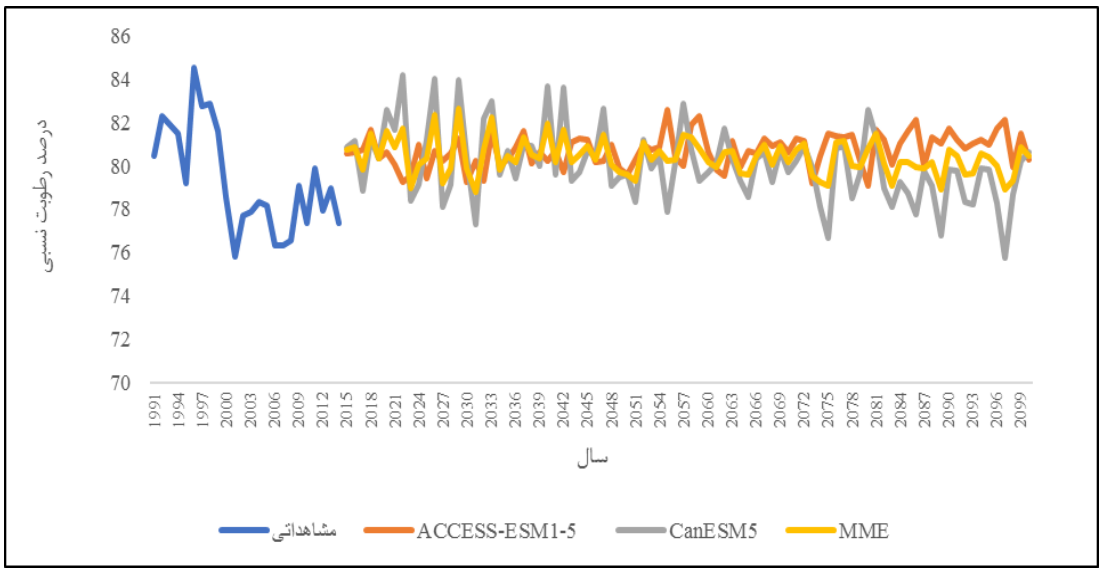
Figure 6- Statistical coefficients of climate models

در مورد پارامتر رطوبت نسبی دوره آینده تحت سناریوی SSP2 تغییرات جزیی نسبت به داده‌های مشاهداتی دوره پایه دیده شد. این تغییرات در سناریوی SSP5 بیش‌تر بود (شکل‌های ۷ و ۸). مدل ACCESS-ESM1-5 نسبت به مدل CanESM5 افزایش رطوبت نسبی بیش‌تری را شبیه‌سازی نموده است. تغییرات رطوبت نسبی در فصل‌های مختلف نشان داد که بیش‌ترین افزایش رطوبت نسبی تحت

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

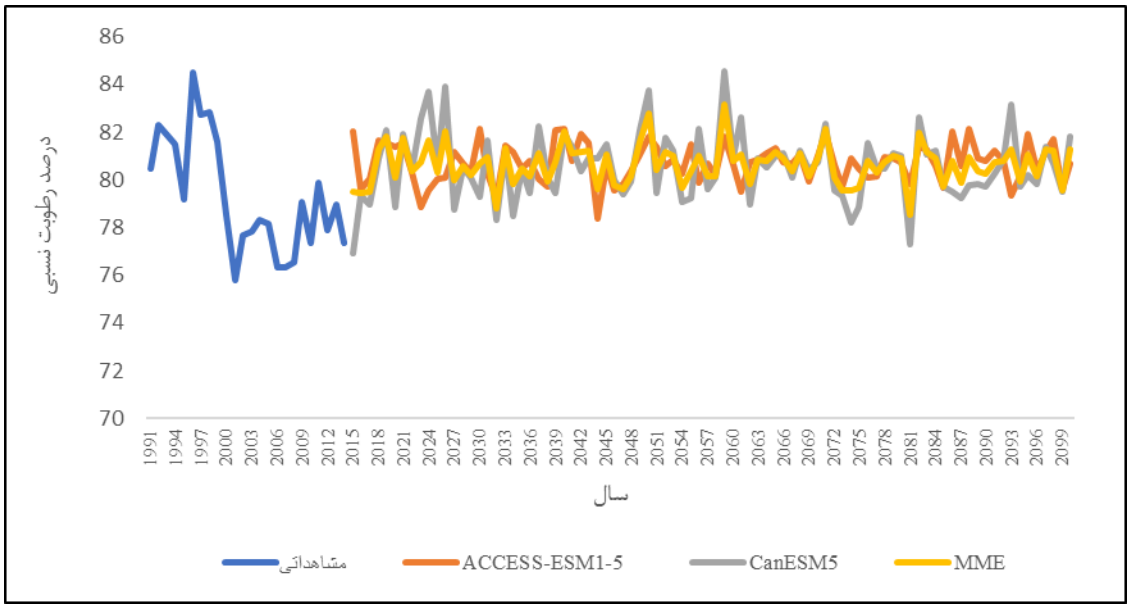
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

