Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Modeling and predicting the trend of temperature changes in Hamedan County

Zohreh Maryanaji ✉ [1] | **Fatemeh Sotoudeh** [2] | **Meysam Toulabi Nejad** [3] | **Ziba Zarrin** [4]

1.Corresponding author, Associate Professor of climatology, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University, Asadabad, Iran.
E-mail: maryanaji@sjau.ac.ir
2. Ph.D. in climatology, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
E-mail: fsotoudeh@ymail.com
3. Ph.D. in climatology, Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
E-mail: Meysam.toulabi@gmail.com
4. Master of science in remote sensing engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
E-mail: zz.zarrin@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2023/01/07
Received in revised
2023/01/20
Accepted
2023/02/04
Published
2023/02/05
Published online
2025/05/21

Keywords:
Downscaling,
Lars Model,
Trends,
extremes Temperatures,
Hamedan.

ABSTRACT

Understanding and predicting future climatic conditions and characteristics is crucial due to their implications for various aspects of life. This research aims to forecast trends in extreme temperatures in the Hamedan region by employing statistical downscaling of general circulation model data. The LARS statistical downscaling model has been utilized to downscale data from the HadGEM2-ES general circulation model and the coupled CMIP5 model under three emission scenarios (RCP2.5, RCP4.5, RCP8.5). Correlation estimates between the simulated and observed data indicate values exceeding 0.95 for all months. Additionally, the p-values derived from statistical tests based on the model outputs demonstrate an acceptable level of performance in data generation and simulation. Consequently, data from 2011 to 2050 were extracted and analyzed for trends. To elucidate changes in trends, the data were examined across three distinct time intervals. The results indicate that in the optimistic scenario (RCP2.5), no significant trend is observed in the average and minimum temperatures. In contrast, significant trends in temperature data are evident under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, suggesting that the increase in average minimum temperatures reflects severe climatic changes, particularly affecting precipitation patterns during the cold season. Furthermore, the analysis of the trend data reveals a significant increase in average maximum temperatures on both annual and monthly scales across all three examined scenarios, indicating an imminent environmental crisis.

Cite this article: Maryanaji, Zohreh; Sotoudeh, Fatemeh; Toulabi Nejad, Meysam & Zarrin, Ziba. (2025**).** Modeling and predicting the trend of temperature changes in Hamedan County. Journal of *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (77), 152-173. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.17

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University.
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.17

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Climate change represents a paramount global challenge confronting humanity in the contemporary era. The climate is undergoing significant transformations due to a multitude of factors. This phenomenon has emerged as a critical issue, attracting the attention of researchers and managers within the meteorological, agricultural, and resource sectors across various nations. Between the years 1950 and 1993, the rate of increase in minimum temperatures was approximately double that of maximum temperatures (Folland, 2001). According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report, the Earth's temperature has risen by 0.74°C over the past century, attributed to changes in greenhouse gas concentrations since the onset of the industrial era (Chemura et al, 2011). The findings of this panel suggest that if the current fossil fuel consumption trends persist, the concentration of carbon dioxide, a prominent greenhouse gas, could escalate from 280 parts per million in 1750 and 379 parts per million in 2005 to over 600 parts per million by the conclusion of the 21st century.

Material and Methods

The application of climate modeling across periodic scales and beyond encounters challenges associated with computational and temporal limitations, particularly concerning the spatial resolution of models at these time scales. To mitigate the issue of low spatial resolution in general circulation models, two methodologies are employed: statistical downscaling and the implementation of regional dynamic models. In this study, two categories of data were utilized. The first category comprised daily minimum and maximum temperature data covering a statistical period from 2000 to 2019 (20 years), sourced from the Meteorological Organization. The second category included data derived from the HadGEM2-ES general circulation model and the coupled CMIP5 model, analyzed under three emission scenarios (RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5). The LARS-WG model serves as a statistical downscaling technique. The performance of the LARS model in simulating meteorological variables is deemed suitable, facilitating both the reconstruction of historical station data and the extension of these data into the future. To investigate and affirm the presence of temperature change trends, the Mann-Kendall statistical method was employed. This test is appropriate for identifying and analyzing climate changes evident in time series data (Goossens and Berger, 1986).

Results and Discussion

The estimated correlation between the simulated and observed data yields values exceeding 0.95 for all months, thereby substantiating the model's efficacy in simulating and forecasting temperature data. Furthermore, the p-values derived from the statistical tests associated with the model outputs indicate that the model performs satisfactorily in generating and simulating temperature data. In the context of the RCP2.6 scenario, the findings suggest that no significant trend was established in the average monthly and annual minimum temperatures.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Under the RCP4.5 scenario, the results indicate a significant decreasing trend in November and December, as well as in the annual minimum temperature, at a 95% confidence level. However, the Mann-Kendall statistic does not reveal any significant trend changes in the monthly and annual maximum temperatures within the RCP4.5 scenario. In relation to the RCP8.5 scenario, the Tau statistic indicates no significant trends in average minimum temperature on both annual and monthly scales. Conversely, a significant decreasing trend is observed in the average maximum temperature for May, while a significant increasing trend is noted for July; no significant trends were established for other months or on an annual basis.

Under the RCP2.6 scenario, with the exception of May, which demonstrates a significant decreasing trend, no significant trends were identified in the average minimum temperature for the remaining months or on an annual basis. In terms of average maximum temperature, significant decreasing trends are evident in May and November, while a significant increasing trend is observed in March; however, no significant trend changes were confirmed for other months or on an annual scale. The most pronounced temperature increase during the summer season at the Hamedan station is associated with the RCP8.5 emission pathway, which is projected to experience a rise of 2.3 degrees Celsius compared to observational data.

Conclusion

The study area is situated in the central-western region of the country and is classified as one of the colder regions due to its elevation above sea level. The phenomenon of extreme temperatures is a common climatic characteristic of this area. The results from the comparison of three time periods indicated that, in the short term, trends in temperature changes are not particularly evident; however, over the long term, variations in trends become distinctly apparent on a monthly, seasonal, and annual scale. In the first two periods analyzed, based on the three scenarios examined, the average minimum temperature in Hamedan is projected to exhibit significant trends by 2050, both annually and monthly. Overall, it can be inferred that only under an optimistic scenario can we expect a significant decreasing trend in temperature during the spring months (May and June). Conversely, in the medium and pessimistic scenarios, the trend in minimum temperature during these same months is expected to be increasing. Thus, the rise in average minimum temperatures indicates severe climatic changes that could lead to catastrophic environmental issues. Furthermore, the significant increase in average maximum temperatures, observed annually and monthly across all three scenarios, signals an impending crisis. The concurrent rise in minimum and maximum temperatures suggests that we should anticipate a substantial increase in overall temperatures, which will impact other climatic elements.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

مدل‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات دما در شهرستان همدان

زهره مریانجی ✉ [۱]، فاطمه ستوده [۲]، میثم طولابی نژاد [۳]، زیبا زرین [۴]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، همدان، ایران.
رایانامه: maryanaji@sjau.ac.ir

۲. دانش آموخته دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
رایانامه: fsotoudeh@ymail.com

۳. دانش آموخته دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
رایانامه: meysam.toulabi@gmail.com

۴.دانش آموخته کارشناس ارشد، گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران. رایانامه: zz.zarrin@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۱۱/۱۵

تاریخ انتشار:
۱۴۰۱/۱۱/۱۶

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ریزمقیاس نمایی،
مدل لارس،
روند،
دماهای حدی،
همدان

چکیده

شناخت و پیش‌بینی شرایط و ویژگی‌های اقلیمی در آینده به دلیل اهمیت آن‌ها در تمام جنبه‌های زندگی امری ضروری است. این تحقیق سعی دارد روند تغییرات دماهای حدی را در منطقه همدان با استفاده از ریزمقیاس کردن داده‌های گردش عمومی جو پیش‌بینی و تغییرات آن را بررسی کند. جهت ریزمقیاس کردن داده‌های مدل گردش عمومی جو (HadGEM2-ES) و مدل جفت شده (CMIP5) و تحت سه سناریوی انتشار (RCP2.5, RCP4.5, RCP8.5) از مدل ریزمقیاس نمایی لارس استفاده شده است. برآورد همبستگی داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی، مقادیر بیش از ۰/۹۵ را برای تمامی ماه‌ها نشان می‌دهد. همچنین P_value آزمون‌های آماری حاصل از خروجی مدل، مقادیر قابل‌پذیرش در عملکرد مدل را در تولید و شبیه‌سازی نشان داد. در نتیجه داده‌ها از ۲۰۱۱ تا ۲۰۵۰ استخراج و موردبررسی روند قرار گرفت. جهت آشکارسازی تغییرات روند، داده‌ها در سه بازه زمانی موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد در سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.5) روند محسوسی در میانگین و حداقل دما دیده نمی‌شود حال آنکه در سناریوی (RCP4.5) و RCP8.5 روندهای معناداری در داده‌های دما مشاهده می‌شود و بر این اساس افزایش میانگین دمای حداقل، گویای تغییرات آب‌وهوایی شدیدی است که خصوصاً در فصل سرد باعث تغییر نوع بارش می‌گردد. همچنین بر اساس بررسی روند داده‌ها افزایش معنی‌دار میانگین حداکثر دما در مقیاس سالانه و ماهانه در هر سه سناریوی موردبررسی، نشان‌دهنده بحران زیست‌محیطی پیش رو خواهد بود.

استناد: مریانجی، زهره؛ ستوده، فاطمه؛ طولابی نژاد، میثم؛ زرین، زیبا (۱۴۰۴). مدل‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات دما در شهرستان همدان. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۷)، ۱۷۳-۱۵۲. http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.17

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

مقدمه

بزرگ‌ترین چالش جهانی که بشر در عصر کنونی با آن مواجه است شرایط اقلیمی است که به دلایل بسیاری در حال دگرگونی است. در سال‌های اخیر شاهد بحران‌های زیست‌محیطی و اقلیمی بسیاری در سراسر جهان هستیم که منشأ آن دخالت بشر در ساختار زیست‌محیطی و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه افزایش میانگین دمای کره زمین است. افزایش میانگین دمای کره زمین اگرچه به میزان کم، اما می‌تواند بر تمام عناصر اقلیمی دیگر تأثیر بگذارد.

