

## ORIGINAL ARTICLE

# Simulation and Forecasting of Maximum Temperature and Heat Waves in Urmia City

Roghayeh Maleki Meresht<sup>1\*</sup>, Majid Rezaei Banafsheh Daragh<sup>2</sup>, Behrooz Sobhani<sup>3</sup>, Masood Moradi<sup>4</sup>

1. Ph.D, Department of Natural Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Professor, Department of Natural Geography, Tabriz University, Tabriz, Iran.

3. Professor, Department of Natural Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

4. Ph.D, Department of Natural Geography, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

### Correspondence

Roghayeh Maleki Meresht  
Email:  
[Roghayah.maleki1395@gmail.com](mailto:Roghayah.maleki1395@gmail.com)

### How to cite

Maleki Meresht, R., Rezaei Banafsheh Daragh, M., Sobhan, B., & Moradi, M. (2024). Simulation and Forecasting of Maximum Temperature and Heat Waves in Urmia City. *Urban Ecological Research*, 15(1), 43-60.

### ABSTRACT

The aim of this study is simulation and forecasting of maximum temperature and heat waves in Urmia city from 2020 to 2050 in order to predict and reduce the negative effects of a sudden increase in temperature, which is simulated using SDSM software and CanESM2 model And is predicted using the most appropriate RCP scenario for the next 31 years. For this purpose, the maximum daily temperature data of Urmia from 1961 to 2005 were obtained from the Meteorological Organization and forecasted. The innovation of this study is using the least error RCP scenario for more accurate prediction. According to the results, RCP 8.5 scenario was selected as the least error scenario for forecasting. According to the results the average maximum temperature in Urmia will decrease from late winter to late spring compared to the base period and in mid-summer there will be a slight increase. In general, during the years 2020-2050, the maximum temperature trend of Urmia will be increasing. According to the results of the Baldi index, The heat waves will be short and maximum four days. One-day heat waves will have the highest frequency and will have a slight upward trend, Two, three and four day heat waves will have a decreasing trend. In general, short-term heat waves are more likely to occur than long-term heat waves. Also, since the detected heat waves often showed the highest frequency in autumn and winter, so the probability of this hazard occurring in cold seasons is higher than warm seasons.

### KEYWORDS

Heat Waves, SDSM, CanESM2, Urmia





## «مقاله پژوهشی»

## شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر امواج گرمایی شهر ارومیه

رقیه ملکی مرشت<sup>۱\*</sup>، مجید رضایی بنفشه درق<sup>۲</sup>، بهروز سبحانی<sup>۳</sup>، مسعود مرادی<sup>۴</sup>

## چکیده

هدف پژوهش حاضر، شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر بیش‌تر و امواج گرمایی شهر ارومیه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ به‌منظور پیش‌آگاهی و کاهش آثار منفی ناشی از افزایش ناگهانی دما در این شهر است که با استفاده از نرم‌افزار SDSM و مدل CanESM2 شبیه‌سازی و تحت مناسب‌ترین سناریوی RCP برای ۳۱ سال آتی پیش‌بینی گردید. بدین منظور، داده‌های حد بیش‌تر دمای روزانه ایستگاه ارومیه از سال ۱۹۶۱-۲۰۰۵ به‌عنوان نماینده سایر ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی از سازمان هواشناسی کشور دریافت و پیش‌بینی انجام شد. نوآوری پژوهش حاضر، استفاده از کم‌خطاترین سناریوی RCP برای پیش‌بینی دقیق‌تر می‌باشد. طبق نتایج حاصل، سناریوی RCP/۵ به‌عنوان کم‌خطاترین سناریو جهت پیش‌بینی انتخاب شد و یافته‌ها نشان دادند که میانگین حد بیش‌تر دما در ایستگاه ارومیه از اواخر زمستان تا اواخر بهار نسبت به دوره پایه کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی خواهد داشت. در مجموع طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ شاهد روند افزایشی محسوس حد بیش‌تر دمای شهر ارومیه خواهیم بود. براساس نتایج اعمال شاخص بالدی، امواج گرمایی این شهر کوتاه‌مدت و حد بیش‌تر چهار روزه خواهد بود. بیش‌ترین فراوانی امواج گرمایی مربوط به امواج یک روزه بود که روند افزایشی جزئی داشت ولی امواج گرمایی دو، سه و چهار روزه روند کاهشی نشان دادند. در مجموع، احتمال رخداد امواج گرمایی کوتاه‌مدت، بیش‌تر از امواج گرمایی بلندمدت است. همچنین از آنجا که امواج گرمایی شناسایی شده اغلب در پاییز و زمستان بیش‌ترین فراوانی را نشان دادند، لذا احتمال وقوع این مخاطره در فصول سرد بیش‌تر از فصول گرم است.