SSP5 در فصل پاییز (۳/۷ درصد) و کم‌ترین در فصل زمستان (۰/۵ درصد) انتظار می‌رود. از سوی دیگر کاهش رطوبت نسبی در فصل بهار به میزان ۱/۳ درصد پیش بینی می‌شود. در این راستا مطالعه Bab al-Hakmi و همکاران (۲۰۱۹) در وقایع خشکسالی‌های سال‌های آتی در حوزه آبخیز نکا نشان دادند، دوره‌های مرطوب و نرمال نسبت به دوره پایه کاهش و میانگین آورد سالانه رودخانه نکا بین ۱۵ تا ۴۳ درصد کاهش خواهد یافت. هم‌چنین تغییرات اقلیمی پیش‌بینی شده برای دوره ۲۰۳۵–۲۰۶۵ در نکا برای دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 افزایش دما نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد (Sushtari et al., 2017). افزایش درجه حرارت در دوره آینده سبب کاهش رطوبت جو خواهد شد که مدل‌های آینده نیز این مورد را پیش‌بینی نموده‌اند. بنابراین منطقه مورد مطالعه دچار تغییرات اقلیمی شدیدی خواهد شد و این تغییرات اقلیمی به‌صورت مستقیم بر بیلان آبی منطقه، افزایش نیاز آبی، کاهش رطوبت خاک، تراکم پوشش گیاهی، ظرفیت مراتع و محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد و با توجه به این‌که منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده آب موردنیاز بخش های مختلف در منطقه هستند، افت سطح ایستابی و کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی را نیز در پی دارد. ضمن این‌که چنین شرایطی به معنای کاهش فراوانی بارش، افزایش بارش‌های سیلابی، فرسایش خاک و منابع طبیعی است (Kamayabi & Abdi, 2019).



شکل ۷- روند رطوبت نسبی مدل‌های اقلیمی و همادی مدل‌ها (MME) تحت سناریوی SSP5

Figure 7- The trend of relative humidity of climate models and humidity models (MME) under the SSP5 scenario



شکل ۸- روند رطوبت نسبی مدل‌های اقلیمی و همادی مدل‌ها (MME) تحت سناریوی SSP2

Figure 8- The trend of relative humidity of climate models and humidity models (MME) under the SSP2 scenario