تغییر اقلیم یکی از موضوعات مهمی است که امروزه موردتوجه محققین و مدیران بخش‌های هواشناسی، کشاورزی و منابع کشورهای مختلف قرارگرفته است. این پدیده به دلیل دینامیک پیچیده و استمرار زمانی آن، نه‌تنها در حال حاضر بلکه در آینده نیز همچنان موردتوجه بیشتر قرار خواهد داشت. بر اساس بررسی‌های انجام شده میانگین عمومی دمای سطح زمین طی قرن نوزدهم به میزان ۰/۲ ± ۰/۶ سانتی‌گراد افزایش یافته است (بن-گای، ۱۹۹۹). از سال ۱۹۴۶ الی ۱۹۷۵، در نیمکره شمالی هوا سردتر شده، این در حالی است که در نیمکره جنوبی دمای هوا افزایش یافته است. بررسی‌های وسیعی انجام شده که بیانگر آن است که دماهای متوسط حداکثر و حداقل هوای سطح خاک، با یک کاهش در دامنه تغییرات روزانه در بسیاری از قسمت‌های جهان توأم می‌باشد. طی سال‌های ۱۹۵۰ الی ۱۹۹۳، میزان افزایش دمای حداقل تقریباً دو برابر افزایش دمای حداکثر بوده است (فولاند، ۲۰۰۱). بررسی میزان تأثیر گرمایش جهانی بر شهر کلمبیا، میسوری، ایالات‌متحده با استفاده از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس نمایی دمای حداکثر روزانه بر اساس سناریوی SRA1B در سه دوره انتخاب شده (۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) نشان می‌دهد که داده‌های سالانه و ماهانه برای همه دوره‌ها در مقایسه با دوره پایه ۱۹۸۰-۱۹۹۹ افزایش داشته است (زبیدی و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، از اوایل دوران صنعتی و به دلیل تغییر میزان گازهای گلخانه‌ای، دمای کره زمین در صد سال اخیر به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (چمورا و همکاران،۲۰۱۱). گزارشهای این هیئت نشان می‌دهد در صورت ادامه روند مصرف سوختهای فسیلی، غلظت گاز گلخانه‌ای دی اکسیدکربن از ۲۸۰ در سال ۱۷۵۰ و ۳۷۹ در سال ۲۰۰۵ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ قسمت در میلیون تا پایان قرن ۲۱ برسد. در حالی که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، متوسط افزایش دمای سطحی کره زمین تا سال ۲۱۰۰ می‌تواند به ۱/۱ تا ۶/۸ درجه سانتی‌گراد رسیده و باعث پدیده تغییر اقلیم به ویژه در نیمکره شمالی شود (آرنل و همکاران،۱۹۹۶) و (دیوداتو، ۲۰۰۴) (سردا و همکاران، ۲۰۱۱). به این صورتکه فصل تابستان در مناطق خشک و نیمه خشک، خشک تر و گرمتر شده و حجم آب و شدت جریان رواناب سطحی کاهش می یابد (بوویج، ۲۰۰۵).

هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم با ارائه گزارش ویژه‌ای در مورد مدل‌های مختلف آب‌وهوایی، عدم قطعیت تأثیرگذار این مدل‌ها بر مطالعات اقلیمی، نقش مدل‌های AOGCM را مهم دانسته است (اسلامیان و همکاران،۲۰۱۱). فرایند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما از مهم‌ترین بحث‌های مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. بسیاری از معضلات عصر ما ازجمله: سیل، طوفان، خشک‌سالی، تغییر در الگوهای جوی و مسائلی از این قبیل، ریشه در تغییر اقلیم کره زمین مخصوصاً افزایش دما دارد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۸).

در سنوات اخیر مطالعات زیادی در خصوص تغییرات دما و همچنین مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌های اقلیمی با استفاده از مدل لارس صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیقات گودرزی و همکاران (۲۰۱۵)، به ارزیابی عملکرد روش کوچک مقیاس کردن مکانی تناسبی و روش کوچک کردن زمانی در رودخانه اعظم، واقع در استان یزد پرداختند، نتایج نشان داد اختلاف افزایش دما حاصل از هر دو روش در حوزه آبخیز رودخانه اعظم در آینده حدود ۳ تا ۸ درصد است. باروس و همکاران (۲۰۱۵)، به بررسی تغییر روند دما در آرژانتین و برای بازه زمانی ۱۹۰۰-۲۱۰۰ پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که تا آخر قرن افزایش دما برای این منطقه در حدود ۳/۵ درجه سلسیوس می‌باشد ساعی محمدی و همکاران (۲۰۱۷) برای تمام ایران از مدل‌های HadcM3 و SDSM با سناریوی A2 استفاده کرده‌اند. بر اساس نتایج آن‌ها در طول

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

بازه موردمطالعه دما افزایش و بارندگی کاهش خواهد داشت. هاشمی و همکاران (۲۰۱۱)، محمد و همکاران(۲۰۲۲)، کاوینج و همکاران (۲۰۲۲)، برزو و همکاران (۲۰۲۲)، مونور و همکاران(۲۰۲۲) و لطفی و همکاران (۲۰۲۲) اشاره نمود.

در ایران نیز خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱) برای تولید داده‌های دما و بارش ایستگاه سنندج از مدل لارس استفاده نمودند؛ و دریافتند که دما در آینده رشد بین ۱ تا ۱/۵ درجه خواهد داشت. عباس نیا و همکاران (۱۳۹۵)، تغییرات دمای بیشینه مدل CGCM3 را تحت سناریوهای A1B،B2،A2 را با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM برای دو دوره آینده در ایران شبیه‌سازی نموده و افزایش ۳ و ۳/۵ درجه سانتی‌گراد میانگین دمای بیشینه را گزارش کردند که برای سناریو A2 این تغییرات بیشتر از سایر سناریوها است. پناهی وهمکاران(۱۳۹۹) بر این اساس پناهی و همکاران در تحقیقی به ارزیابی مدلLARS-WG و بررسی میزان خطای داده‌های واسنجی شبیه‌سازی با استفاده از معیار عملکرد MSE، RMSE و MAE و نیز ضریب تعیین و همبستگی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به پیش‌بینی پارامترهای دمای حداکثر و حداقل هست اما در شبیه‌سازی بارش نسبت به سایر متغیرهای موردنظر دقت کمتری را نشان می‌دهد. عساکره و همکاران(۱۴۰۱) به شبیه‌سازی تغییرات دما در نیمه غربی ایران طی دوره (۱۹۶۰-۲۱۰۰) با استفاده از مدل‌های واکاوی شده و خروجی مدل‌های RCP ۸/۵ پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تمامی مدل‌ها، روند مثبت معنی‌دار در بهار، تابستان و پاییز مشاهده و تنها در فصل زمستان روند مثبت معنی‌دار در نتایج مدل ERA-Interim دیده شد. مدل‌های CMIP5 برای دوره (۲۰۵۰-۲۱۰۰) مقادیری بین ۲ تا ۴ درجه سلسیوس در صد سال را برای فصول مختلف به همراه داشته که نسبت به نتایج دیگر مدل‌ها برای دوره ۱۹۷۹-۲۰۱۰ کمتر می‌باشد. مدل‌های CMIP5 و میانگین آن‌ها افزایش دمای سالانه را در کل منطقه موردمطالعه تأیید کرده و مقدار ۷ درجه سلسیوس در صد سال را برای نیمه دوم قرن ۲۱ نشان می‌دهند. حجازی زاده و همکاران(۱۴۰۲)، به بررسی دما و بارش در استان کردستان با استفاده از مدل جهانی HadGEM2 تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 و ریزمقیاس گردانی آماری LARS-WG6 پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های فرین گرم دارای روندی مثبت و افزایشی هستند. این روند برای شاخص تعداد روزهای تابستانی و بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه، معنادار است .این در حالی است که شاخص‌های فرین سرد دارای روند کاهشی و منفی بوده است. این روند فقط برای شاخص تعداد روزهای سرد معنادار بود. بارش‌های فرین نیز در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند منفی و کاهشی است و این روند در اکثر ایستگاه‌ها معنادار است. نتایج حاصل از چشم‌انداز تغییرات اقلیمی نیز نشان داد در دوره آینده میزان دما افزایش و میزان بارش کاهش خواهد یافت. همچنین شرقی و همکاران(۱۳۹۶)؛ زارعی و همکاران (۱۳۹۷)؛ کاظم زاده و همکاران(۱۳۹۸)، نیز در این باره به تحقیق پرداخته‌اند.

در این مطالعه با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو و بر اساس سه سناریو انتشار (RCP2.6, RCP4.5 RCP8.5) در مدل لارس اقدام به پیش‌بینی داده‌های حدی دما در مقیاس سالانه و فصلی شده که به بررسی معنادار بودن روند آن در ایستگاه همدان پرداخته شده است؛ بنابراین هدف از این تحقیق مدل‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات دماهای حدی در شهر همدان می‌باشد.

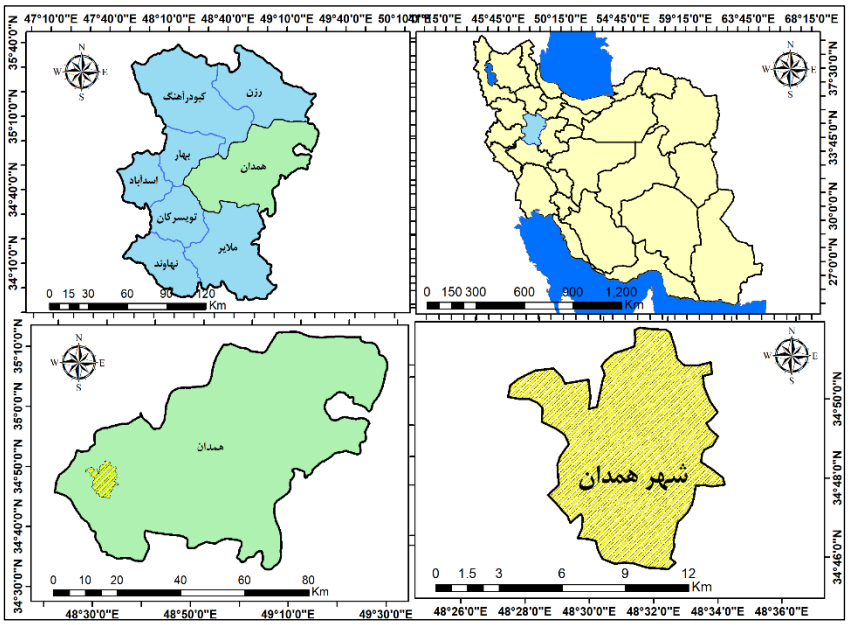
روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

همدان یکی از نواحی کوهستانی در غرب کشور می‌باشد که در حدفاصل عرض جغرافیایی ′۳۳°۳۳ تا ′۳۵°۳۸ شمالی و ′۴۷°۴۵ تا ′۴۹°۳۶ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرارگرفته، مساحت آن در حدود ۱۹۵۴۵/۸۲ کیلومترمربع است. منطقه موردمطالعه ایستگاه همدان است. در همین رابطه از آمار ایستگاه فرودگاه همدان استفاده شده است. به‌منظور

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

آشکارسازی تغییرات دماهای حدی، روند و تحلیل آن، از داده‌های مشاهداتی در ایستگاه فرودگاه همدان (۲۰۱۹-۲۰۰۰) استفاده گردید. شکل (۱).