## واژه‌های کلیدی

امواج گرمایی، SDSM، CanESM2، ارومیه.

۱. دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۴. دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

نویسنده مسئول: رقیه ملکی مرشت

رایانامه:

[Roghayah.maleki1395@gmail.com](mailto:Roghayah.maleki1395@gmail.com)

## استناد به این مقاله:

ملکی مرشت، رقیه؛ رضایی بنفشه درق، مجید؛ سبحانی، بهروز و مرادی، مسعود (۱۴۰۳). شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر امواج گرمایی شهر ارومیه. فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، ۱۵(۱)، ۶۰-۴۳.

**مقدمه**

موج‌های گرمایی<sup>۱</sup> از مهم‌ترین بلاهای آب و هوایی می‌باشند که هر ساله پیامدهای زیست‌محیطی مخربی را در طبیعت به‌جای می‌گذارند و کاهش این پیامدها، در گرو شناسایی سازوکار امواج گرمایی، پیش‌بینی سامانه‌های هواشناسی به وجود آورنده، کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهنده آن‌ها بر روی سلامت عمومی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر می‌باشد (Houshyar et al, 2018: 186).

امواج گرمایی می‌تواند در مقیاس محلی روی دهند و سبب از بین رفتن محصولات کشاورزی، مرگ‌ومیر قابل توجه در اثر گرمادگی و دیگر مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی - اقتصادی شود. امواج گرمایی به دلیل آتش‌سوزی و مرگ و میر انسان‌ها، خسارات اقتصادی بالایی بر جنگل‌ها وارد می‌سازد. موج گرمایی یکی از بدترین فجایع آب‌وهوایی است که پیش‌بینی مناسب و به‌موقع آن می‌تواند، یک سیستم هشداردهنده بسیار کارآمد و مطلوب باشد (Salahi & Ghodrati, 2017: 37). چنان‌که به‌روشنی مشخص است طی دهه‌های اخیر، آهنگ تغییرات در محیط‌زیست طبیعی و اجتماعی تسریع گردیده، به‌طوری‌که تأثیرات این‌گونه تغییرات هر روز پیچیده‌تر، چشمگیر و دائمی می‌گردد که در مقایسه با گذشته روی زندگی روزمره بشر تأثیر بسیار زیادی می‌گذارند. بنا بر آنالیز و مقایسه شاخص‌های خشک‌سالی و تجربیات به دست آمده، می‌توان اذعان داشت که پارامتر دما، اهمیت بسزایی در وقوع خشک‌سالی دارد (Safariyan et al, 2019: 121). افزایش دمای هوا، مشکلات و تنش‌های زیست‌محیطی همچون تنش خشکی را ایجاد کرده و عملکرد محصولات کشاورزی را محدود می‌کند و شهر ارومیه به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی و باغداری ایران، با افزایش دما مشکل بهاره‌سازی گیاهان و به دنبال آن کاهش عملکرد محصولات زراعی را تجربه خواهد کرد. برآورد مشکل‌تر، در مورد محصولات دیم است که برای رطوبت موردنیاز خود وابستگی مستقیم به بارش باران و برف دارند و این شهر بدون شک کاهش محصول ناشی از کمبود بارش یا افزایش تبخیر را تجربه خواهند کرد.

با توجه به آنچه گفته شد و به دلیل اهمیت مسئله افزایش دما و موج گرمایی که در زمان‌های متفاوت، مناطق مختلف کشورمان را (به دلیل شرایط خاص اقلیمی) تحت تأثیر قرار می‌دهد، هدف پژوهش حاضر، شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حد

بیش‌تر و شناسایی امواج گرمایی ۳۱ سال آینده شهر ارومیه است که در فصول مختلف سال تحت تأثیر نوسانات دمایی و رخداد امواج گرمایی قرار دارد و این مخاطره سبب برهم خوردن زیست‌بوم این شهر می‌شود. بنابراین استفاده از ریزگردان SDSM به‌عنوان نرم‌افزار مورد تأیید بیش‌تر پژوهشگران و مدل CanESM2 به‌عنوان یکی از جدیدترین مدل‌ها تحت کم‌خطاترین سناریوهای RCP به‌عنوان نوآوری این تحقیق، جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حد بیش‌تر می‌باشند که در بررسی و شناسایی امواج گرمایی در شهر ارومیه کم‌تر مورد توجه و استفاده پژوهشگران قرار گرفته است و می‌تواند با پیش‌بینی دقیق‌تر رفتار آینده دمای حد بیش‌تر و امواج گرمایی این شهر، راهکارهایی به برنامه‌ریزان جهت حفظ پایداری زیست‌بوم شهری، ارائه نماید. در این راستا سؤال این است که آیا طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ شاهد روند افزایشی میانگین حد بیش‌تر دما در شهر ارومیه خواهیم بود یا خیر؟