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهم پیش روی بشر قرن بیست یکم است، که به‌واسطه افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو کره زمین ایجاد می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد در خوش‌بینانه‌ترین حالت در دوره‌های آتی میزان گازهای گلخانه‌ای حتی با اعمال سیاست‌های کاهش گازها، افزایش خواهد یافت. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در مورد آثار تغییر اقلیم در منطقه آسیا به‌ویژه کشورهای مناطق خشک و نیمه خشک این قاره (از جمله ایران) تاکید نموده است. بررسی‌های ۲۵ ساله آمارهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک دشت ناز در منطقه نکا از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که میانگین رطوبت نسبی سالانه از سال ۱۹۹۹ روند کاهشی دارد که مطابق با روند بارشی منطقه است. هم‌چنین، نتایج اختلاف رطوبت نسبی ماهانه و سالانه شبیه‌سازی شده مدل‌های اقلیمی نشان می‌دهد که تمام مدل‌ها به جز دو مدل ACCESS-ESM1-5 و CanESM5 مقدار رطوبت نسبی را کم‌تر از دوره مشاهداتی برآورد کرده‌اند و از بین مدل‌های اقلیمی کم‌ترین خطا و پیش‌ترین همبستگی را دارند. بنابراین این دو مدل می‌توانند جهت پیش‌بینی تغییرات رطوبت در منطقه مورد استفاده قرار گیرند. در مورد پارامتر رطوبت نسبی در دوره آتی تحت سناریوی SSP2 تغییرات جزیی نسبت به داده‌های مشاهداتی مشاهده شد. این تغییرات در سناریوی SSP5 بیش‌تر بود. مدل ACCESS-ESM1-5 نسبت به مدل CanESM5 افزایش رطوبت نسبی بیش‌تری را در دوره آینده شبیه‌سازی نموده است. تغییرات رطوبت نسبی تحت SSP5 در فصل‌های مختلف نشان داد که بیش‌ترین افزایش رطوبت نسبی در فصل پاییز و کم‌ترین در فصل زمستان انتظار می‌رود. از سوی دیگر، تغییرات رطوبت نسبی اثر قابل توجهی بر تبخیر و تعرق، مدت بارش، رخداد سیل، شاخص آسایش گردش‌گری و غیره در منطقه می‌تواند داشته باشد. از سوی دیگر، شهرستان نکا رتبه دوم تولید گندم و نیز منبع تامین آب شرب و کشاورزی در استان مازندران را دارد و داشتن برنامه برای مدیریت منابع آب و کشاورزی تحت شرایط تغییرات اقلیمی حوضه حائز اهمیت است. با توجه به اینکه طی سال‌های گذشته در اکثر نقاط کشور در زمینه‌های مختلف آب و کشاورزی وضعیت بحرانی بوده است، آثار منفی پدیده تغییر اقلیم می‌تواند شرایط را بحرانی‌تر نماید. بنابراین نتایج این تحقیق جهت پیش‌بینی شرایط رطوبتی هوا در دوره‌های آینده، این امکان را برای تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گزاران فراهم نماید که بتوانند با اطلاع از وضعیت آینده تصمیمات مدیریتی مناسبی در زمینه‌های مختلف اتخاذ نمایند. البته این امر نیازمند بررسی‌های بیش‌تر در زمینه ارتباط بارش با میزان رطوبت جو، بررسی تاثیر جریانات جوی بر میزان رطوبت، بررسی مقادیر حدی در دوره آینده، بررسی عدم قطعیت‌های مدل‌های اقلیمی است و برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره پ/۴۶۷۸۱ دانشگاه زنجان (کد طرح ۴۰۰۳) مورخ ۱۴۰۰/۹/۲ است.

مشارکت نویسندگان: فاطمه رجائی: بخش‌های مختلف مقاله توسط نام‌برده انجام و نگاشته شده است.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: بدین‌وسیله از دانشگاه زنجان بابت حمایت مالی در انجام تحقیق صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. باب‌الحکمی، علی، عمادی، علیرضا، و سفیدکوهی، محمدعلی (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر خشکسالی و پیش‌بینی رواناب حوضه رودخانه نکا در دوره‌های آتی. *اکوهیدرولوژی*، ۲(۷)،۲۹۱-۳۰۲.

۲. پژوه، فرشاد، و کوهی، صنم (۱۳۹۹). شناسایی و تحلیل الگوهای فشار تراز دریای روزهای بارش ابر سنگین بهاره استان گلستان. مدیریت بحران، ۱۹(۵)، ۵-۱۴.

۳. دهقانی، طیبه، تاسه، محمد، و علیجانی، بهلول (۱۳۹۶). تأثیر تغییر اقلیم بر توزیع رطوبت خرچنگ در سواحل شمالی خلیج فارس. *جغرافیای طبیعی*، ۳۹، ۳۳-۴۲.

۴. صادقی، سجاد (۱۳۹۹). تفکیک اثرات و تحلیل عدم قطعیت عوامل اقلیمی و انسانی بر خروجی رواناب حوضه آبریز در دوره تاریخی. رساله دکتری، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات.

۵. کامیابی، سعید، و کمیل، عبدی (۱۳۹۸). آشکارسازی و تحلیل روند تغییرات اقلیمی بارش و دما در منطقه ساری. *علوم و فنون محیطی*، ۲(۲۲)، ۱۶۷-۱۷۴.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

۶. کتیرایی، پری‌چهر، ارکیان، فروزان، و رضایی، رقیه (۱۳۹۰). روند تغییرات رطوبت خاص و نسبی در ایستگاه های سینوپتیک ایران طی دوره آماری ۱۳۵۵-۱۳۸۴. *تحقیقات علوم و فنون دریایی*، ۲، ۲۰-۲۸.