شکل (۱). موقعیت منطقه موردمطالعه

داده و روش کار

استفاده از مدل‌سازی‌های اقلیمی در مقیاس دوره‌ای و بالاتر به دلیل محدودیت‌های محاسباتی و زمانی، با مشکلاتی روبه‌رو است، به‌طوری‌که در این مقیاس زمانی، محدودیت‌هایی برای تفکیک مکانی مدل‌ها وجود دارد. در حال حاضر قدرت تفکیک برای مدل‌های گردش عمومی جو در حد چند صد کیلومتر است. مدل شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرد، درحالی‌که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده موردبحث کاملاً متفاوت باشد. برای حل مشکل تفکیک فضایی کم مدل‌های گردش عمومی، دو روش وجود دارد که عبارت‌اند از: ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل‌های آماری و کاربرد مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای. استفاده از مدل‌های دینامیکی برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل گردش عمومی جو با محدودیت زمانی مدل روبه‌رو است؛ اما در روش آماری می‌توان برای یک سایت مشخص ریزمقیاس نمایی آماری را انجام داد. از جمله مدل‌هایی که در روش‌های آماری استفاده می‌شوند می‌توان به (CLIGEN,GEM,LARS-WG,SDSM) اشاره کرد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

در این پژوهش دو دسته داده استفاده شد. دسته اول داده‌های حداقل و حداکثر دمای روزانه طی دوره آماری ۲۰۱۹-۲۰۰۰ (۲۰ سال) که از سازمان هواشناسی دریافت شد. نوع دیگر داده‌ها، داده‌های مدل گردش عمومی جو (HadGEM2-ES[1]) و مدل جفت شده CMIP5[2] و تحت سه سناریوی انتشار (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) است.

ریزمقیاس نمایی

تکنیک ریزمقیاس نمایی به دو نوع اصلی گروه‌بندی می‌شوند: آماری و دینامیکی. همچنین تکنیک‌های ریزمقیاس نمایی بر اساس چندین مدل گردش عمومی جو (GCM) و سناریوهای هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) انجام می‌شود (Daniels et al, 2012). مدل LARS-WG یک تکنیک ریزمقیاس نمایی آماری است. در این پژوهش از نسخه LARS-WG6 استفاده

1 - Hadley Global Environment Model 2 - Earth System
2 - Climate Model Intercomparison Project

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

شده است. فرآیند شبیه‌سازی آب‌وهوایی در مولد آب‌وهوایی LARS-WG طی سه مرحله انجام می‌شود که شامل واسنجی، ارزیابی و شبیه‌سازی داده‌های آب‌وهوایی آینده است. در مرحله واسنجی از داده‌های میانگین، حداقل و حداکثر دمای روزانه ایستگاه همدان در دوره پایه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ استفاده شده است. در مرحله ارزیابی عملکرد LARSWG6 در تولید داده‌های آب‌وهوایی همدان، پس از تولید، همبستگی بین داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهداتی دقت مدل را در پیش‌بینی تأیید نمود. همچنین آماره کولموگروف-اسمیرنوف، آماره t-test و ریشه میانگین مجذور خطاها[3] (RMSE) نیز گویای توانمندی مولد LARS-WG در تولید و پیش‌بینی داده‌های دمای حداقل و حداکثر است.

به‌طورکلی عملکرد مدل لارس در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی مناسب است و می‌توان از آن جهت بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره گذشته و یا تطویل این داده‌ها به دوره آینده بهره جست. همچنین می‌توان از آن در جهت ارزیابی اقلیم آینده در مقیاس محلی استفاده نمود (مشکواتی و همکاران،۱۳۸۹).

برای بررسی و اثبات وجود روند تغییرات دمایی از روش آماری من- کندال استفاده شد. آزمون من- کندال در سال ۱۹۴۵ توسط مان[4] ارائه شد و در سال ۱۹۷۵ توسط کندال[5] توسعه یافت (سرانو و همکاران، ۱۹۹۹۹). این آزمون، برای شناسایی و تحلیل تغییرات آب‌وهوایی موجود در سری‌های زمانی، مناسب است (گوسین و برگر، ۱۹۸۶) که توسط آن می‌توان تغییرات اقلیمی ناگهانی را شناسایی کرد (اسنایر، ۱۹۷۵). آماره کندال به طریق روابط (۱ تا ۳) قابل‌محاسبه است:

رابطه (۱)
$$\tau = \frac{4P}{n(n-1)}$$

τ برابر با آماره کندال، n تعداد کل سال‌های آماری مورداستفاده می‌باشد و P از رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه (۲)
$$P = \sum_{i=1}^{n} n_i$$

n_i تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از هر داده (x_i) است که بعد از آن قرار می‌گیرد. آزمون معنی‌داری آماره τ:

رابطه (۳)
$$(\tau)_t = \pm tg\sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}}$$

مقدار τ روند در داده‌ها را نشان می‌دهد. در صورت عدم وجود روند در سری زمانی، مقدار τ بین محدوده ± 1.96 در سطح ۹۵ درصد اطمینان قرار دارد (میرزا و همکاران، ۱۹۹۸). فرض صفر در این آزمون مبنی بر عدم وجود روند معنی‌دار است؛ بنابراین، اگر مقدار تاو کندال $-(\tau)_t > \tau > +(\tau)_t$ باشد در سطح ۹۵ درصد اطمینان فرض صفر موردپذیرش قرار می‌گیرد و اگر مقدار تاو $\tau < -(\tau)_t$ و یا $\tau > +(\tau)_t$ باشد، در سطح ۹۵ درصد اطمینان فرض تحقیق (H_0)، مبنی بر معنی‌داری روند (منفی یا مثبت) با خطای ۰/۰۵ پذیرفته خواهد شد.

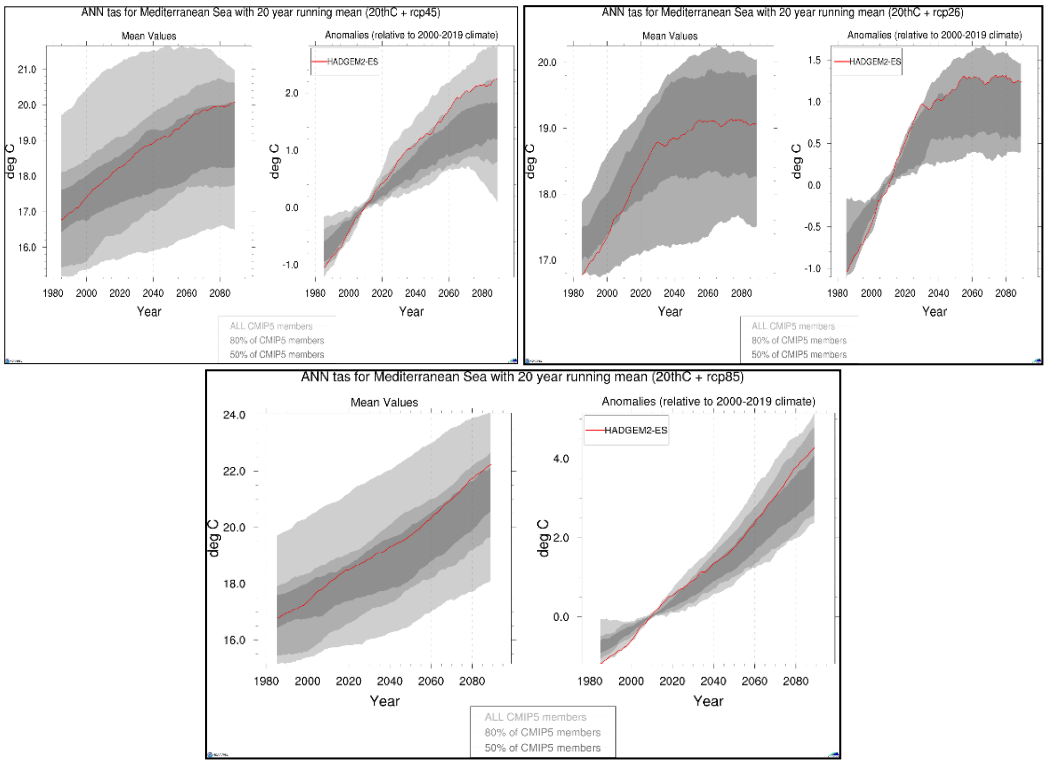
نتایج و بحث

شکل (۲) روند صعودی دمای هوای کره زمین را با استفاده از مدل HadGEM2-ES نشان می‌دهد. با توجه به این مدل، روند دما در سه سناریو انتشار (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) افزایشی است که تأییدی بر وقوع تغییر اقلیم در کره زمین می‌باشد.

3 -Root Mean Square Error
4 - Mann
5 -Kendall

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

نتایج حاصل از این مدل نشان می‌دهد که میانگین سالانه دمای کره زمین از ۱۷ درجه سانتی‌گراد به ۱۹ درجه در سناریوی اول، در سناریوی دوم به ۲۰ و در سناریوی سوم به بیش از ۲۲ درجه خواهد رسید.



شکل (۲). روند دمای هوای کره زمین با استفاده از مدل جفت شده HadGEM2-ES

برای پیش‌بینی دمای هوای همدان از داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک همدان برای دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۹ (۲۰ سال) برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل LARS-WG استفاده شد. برآورد همبستگی داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی، مقادیر بیش از ۰/۹۵ را برای تمامی ماه‌ها نشان می‌دهد که تأییدی بر توانمندی مدل در شبیه‌سازی و پیش‌بینی داده‌های دما است. همچنین P_value آزمون‌های آماری حاصل از خروجی مدل، مقادیر قابل‌پذیرش در عملکرد مدل را در تولید و شبیه‌سازی نشان داد. در نتیجه داده‌ها از ۲۰۱۱ تا ۲۰۵۰ استخراج و موردبررسی روند قرار گرفت. جهت آشکارسازی تغییرات روند، داده‌ها در سه بازه زمانی دوره اول (۲۰۳۰- ۲۰۱۱)، دوره دوم (۲۰۵۰- ۲۰۳۱) و دوره سوم ۲۰۵۰-۲۰۱۱ موردبررسی قرار گرفت.