۷. کوثری، محمدرضا، اختصاصی، محمدرضا، تازه، مهدی، و صارمی نائینی، محمدعلی (۱۳۸۷). بررسی تغییرات بارش، دما و رطوبت نسبی در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک کشور. *پژوهش و سازندگی*، ۲۱، ۱۹۶-۲۰۷. https://www.magiran.com/paper/725155

۸. نوشادی، مسعود، و آهنی، حسین (۱۳۹۴). بررسی روند تغییرات میانگین رطوبت نسبی ماهانه، فصلی و سالانه ایران طی سال‌های ۱۳۳۹ تا ۱۳۸۴. *کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران*. https://www.sid.ir/paper/869543

References

1. Bagaci, C., Yocel, I., & Duzanli, E. (2021). Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey. *Atmospheric Research, 256*, 105576.
2. Bab al-Hakmi, A., Emadi, A., & Sefidkohi, M. (2018). Evaluating the impact of climate change on drought and predicting the runoff of the Neka river basin in the coming periods. *Ecohydrology*, 2(7), 291-302. [In Persian]
3. Brown, P. J., & DeGaetano, A. T. (2013). Trends in U.S. surface humidity, 1930 – 2010. *Journal of Applied Meteorology and Climatology, 52*, 147 – 163.
4. Chu, Q., Zongxuexu, Z., Peng, D., Yang, X., & Yang, G. (2015). Trends of surface humidity and temperature during 1951−2012 in Beijing China. *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources*, 368, 126–131.
5. Darand M., & Pazhoh, F. (2019). Synoptic analysis of sea level pressure patterns and Vertically Integrated Moisture Flux Convergence VIMFC during the occurrence of durable and pervasive rainfall in Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans, 86*, 10–17
6. Darand M., & Pazhoh, F. (2019). Vertically integrated moisture flux convergence over Iran. *Climate Dynamics.4*, 12-21.
7. Darand, M., Pazhooh, F., & Saligheh, M. (2019). Trend analysis of tropospheric specific humidity over Iran during 1979–2016. *International Journal of Climatology, 39*(10), 4058-4071.
8. Dehghani, T., Tase, M., & Alijani, B. (2016). The effect of climate change on the moisture distribution of lobsters in the northern coasts of the Persian Gulf. *Natural Geography*, 39, 33-42. [In Persian]
9. Farhat, N. (2018) Effect of relative humidity on evaporation rates in Nabatieh region. *Lebanese Science Journal, 19*(1), 59.
10. Fatichi, S., Ivanov, V. Y., Paschalis, A., Peleg, N., Molnar, P., Rimkus, S., & Caporali, E. (2016). Uncertainty partition challenges the predictability of vital details of climate change. *Earth's Future, 4*(5), 240-251.
11. Fenech, A. D. A. M., Comer, N., & Gough, B. (2002). Selecting a global climate model for understanding future projections of climate change. *Linking Climate Models to Policy and Decision-Making; UPEI Climate Lab, Prince Edward Island: Toronto, ON, Canada*, 133-145.
12. Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S. C., & Collins, W. (2013). Reason and M. Rummukainen, 2013: Evaluation of Climate Models. In: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
13. Gonzáleza, Y., GarcíaaMatías, C., González, M., & Carmelo, H. (2022). Benefit transfer of climate change adaptation policies in island tourist destinations. *Tourism Management, 90*, 104471.
14. Hamed, M., Nashwan, M., & Shahid, S. (2022). Inconsistency in historical simulations and future projections of temperature and rainfall: A comparison of CMIP5 and CMIP6 models over Southeast. *Asia Atmospheric Research*, 265, 105927.
15. Iwasaki, H. (2015). Recent variations in surface specific humidity in the warm season over Japan. *Theoretical and Applied Climatology, 123*, 845-858.
16. Joorabian Shooshtar, Sh., Shayesteh, K., & Gholamalifard, M. (2017). Impacts of future land cover and climate change on the water balance in northern Iran. *Hydrological Sciences Journal, 62*, 2655-2673.
17. Kamyabi, S., & Abdi., K. (2018). Detecting and analyzing the trend of climatic changes of precipitation and temperature in Sari region. *Environmental Science and Technology*, 2 (22), 167-174. [In Persian]
18. Katiraei, P., Erkian, F., & Rezaei, R. (2010). The trend of specific and relative humidity changes in the synoptic stations of Iran during the statistical period of 1384-1355. *Marine Science and Technology Research*, 2, 20-28. [In Persian]
19. Karpouzos, D. K., Kavalieratou, S., & Babajimopoulos, C. (2020). Nonparametric trend analysis of precipitation data in Pieria Region (Greece). *European Water, 30*, 31-40.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]