نتایج حاصل از سناریوی RCP2.5 نشان داد که در میانگین حداقل دمای ماهانه و سالانه روند معناداری اثبات نشد. روند میانگین حداکثر دمای ماهانه تنها در ماه نوامبر دارای کاهشی معنادار است و در سایر ماه‌ها و در مقیاس سالانه تغییرات روند معنی‌داری به دست نیامد. در سناریوی RCP4.5 نتایج حاکی از وقوع روند کاهشی معنی‌داری در ماه نوامبر و دسامبر و حداقل دمای سالانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد است؛ اما نتایج آماره من- کندال بر حداکثر دمای ماهانه و سالانه تحت سناریوی RCP4.5 تغییر روند معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. جدول (۱).

نتایج آماره تاو تحت سناریوی RCP8.5، در میانگین حداقل دما هیچ روند معنی‌داری را در مقیاس سالانه و ماهانه نشان نمی‌دهد. در میانگین حداکثر دمای ماه می‌روند کاهشی معنی‌دار و در ماه جولای روند افزایشی معنی‌دار دیده می‌شود، در سایر ماه‌ها و در مقیاس سالانه نیز روند معنی‌داری اثبات نشد. جدول (۱).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

جدول (۱). نتایج حاصل از آماره کندال بر روی حداقل و حداکثر دمای همدان (بازه زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱)

		RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
	ماه	آماره کندال	P_value	آماره کندال	P_value	آماره کندال	P_value
میانگین حداقل دما ماه	ژانویه	-0.213	0.193	-0.08	0.625	-0.042	0.795
	فوریه	0.09	0.581	0.053	0.745	0.143	0.38
	مارس	0.102	0.536	-0.189	0.254	-0.097	0.556
	آوریل	-0.221	0.181	-0.022	0.896	0.16	0.329
	می	-0.222	0.18	0.017	0.921	-0.076	0.647
	ژوئن	0.162	0.327	0.121	0.47	-0.275	0.096
	جولای	-0.125	0.452	-0.13	0.433	0.314	0.058
	آگوست	0.222	0.18	-0.098	0.556	0.247	0.134
	سپتامبر	0.038	0.82	-0.128	0.435	-0.065	0.695
	اکتبر	-0.005	0.974	-0.016	0.922	0.075	0.649
	نوامبر	-0.117	0.474	-.349*	0.034	-0.005	0.974
	دسامبر	-0.274	0.097	-.347*	0.034	-0.165	0.313
	سالانه	-0.163	0.337	-.330*	0.049	-0.05	0.767
میانگین حداکثر دما ماه	ژانویه	-0.187	0.255	0.005	0.974	0.021	0.897
	فوریه	-0.097	0.557	0	1	0	1
	مارس	-0.044	0.794	-0.246	0.134	0.278	0.09
	آوریل	0.19	0.253	-0.101	0.537	0.205	0.214
	می	-0.118	0.474	-0.226	0.171	-.391*	0.017
	ژوئن	-0.119	0.473	0.108	0.514	0.043	0.794
	جولای	0.048	0.77	-0.113	0.494	.355*	0.031
	آگوست	-0.228	0.17	-0.124	0.453	-0.152	0.36
	سپتامبر	0.032	0.845	-0.258	0.118	-0.188	0.254
	اکتبر	0.016	0.922	0.226	0.171	-0.022	0.896
	نوامبر	-.413*	0.013	-0.128	0.435	-0.258	0.117
	دسامبر	0.144	0.38	0.005	0.974	-0.193	0.241
	سالانه	-0.172	0.307	-0.168	0.322	-0.11	0.512
	علامت * در کنار اعداد، معنی‌داری را در سطح ۰/۰۵ درصد نشان می‌دهد.						
	علامت ** در کنار اعداد، معنی‌داری را در سطح ۰/۰۱ درصد نشان می‌دهد.						

جدول (۲) نتایج حاصل آماره من- کندال را در دوره دوم از ۲۰۳۱ تا ۲۰۵۰ نشان می‌دهد. در سناریوی RCP2.6 در میانگین حداقل دما به‌جز ماه می که روند کاهشی معنی‌دار است، در سایر ماه‌ها و در مقیاس سالانه روند معنی‌داری اثبات نشد. روندهای موجود در میانگین حداکثر نیز در این سناریو در مقیاس ماهانه و سالانه معنی‌دار نیستند. در سناریوی RCP4.5 نتایج حاکی از وقوع روند کاهشی معنی‌داری در حداقل دمای ماه سپتامبر در سطح اطمینان ۹۵ درصد است و در سایر ماه‌ها و در مقیاس سالانه تغییر معنی‌داری دیده نمی‌شود. در میانگین حداکثر دما تحت سناریوی RCP4.5 نیز به‌جز ماه مارس که روند معنی‌دار کاهشی داشته، در سایر ماه‌ها و در مقیاس سالانه تغییر روند معنی‌داری مشاهده نگردید.

نتایج آماره من- کندال در میانگین حداقل دما تحت سناریوی RCP8.5، تغییرات روند معنی‌داری را در مقیاس سالانه و ماهانه نشان نمی‌دهد. در میانگین حداکثر دمای ماه می و نوامبر تغییرات روند کاهشی معنی‌دار و در ماه مارس روند افزایشی معنی‌دار دیده می‌شود، در سایر ماه‌ها و در مقیاس سالانه نیز تغییرات روند معنی‌داری به اثبات نرسید.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

جدول (۲). نتایج حاصل از آماره کندال بر روی حداقل و حداکثر دمای همدان در دوره دوم (بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۱)

		RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
	ماه	آماره کندال	P_value	آماره کندال	P_value	آماره کندال	P_value
میانگین	ژانویه	0.058	0.721	-0.133	0.417	-0.106	0.516
	فوریه	0.228	0.162	-0.181	0.269	0.219	0.182
	مارس	-0.187	0.255	-0.171	0.297	-0.138	0.398
	آوریل	-0.162	0.327	-0.038	0.82	0.237	0.152
	می	-.374*	0.025	0.196	0.239	0.07	0.672
	ژوئن	-0.162	0.338	-0.032	0.845	-0.207	0.214
	جولای	-0.087	0.601	0.189	0.254	0.183	0.268
	آگوست	0.107	0.515	-0.076	0.648	0.207	0.214
	سپتامبر	-0.034	0.841	-.376*	0.022	-0.006	0.974
	اکتبر	0.085	0.603	0.005	0.974	0.069	0.672
	نوامبر	-0.043	0.794	0.065	0.696	-0.074	0.649
	دسامبر	-0.116	0.475	-0.123	0.454	-0.111	0.495
	سالانه	-0.072	0.669	-0.284	0.101	-0.087	0.615
میانگین حداکثر دما ماه	ژانویه	-0.074	0.649	-0.048	0.769	-0.106	0.516
	فوریه	0.229	0.162	0	1	0.048	0.77
	مارس	-0.269	0.103	-.332*	0.044	.336*	0.04
	آوریل	-0.054	0.744	0.038	0.819	0.037	0.82
	می	-0.087	0.601	0.161	0.328	-.406*	0.013
	ژوئن	0.195	0.24	-0.215	0.192	0.224	0.18
	جولای	0.032	0.845	0.044	0.793	0.253	0.125
	آگوست	0.071	0.671	-0.059	0.72	-0.316	0.055
	سپتامبر	-0.174	0.294	-0.238	0.151	-0.315	0.058
	اکتبر	-0.027	0.871	-0.054	0.744	0.091	0.58
	نوامبر	-0.187	0.255	0.146	0.378	-.450**	0.007
	دسامبر	0.08	0.626	0.146	0.378	-0.144	0.38
	سالانه	-0.15	0.375	-0.128	0.449	-0.221	0.189

علامت * در کنار اعداد، معنی‌داری را در سطح ۰/۰۵ درصد نشان می‌دهد.
علامت ** در کنار اعداد، معنی‌داری را در سطح ۰/۰۱ درصد نشان می‌دهد.

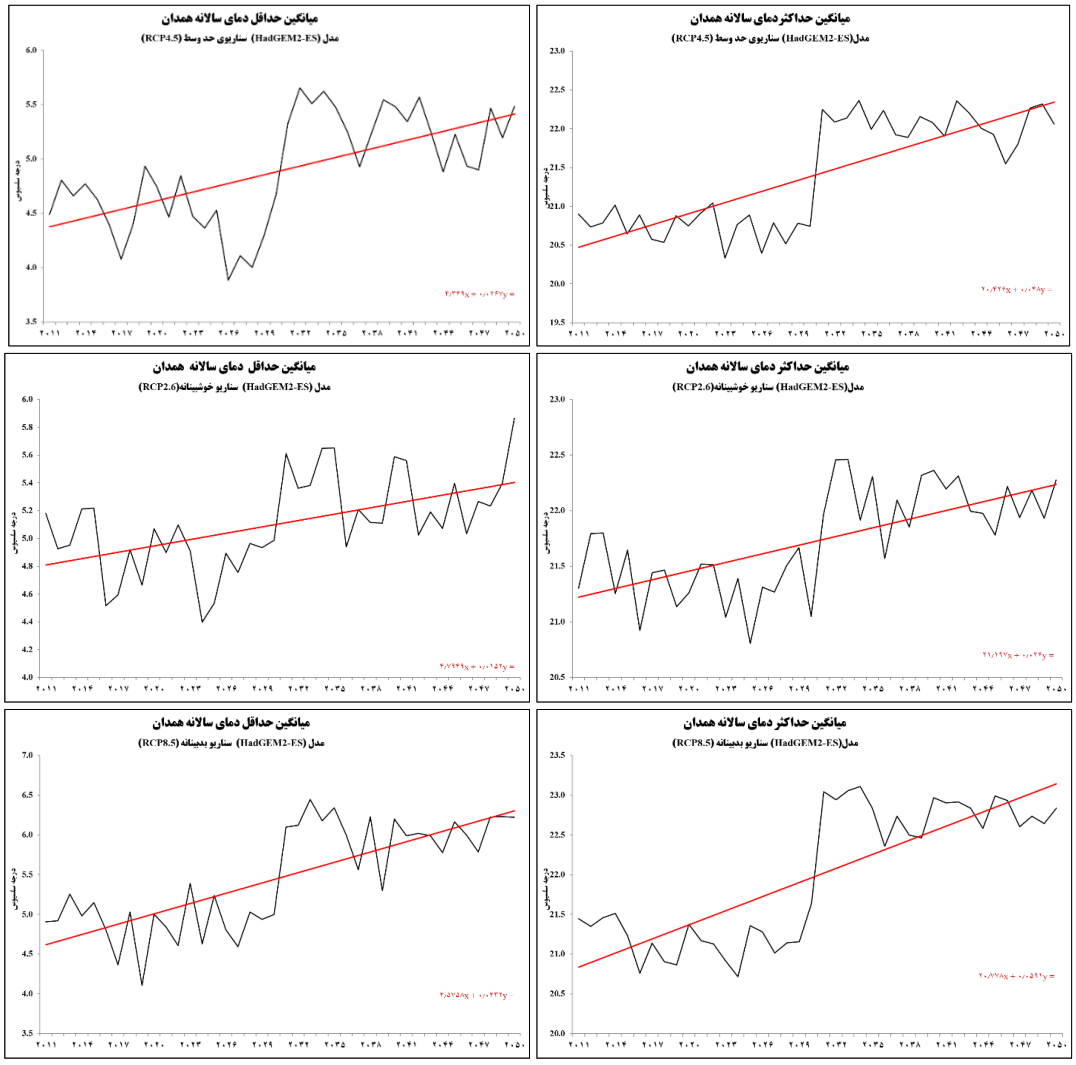
جهت آشکارسازی روند در سری‌های زمانی حداقل و حداکثر دما در بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۱۱ (۴۰ ساله)، بر روی مقادیر خروجی مدل لارس آزمون من- کندال اعمال شد. جدول (۳) نتایج حاصل از آماره کندال را بر روی داده‌های حداقل و حداکثر دمای کل دوره تحت سه سناریوی موردبررسی ارائه می‌دهد. با اعمال آماره کندال بر روی خروجی مدل لارس، در سناریوی RCP2.6 که یک سناریوی خوش‌بینانه است، روند افزایشی در میانگین حداقل دمای ماهانه و سالانه ایستگاه همدان دیده می‌شود. در جدول (۳) مقادیر آماره کندال و معنی‌داری آن ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد ماه‌های می و ژوئن روند دما کاهشی خواهد بود که در سطح اطمینان ۹۵ درصد این روند معنی‌دار است. همچنین، به‌جز ماه‌های مارس، آوریل، جولای و دسامبر، حداقل دما در تمامی فصول افزایش معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد اطمینان دارد. میانگین حداکثر دمای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