20. Kottayil, A., & Satheesan, K. (2015). Enhancement in the upper tropospheric humidity associated with aerosol loading over tropical Pacific. *Atmospheric Environment, 122*, 148-153.
21. Krichak, S. O., Barkan, J., Breitgand, J. S., Gualdi, S., & Feldstein, S. B. (2015). The role of the export of tropical moisture into midlatitudes for extreme precipitation events in the Mediterranean region. *Theoretical and Applied Climatology, 121*, 499–515.
22. Kosari, M., Ekhtesasi, M., Taze, M., Saremi Naini M. (2007). Investigation of changes in precipitation, temperature and relative humidity in 26 synoptic stations of the country. *Pajohesh & Sazandegi*, 21, 196-207. [In Persian]
23. Liu, Y., Zha, L., & Gui, T. (2022). Evaluation of multidimensional simulations of summer air temperature in China from CMIP5 to CMIP6 by the BCC models: From trends to modes. *Advances in Climate Change Research, 13*, 28-41.
24. Maryanaji, Z., Marofi, S., & Abasi, H. (2008). Detection rate variation and its relationship with meteorological parameters in the field of Hamadan by using Mann-Kendall nonparametric test. *The Third Conference of Iran Water Resources Management.*
25. Noshadi, M., & Ahani, H. (2014). Investigating the trend of changes in the average monthly, seasonal and annual relative humidity of Iran during the years 1339 to 1384. *National Congress of Irrigation and Drainage of Iran*. https://www.sid.ir/paper/869543. [In Persian]
26. Pejoh, F., & Kohi, S. (2019). Identification and analysis of sea level pressure patterns during heavy cloud rain days in Golestan province. *Crisis Management*, 19(5), 5-14. [In Persian]
27. Paltridge, G., Arking, A., & Pook, M. (2009). Trends in middle- and upper-level tropospheric humidity from NCEP reanalysis data. *Theoretical and Applied Climatology, 98*, 351 – 359.
28. Scott, D., Hall, M., & Gössling, S. (2019). Global tourism vulnerability to climate change .*Annals of Tourism Research, 77*, 49–61
29. Seidel, T. M., Grant, A. N., Pszenny, A. A. P., & Allman, D. J. (2007). Dewpoint and humidity measurements and trends at the summit of Mount Washington, New Hampshire, 1935–2004. *Journal of Climate, 20*, 5629 – 5641.
30. Smith R. K. (2020). Chang Utilizing recent climate data in Eastern Texas to calculate trends in measures of aridity and estimate changes in watering demand for landscape preservation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 59,143-152.
31. Swart, N. C., Cole, J. N., Kharin, V. V., Lazare, M., & Scinocca, J. F. (2019). The Canadian Earth system model version 5 (CanESM5. 0.3). *Geoscience Model Development. (GMD), 12*(11), 4823–4873.
32. Tabari1, H., Sabziparvar, A. A., & Marofi, S. (2009). Investigating trends of annual meteorological parameters in cold and warm climates of Iran. *Agricultural Research Water, Soil, Plant, 8*(1), 161-174.
33. Sadeghi, S. (2019). Separation of the effects and uncertainty analysis of climatic and human factors on the runoff output of the watershed in the historical period. PhD Thesis, Azad University, Research Sciences Unit. [In Persian]
34. Trenberth, K. E., Fasullo, J., & Smith, L. (2005), Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate dynamics, 24*, 741-758.
35. Wei, Q., Xu, J., Liao, L., Yu, Y., Liu, W., Zhou, J., & Ding, Y. (2021). Indicators for evaluating trends of air humidification in arid regions under circumstance of climate change: Relative humidity (RH) vs. Actual water vapour pressure (ea). *Ecological Indicators, 121*, 107043.
36. Xin, X., Wu, T., Jie, W., & Zhang, J. (2021). Impact of higher resolution on precipitation over China in CMIP6 MIP models. *Atmosphere, 12*, 762-777.
37. Yu, Z., & Saini, Y. (2020). Evaluation of CMIP6 for historical temperature and precipitation over the Tibetan Plateau and its comparison with CMIP5. *Advances in Climate Change Research, 11*, 239-251.
38. Zebaze, S., Lenouo, A., Tchawoua, C., Gaye, A. T., & Kamga, F. M. (2017). Interaction between moisture transport and Kelvin waves events over Equatorial Africa through ERA-interim. *Atmospheric Science Letters, 18*(7), 300-306.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-27]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.2.5.3]