ماه‌های مارس، آوریل و می‌روند معنی‌داری را نخواهند داشت. ولی سایر فصول روند میانگین دمای حداکثر ماهانه و سالانه روند افزایشی معنی‌داری را طی خواهد کرد.

در سناریوی RCP4.5 که یک سناریوی حد متوسط است، نتایج حاکی از عدم وقوع روند معنی‌داری در میانگین حداقل دمای ماه‌های ژانویه تا آوریل و همچنین ماه دسامبر است. معنی‌داری روند افزایشی در سایر ماه‌ها و میانگین حداقل دمای سالانه با مقادیر مثبت این آماره و P_Value کوچک‌تر از ۰/۰۵ اثبات می‌شود. حداکثر دمای ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس تحت سناریوی RCP4.5 تغییر روند معنی‌داری را نشان نمی‌دهد، اما در سایر ماه‌ها میانگین حداکثر دمای ماهانه در این سناریو، روند افزایشی معنی‌دار با ضریب اطمینان ۹۵ درصد دیده می‌شود.

سناریوی RCP8.5، سناریویی است که روند تغییرات را بدبینانه مورد قضاوت قرار می‌دهد. نتایج حاصل از آماره کندال بر روی میانگین دما تحت سناریوی RCP8.5، گویای وقوع روند افزایشی معنی‌دار در میانگین دمای حداکثر تمامی فصول و در مقیاس سالانه است. تغییرات میانگین حداقل دما نیز تحت این سناریو نشان می‌دهد که به‌جز ماه‌های ژانویه و مارس که روند معنی‌داری را ندارند، روند تغییرات میانگین حداقل دما در مقیاس ماهانه و سالانه، روند افزایشی معنی‌داری خواهد بود اشکال (۳ و ۴).



شکل (۳). روند میانگین حداکثر و حداقل دمای سالانه پیش‌بینی شده در سناریوهای موردبررسی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

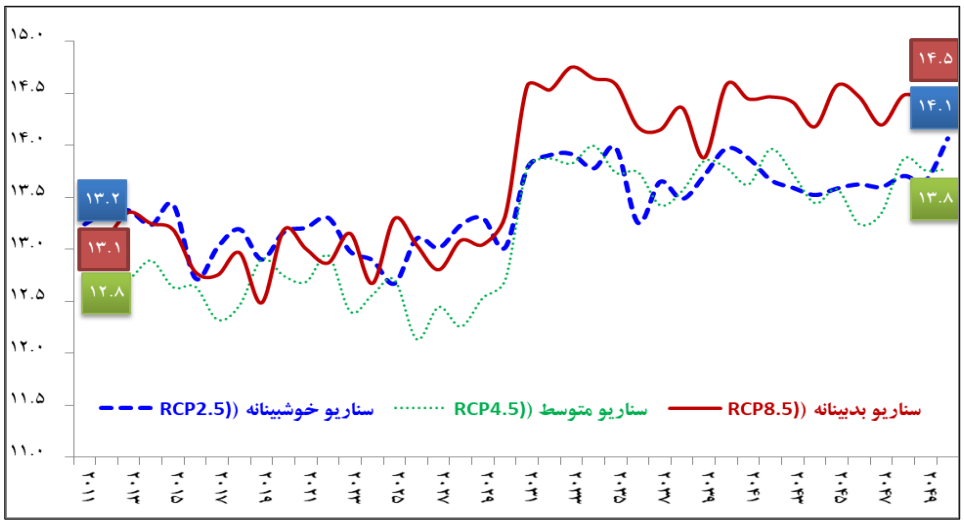
جدول (۳). نتایج حاصل از آماره کندال بر روی حداقل و حداکثر دمای همدان در دوره سوم (بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۱۱)

		RCP2.6		RCP4.5		RCP8.5	
	ماه	آماره کندال	P_value	آماره کندال	P_value	آماره کندال	P_value
میانگین حداقل دما	ژانویه	.216*	.026	0.076	0.491	.120	.278
	فوریه	.215*	.026	0.122	0.273	.256*	.021
	مارس	.069	.268	0.058	0.607	.178	.110
	آوریل	.102	.181	0.201	0.072	.410**	.000
	می	-.361**	.001	.485**	0	.421**	.000
	ژوئن	-.236*	.018	.446**	0	.385**	.001
	جولای	.076	.252	.503**	0	.609**	.000
	آگوست	.353**	.001	.423**	0	.618**	.000
	سپتامبر	.341**	.001	.292**	0.009	.485**	.000
	اکتبر	.400**	.000	.397**	0	.475**	.000
	نوامبر	.227*	.021	.326**	0.004	.315**	.005
	دسامبر	.017	.440	0.101	0.363	.214	.054
	سالانه	.372**	.001	.381**	0.001	.495**	.000
میانگین حداکثر دما	ژانویه	.265**	.009	0.099	0.375	.237*	.033
	فوریه	.342**	.001	0.173	0.121	.400**	.000
	مارس	.082	.234	0.164	0.141	.562**	.000
	آوریل	-.025	.412	.421**	0	.487**	.000
	می	.111	.160	.475**	0	.288**	.010
	ژوئن	.228*	.021	.493**	0	.584**	.000
	جولای	.259*	.010	.498**	0	.664**	.000
	آگوست	.442**	.000	.470**	0	.406**	.000
	سپتامبر	.355**	.001	.360**	0.001	.352**	.002
	اکتبر	.359**	.001	.446**	0	.410**	.000
	نوامبر	.285**	.005	.437**	0	.287*	.010
	دسامبر	.266**	.009	.333**	0.003	.282*	.011
	سالانه	.439**	.000	.458**	0	.446**	.000

علامت * در کنار اعداد، معنی‌داری را در سطح ۰/۰۵ درصد نشان می‌دهد.
علامت ** در کنار اعداد، معنی‌داری را در سطح ۰/۰۱ درصد نشان می‌دهد

همان‌طور که شکل (۴) نشان می‌دهد میانگین سالانه دمای همدان در سه سناریوی موردبررسی با رشد نسبت به دوره پایه همراه بوده‌اند؛ به‌طوری‌که در سناریوی خوش‌بینانه RCP2.5 دما در سال ۲۰۱۱ از ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد به ۱۴/۱ درجه در سال ۲۰۵۰ رسیده است و رشدی برابر با ۰/۹ درجه را تجربه خواهد کرد؛ اما در سناریوی متوسط RCP 4.5 این مقدار از ۱۲/۸ به ۱۳/۸ درجه و در سناریوی بدبینانه (RCP8.5) از ۱۳/۱ به ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید و با رشدی ۱/۴ درجه نسبت به دمای سال پایه همراه خواهد بود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]



شکل (۴). مقایسه سالانه سناریوهای انتشار در سه حالت بدبینانه، متوسط و خوش‌بینانه

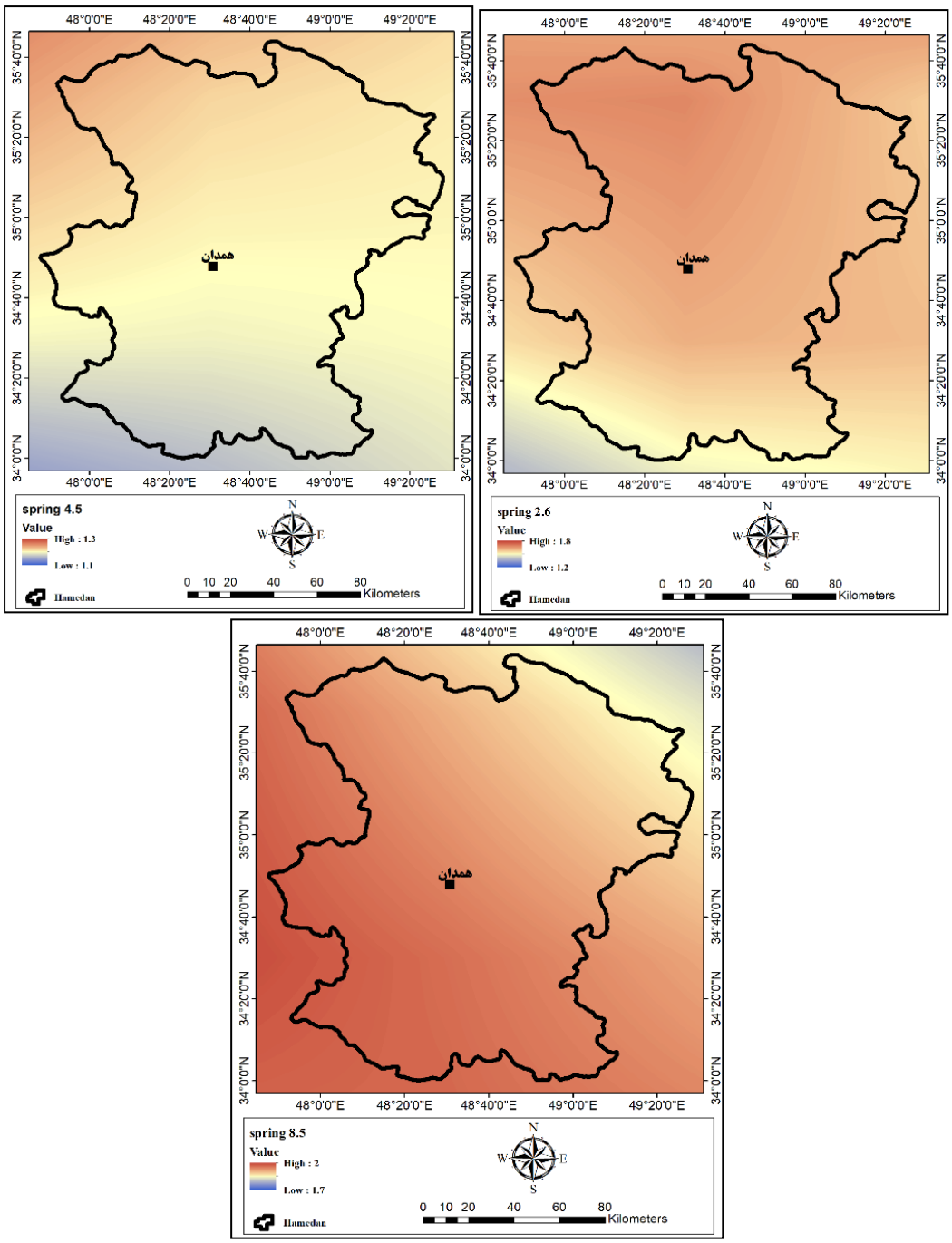
پیش‌بینی فصلی دما

اشکال (۵ تا ۸) آنومالی دمای فصلی ایستگاه سینوپتیک همدان در دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۱۱ تا ۲۰۵۰) تحت سه واداشت تابشی RCP2.6,RCP4.5,RCp8.5 با استفاده از خروجی مدل HadGEM2-ES را نشان می‌دهد که در ادامه با استفاده از آن روند دمای فصلی بررسی خواهد شد.

در شکل (۵) آنومالی دمای فصل بهار ایستگاه سینوپتیک همدان در دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۱۱ تا ۲۰۵۰) تحت سه واداشت تابشی RCP2.6,RCP4.5,RCp8.5 ارائه شده است. با توجه به نقشه‌های فصل بهار، بیشترین افزایش دما مربوط به خط سیر انتشار RCP8.5 است که رشدی ۱/۹ درجه سانتی‌گراد را نسبت به داده‌های مشاهداتی تجربه خواهد کرد، اما کمترین میزان افزایش دما نیز در سناریوی RCP4.5 مشاهده می شود که برابر با ۱/۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه خواهد بود. در سناریوی RCP2.6 رشد دمای بلندمدت فصل بهار نیز برابر با ۱/۷ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بنا بر روند دمای پیش‌بینی شده می‌توان گفت در آینده در تمام سناریوها دمای فصل بهار در همدان صعودی خواهد بود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

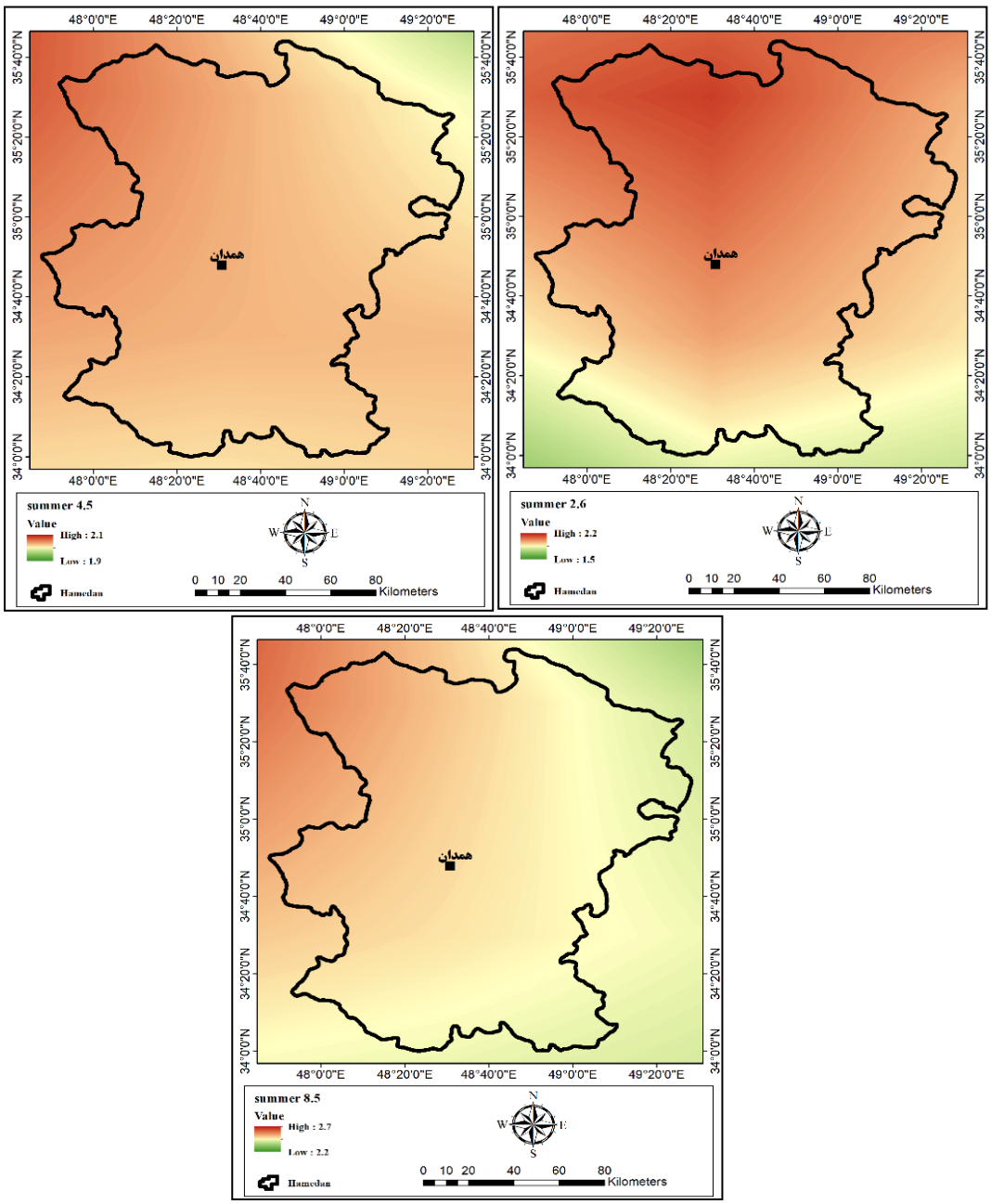


شکل (۵). تغییرات دمای فصل بهار تحت واداشت‌های تابشی سه‌گانه در همدان

با توجه به شکل (۶)، بیشترین افزایش دما در فصل تابستان در ایستگاه همدان مربوط به خط سیر انتشار RCP8.5 است که نسبت به داده‌های مشاهداتی رشدی ۲/۳ درجه سانتی‌گرادی را تجربه خواهد کرد؛ اما مقادیر آنومالی دمای پیش‌بینی شده نشان می‌دهد که کمترین میزان افزایش دما نیز در RCP2.6 خواهد بود که مقدار آن برابر با ۱/۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه خواهد بود. در سناریوی RCP4.5 رشد دمای بلندمدت فصل تابستان نیز برابر با ۱/۸ درجه سانتی‌گراد

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

خواهد بود؛ بنابراین در تابستان نیز همانند فصل بهار، می‌توان انتظار داشت دما در هر سه سناریوهای رشد داشته باشد. البته مقادیر رشد دما در فصل تابستان بیشتر از بهار خواهد بود.



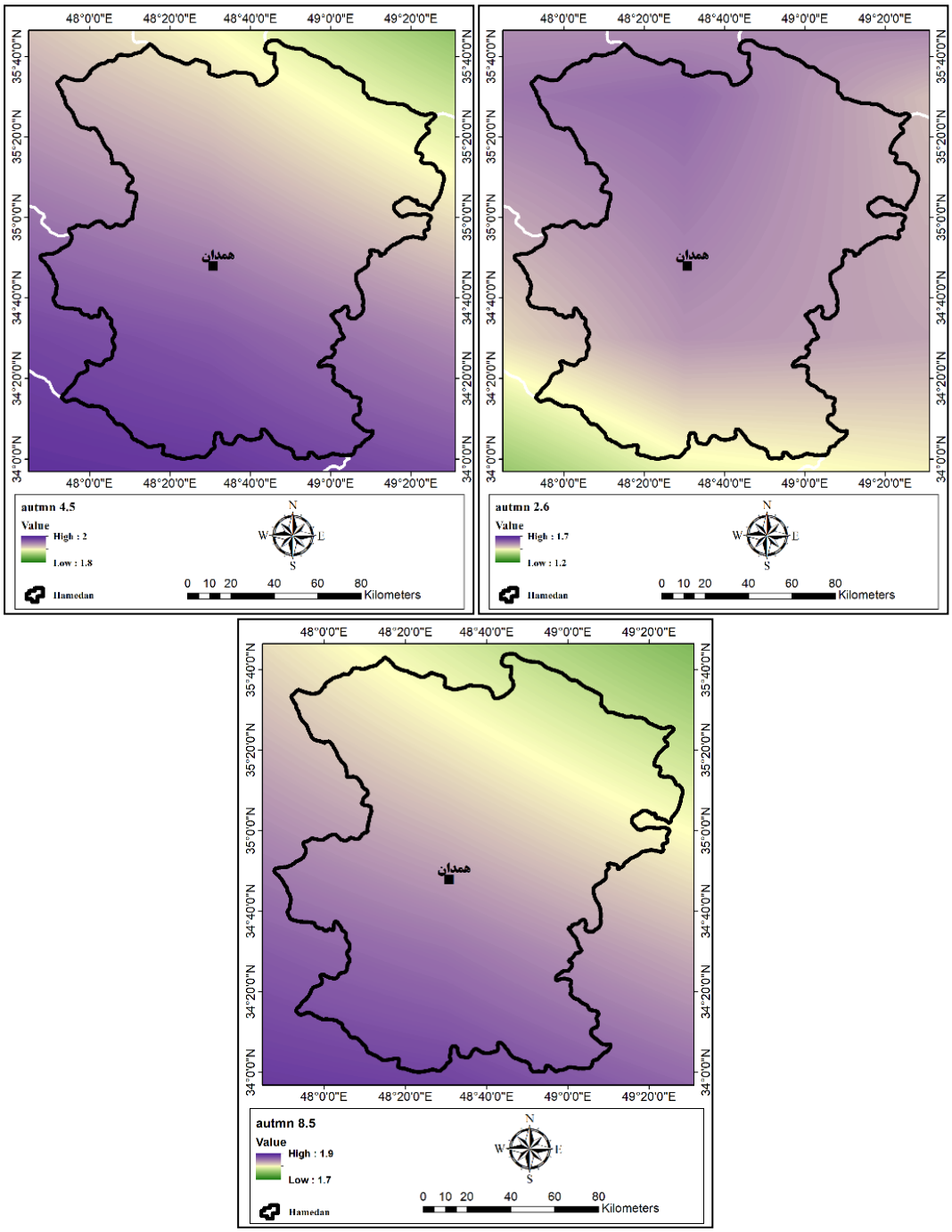
شکل (۶). تغییرات دمای فصل تابستان تحت واداشت‌های تابشی سه‌گانه در همدان

در شکل (۷) آنومالی دمای فصل پاییز ایستگاه سینوپتیک همدان در دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۱۱ تا ۲۰۵۰) تحت سه واداشت تابشی RCP2.6,RCP4.5,RCp8.5 ارائه شده است. همان‌طوری که اشکال نشان می‌دهد دمای دوره پیش‌بینی شده در همه واداشت‌ها روند مثبت و افزایشی داشته‌اند. بیشترین افزایش میانگین دما مربوط به خط سیر انتشار RCP4.5 است که رشدی ۱/۹ درجه سانتی‌گراد را تجربه خواهد کرد اما کمترین میزان افزایش دما نیز در سناریوی RCP2.6 مشاهده می شود که برابر با ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه خواهد بود. در سناریوی RCP4.5 رشد دمای بلندمدت فصل پاییز

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

نیز برابر با ۱/۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود؛ بنابراین با توجه به نتایج، در آینده در تمام سناریوها ایستگاه همدان شاهد رشد دما خواهد بود.



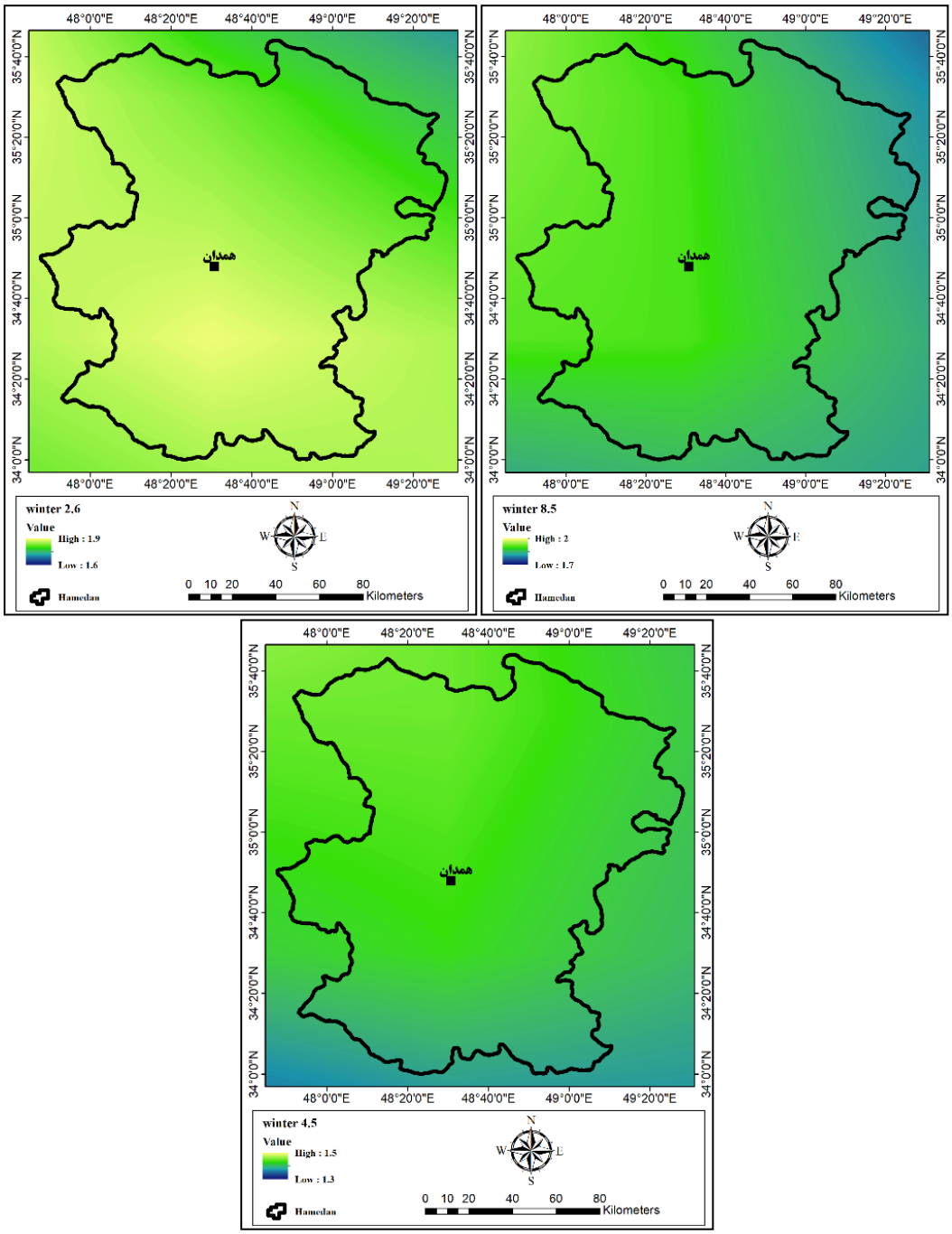
شکل (۷). تغییرات دمای فصل پاییز تحت واداشت‌های تابشی سه‌گانه در همدان

شکل (۸) آنومالی پیش‌بینی شده دمای فصل زمستان ایستگاه سینوپتیک همدان طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۵۰ تحت سه واداشت تابشی RCP2.6,RCP4.5,RCp8.5 را نمایش می‌دهد. با توجه به نقشه‌های فصل زمستان، بیشترین افزایش دما مربوط به خط سیر انتشار RCP2.6 است که رشدی ۱/۹ درجه سانتی‌گراد را تجربه خواهد کرد، اما کمترین میزان افزایش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

دما نیز در سناریوی RCP4.5 مشاهده می شود که برابر با ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه خواهد بود. در سناریوی RCP8.5 دمای بلندمدت فصل زمستان نیز برابر با ۱/۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود؛ بنابراین می‌توان گفت در آینده در تمام سناریوها دمای فصل زمستان نیز در همدان صعودی خواهد بود اما در خوش‌بینانه‌ترین حالت بیشترین رشد دما را شاهد خواهیم بود که با سناریوی خوش‌بینانه فصل تابستان برابری می‌کند. با این تفاسیر می‌توان انتظار داشت در آینده اختلاف دمای بین فصول افزایش یابد که این عامل خود باعث تغییر در سایر پارامترهای اقلیمی از جمله بارش و رطوبت شود.



شکل ۸: تغییرات دمای فصل زمستان تحت واداشت‌های تابشی سه‌گانه در همدان

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

نتیجه‌گیری

منطقه موردمطالعه در منطقه‌ی میانی غرب کشور واقع شده است و به علت ارتفاع بالا از سطح دریا به‌عنوان یکی از مناطق سردسیری کشور محسوب می شود، پدیده حدی دما از پدیده‌های معمول اقلیم در این منطقه است. این منطقه به دلیل موقعیت ویژه جغرافیایی، کیفیت مناسب آب‌وهوا، خاک مناسب دارای قابلیت‌های تولیدی فراوان در زمینه محصولات کشاورزی بوده است و یافته‌های این تحقیق به شرح زیر می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های محیطی از جمله کشاورزی سودمند باشد.

هدف از تحقیق حاضر مدل‌سازی و پیش‌بینی روندهای زمانی بلندمدت داده‌ها و تغییرات احتمالی اقلیم، طی دوره ۵۰ ساله آینده در ایستگاه همدان می‌باشد. بدین منظور روند سری‌های داده‌های مدل‌سازی شده و ریزمقیاس شده متوسط، حداکثر و حداقل سالانه و همچنین ماهانه دمای هوای، بر اساس روش من-کندال بررسی شدند.

نتایج مقایسه سه دوره زمانی نشان داد که در بازه زمانی کوتاه‌مدت تغییرات روند چندان آشکار نمی‌شود بلکه در بازه زمانی بلندمدت، تغییرات روند در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه به‌خوبی بارز می‌شود. در دو دوره اول و دوم بر اساس سه سناریوی موردبررسی میانگین حداقل دمای همدان تا ۲۰۵۰ در مقیاس سالانه و ماهانه روند معنی‌داری را خواهد داشت. با نگاه کلی می‌توان دریافت، تنها با یک سناریوی خوش‌بینانه می‌توان انتظار داشت که روند تغییرات دما در ماه‌های فصل بهار (می و ژوئن) روند کاهشی معنی‌دار را تجربه کنند؛ اما در سناریوی متوسط و بدبینانه در همین ماه‌ها نیز روند تغییرات حداقل دما، افزایشی خواهد بود. بر این اساس افزایش میانگین دمای حداقل، گویای تغییرات آب‌وهوایی شدیدی است که می‌تواند به مشکلات زیست‌محیطی فاجعه‌آمیزی منجر شود. علاوه بر آن افزایش معنی‌دار میانگین حداکثر دما در مقیاس سالانه و ماهانه در هر سه سناریوی موردبررسی، نشان‌دهنده بحران پیش رو خواهد بود. افزایش دمای حداقل همراه با افزایش دمای حداکثر است، یعنی باید در انتظار افزایش چشمگیر دما و تأثیر بر سایر عناصر آب‌وهوایی بود. بررسی فصلی دما نیز نشان داد که در همه سناریوهای پیش‌بین دما بین ۱/۵ تا ۲ درجه افزایش خواهد یافت که این میزان افزایش دما، اثر بسیار مخربی بر سایر پارامترهای حیاتی این استان از جمله بارش و آب قابل‌دسترس خواهد داشت. این امر باید به جد در برنامه‌ریزی‌های مدیران و مسئولان محیط‌زیست و سایر ارگان‌های مرتبط مد نظر قرار داده شود که با چنین روندی معضلات بسیاری دامن‌گیر بخش‌های مختلف اعم از کشاورزی، منابع آب، محیط‌زیست، صنعت و ... خواهد شد (شکل ۳) و باید چاره‌ای برای سال‌های آتی اندیشید.

با مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات دیگر که نتایج آن با نتایج این مقاله در یک راستا می‌باشند می‌توان به پژوهش باروس(۲۰۱۵) و ساعی محمدی و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد که دریافتند دما در دوره موردمطالعه در حال افزایش است. در ایران نیز می‌توان به تحقیقات عباس نیا و همکاران (۱۳۹۵)، پناهی وهمکاران(۱۳۹۹)، عساکره و همکاران(۱۴۰۱)، حجازی زاده و همکاران(۱۴۰۲)، اشاره نمود که همگی بر افزایش دما در آینده اشاره دارند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

منابع

بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابل عباسی، فاطمه؛ حبیبی‌نوخندان، مجید؛ ادب، حامد؛ ملبوسی، شراره، (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹ -۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه، ۱۶: ۱۳۵-۱۵۲. https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1179

برزو، فاطمه؛ رمضانی اعتدالی، هادی؛ اویانی، عباس. (۱۴۰۱). پیش‌بینی و بررسی داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ایستگاه همدیدی قزوین (۲۰۲۱-۲۱۰۰) با به‌کارگیری مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتیDKRZ ، نیوار، ۴۶(۱۱۶-۱۱۷): ۱۳۹-۱۶۲. doi: 10.30467/nivar.2022.347939.1220

پناهی، علی؛ خرم‌آبادی، فرحناز. (۱۳۹۹). ارزیابی دقت داده‌های CSIRO و مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان آذربایجان شرقی. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب‌وهوایی. ۲: ۱۳۹-۱۵۰.

حجازی زاده زهرا، زارعی شریفه، صیاد وحیده. (۱۴۰۲). بررسی چشم‌انداز تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش در استان کردستان بر اساس سناریوهای واداشت تابشی، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۲۳ (۶۹): ۱-۱۴. http://dx.doi.org/10.61186/jgs.23.69.1

خلیلی اقدم، نبی؛ مساعدی، ابوالفضل، سلطانی، افشین، کامکار، بهنام (۱۳۹۱)، ارزیابی توانایی مدل lars-wg در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج، مجله پژوهش‌های حفاظت خاک، ۱۹(۴): ۸۵-۱۰۲.

زارعی، آذین؛ اسدی، اسماعیل؛ عطاله، ابراهیمی؛ جعفری، محمد؛ ملکیان، آرش، (۱۳۹۷). بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری، نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۲(۸): ۸۲۶-۸۳۶.

شرقی، الناز؛ نورانی، وحید؛ آقایی‌لاهرودی، فرشاد، (۱۳۹۶)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم روی پارامترهای دما و بارش ایستگاه تبریز در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ با استفاده از مدل LARS-WG و روش عامل تغییر، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱-۱۲.

عباس نیا، محسن؛ طاوسی، تقی؛ خسروی، محمود؛ توروس، حسین، (۱۳۹۵). تحلیل دامنه عدم قطعیت تغییرات آینده دمای حداکثر روزانه بر روی ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۸۱: ۳۱-۸۳. https://doi.org/10.22131/sepehr.2016.20134

عساکره حسین، لیونلو پیرو، میرموسوی سیدحسین، صدرافشاری سحر. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی تغییرات دما در نیمه غربی ایران طی دوره (۲۱۰۰-۱۹۶۰) با استفاده از مدل‌های واکاوی شده و خروجی مدل‌های RCP۸/۵. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۲ (۶۶): ۱-۱۷. http://dx.doi.org/10.52547/jgs.22.66.1

علیجانی، بهلول؛ طولابی نژاد، میثم و علیرضا کربلایی‌درئی، (۱۳۹۸). رفتارسنجی اثر گرمایش جهانی بر پرفشار جنب حاره، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۵۱(۱۰۷)، ۳۳-۵۰. https://doi.org/10.22059/jphgr.2019.258677.1007223

کاظم‌زاده، مجید؛ ملکیان، آرش؛ مقدم نیا، علیرضا؛ خلیقی سیگارودی، شهرام. (۱۳۸۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آجی چای)، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۳(۸۳): ۱-۱۳.

مشکواتی، امیرحسین؛ کردجزی، محمد؛ بابائیان، ایمان، (۱۳۸۹)، بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳ میلادی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶(۱۹): ۸۱-۹۶.

Arnell, N.W., and Reynard, N.S. 1996. The effects of climate change due to global warming on river flows in Great Britain. J. Hydrol. 183: 397-424. https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02950-8

Barros, Vicente Ricardo., Boninsegna, José Armando., Camilloni, Inés Angela., Chidiak, Martina., Magrín, Graciela Odilia., Rusticucci, Matilde. (2015). Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. *WIREs Clim Change*, 6:151–169. http://hdl.handle.net/11336/7386

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

Ben-Gai, T., A. Bitan, A. Manes, P. Alpert and S. Rubin. 1999. Temporal and spatial trends of temperature patterns in Israel. Tech. Appl. Climatol. 64: 163-177. https://www.jstor.org/stable/24863415

Booij, M.J. 2005. Impact of climate change on river flooding assessed with different spatial model resolutions. J. Hydrol. 303: 176-198. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.07.013

Chmura, D.J., Anderson, P.D., Howe, G.T., Harrington,C.A., Halofsky, J.E., Peterson, D.L., Shaw, D.C., and Clair, J.B. 2011. Forest responses to climate change in the northwestern United States: Ecophysiological foundations for adaptive management. Forest Ecology and Management. 261: 7. 1121-1142. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.040 ·

Diodato, N. 2004. Local models for rainstorm induced hazard analysis on Mediterranean river torrential geomorphological systems. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 4: 389-397. https://doi.org/10.5194/nhess-4-389-2004

Eslamian, S.S. Khordadi, M.J. and Abedi-Koupai, J. 2011. Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. Global and Planetary Change, 78(3-4), 188-194. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.07.001

Farmer, G.T., 2015. Modern climate change science: an overview of today's climate change science. Springer.

Folland, C. K., T. R. Karl, J. R. Christy, R. A. Clarke, G. V. Gruza, J. Jouzel, M. E. Mann, J. Oerlemans, M. J. Salinger and S. W. Wang. 2001. Observed climate variability and change. In Climate Change, J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, (Eds.). PP. 99-181.Cambridge University Press, Cambridge.https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/TAR-02.pdf

Goodarzi, e; Dastorani, M; Massah Bavani, A; and Talebi, A; (2015). Evaluation of the Change-Factor and LARS-WG Methods of Downscaling for Simulation of Climatic Variables in the Future (Case study: Herat Azam Watershed, Yazd - Iran).J. ECOPERSIA.3: 833-846. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222700.2015.3.1.5.9

Goossens Ch and Berger A. 1986. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. Annales Geophysicae, 4B: 385–400. http://hdl.handle.net/2078.1/66385

Hashemi, M. Z., Shamseldin, 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(4), 475-484. https://doi.org/10.1007/s00477-010-0416-x

Kavwenje, S., Zhao, L., Chen, L., & Chaima, E. (2022). Projected temperature and precipitation changes using the LARS-WG statistical downscaling model in the Shire River Basin, Malawi. International Journal of Climatology, 42(1), 400-415. https://doi.org/10.1002/joc.7250

Lotfi, M., Kamali, G. A., Meshkati, A., & Varshavyan, V. (2020). Predicting maximum temperatures using global climate models under RCP scenarios and microscaling LARS-WG and SDSM models in the west of the country. Physical Geography Quarterly, 14(Physical Geography Quarterly), 115-130. https://sanad.iau.ir/en/Journal/jopg/Article/983129

Mirza, M. Q., Warrick, R. A., Ericksen, N. J. and Kenny, G. J., 1998, Trends and persistence in precipitation in the Ganges, Brahmaputra and Meghna river basins, Hydrological Sciences-Journal- des Sciences Hydrologiques, 43(6), 845- 858. https://doi.org/10.1080/02626669809492182

Mohammed, Z. M., & Hassan, W. H. (2022). Climate change and the projection of future temperature and precipitation in southern Iraq using a LARS-WG model. Modeling Earth Systems and Environment, 1-14. https://doi.org/10.1007/s40808-022-01358-x

Munawar, S., Rahman, G., Moazzam, M. F. U., Miandad, M., Ullah, K., Al-Ansari, N., & Linh, N. T. T. (2022). Future Climate Projections Using SDSM and LARS-WG Downscaling Methods for

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]

CMIP5 GCMs over the Transboundary Jhelum River Basin of the Himalayas Region. Atmosphere, 13(6), 898. https://doi.org/10.3390/atmos13060898

Saeimohammadi, Samireh. Zarafshani, Kiumars. Tavakoli, Mohsen. Mahdizadeh, Hossien. Amiri, Farzad. (2017). Prediction of Climate Change Induced Temperature & Precipitation: The Case of Iran. Sustainability. 9-146. https://doi.org/10.3390/su9010146

Sereda, J., Bogard, M., Hudson, J., Helps, D., and Dessouki,T. 2011. Climate warming and the onset of salinization: Rapid changes in the limnology of two Northern Plains lakes. Limnologica. 41: 1-9. https://doi.org/10.1016/j.limno.2010.03.002

Serrano, A., Mateos, V.L., and Garcia, J.A., (1999). Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. phys. Chem. EARTH (B), 24(1-2):85-90. https://doi.org/10.1016/S1464-1909(98)00016-1

Sneyers R. 1975. Sur l'analyse statistique des series d'observations. OMM Publication No.415, Note technique 143. OMM: World Meteorological Organization (WMO) Geneva & Switzerland; 192. https://books.google.com/books?id=gvZHAAAACAAJ

Zubaidi, Salah L., Kot, Patryk, Hashim, Khalid, Alkhaddar, Rafid, Abdellatif, Mawada, Raad Muhsin, Yousif, 2019, Using LARS –WG model for prediction of temperature in Columbia City, USA, International Conference on Civil and Environmental Engineering Technologies, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 584, doi:10.1088/1757-899X/584/1/012026.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.17]