**مبانی نظری****چارچوب نظری**

برخلاف آثار وسیع و مخرب امواج گرمایی، تعاریف و روش‌های بررسی آن مبهم و پراکنده است و سازمان‌ها و گروه‌های مختلف، شاخص‌های متعددی را جهت مطالعه امواج گرمایی مطرح کرده‌اند. آنچه مطالعه هرچه بیش‌تر امواج گرمایی را ضروری می‌نماید، اهمیت و تأثیر آن بر جنبه‌های مختلف زندگی بشر و سایر موجودات زنده است. به‌طور مثال می‌توان به گیاهان اشاره کرد که بخش مهمی از محیط‌زیست هستند و در مراحل مختلف رشد خود، تحت تأثیر دما قرار دارند و به‌شدت از تغییرات دمایی متأثر می‌شوند. تخمین زده شده است که به ازای هر درجه افزایش دما براساس درجه سلسیوس نسبت به دمای متوسط فصل رشد تا ۱۷ درصد کاهش عملکرد در گیاهان رخ می‌دهد (Khansari, 2016: 13).

موج گرمایی به دوره شدید گرما گفته می‌شود که بیش از ۵ روز دوام داشته باشد و دما ۵ درجه بالاتر از حد نرمال باشد و نیز برای انسان و محیط‌زیست ایجاد بحران کند (Mojarrad et al, 2014: 42). امواج گرمایی به‌عنوان یکی از مخاطرات مهم اقلیمی به دلیل اهمیتی که دارد مورد توجه قرار گرفته است. با شروع دهه ۲۰۱۰، CMIP5<sup>۲</sup> سناریوهای جدید RCPS را پیشنهاد داد. سناریوهای پیشنهادی در چهار حالت ۲/۶، ۴/۵، ۶/۰

نرم‌افزار (SDSM) کوچک‌مقیاس کردن آماری متغیرهای اقلیمی روزانه را تحت مراحل زیر انجام می‌دهد:

- ۱- کنترل کیفیت داده‌ها و تغییر شکل داده‌ها؛ ۲- انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده؛ ۳- کالیبره کردن مدل؛ ۴- تولید مدل هواشناسی (با استفاده از پیش‌بینی کننده‌ی مشاهده-ای)؛ ۵- آنالیز آماری؛ ۶- خروجی گرافیکی مدل؛ ۷- تولید سناریوی اقلیمی (با استفاده از پیش‌بینی کننده‌های اقلیمی مدل). تمامی مراحل فوق توسط گزینه‌های تعبیه شده در محیط نرم‌افزار (SDSM) انجام می‌گیرد (Moradi, 2014; Chobeh and kake mami, 2015). نظر به این‌که بیش‌تر پژوهشگران در پژوهش‌های خود به بررسی توانمندی نرم‌افزار SDSM پرداخته و مناسب بودن SDSM در مقایسه با نرم‌افزار LARS-WG در کوچک‌مقیاس نمودن پارامترهای دما، تبخیر و بارش را تأیید کرده‌اند، لذا در پژوهش حاضر نیز از نرم‌افزار مذکور جهت ریزمقیاس‌نمایی حد بیش‌تر دمای دو ایستگاه استفاده شده است.

برای پیش‌بینی و مدل‌سازی دمای حد بیش‌تر، از مدل‌های مختلف استفاده می‌شود. مدل CanESM2<sup>۳</sup> از مجموعه مدل‌های CMIP5 است که عنوان یکی از مدل‌های جدید جهت واکاوی دمای حد بیش‌تر در ریزگردان SDSM بکار می‌رود. مدل‌های GCM<sup>۴</sup> ارائه شده در فاز CMIP5 در مقایسه با فاز CMIP3 از کیفیت مکانی بالاتری برخوردار هستند (Mango et al, 2014: 12; Dasht Bozorgi et al, 2015: 105). دلیل استفاده از مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی (۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ RCP) این بود که در زمان انجام پژوهش حاضر، از مدل‌های گردش عمومی، داده‌های مدل و سناریوهای مذکور برای تحلیل در ریزگردان SDSM در دسترس بود. سه سناریوهای یاد شده، تفاوت بین انرژی دریافتی از خورشید و انرژی برگشتی به جو، از طریق زمین است. واداشت مثبت (ورودی بیش‌تر انرژی تابشی خورشید) موجب افزایش و واداشت منفی (برون‌رفت بیش‌تر انرژی) موجب کاهش دمای سیستم زمین می‌گردد. واداشت تابشی که می‌تواند مهم‌ترین علت تغییر اقلیم باشد، برای ارزیابی و مقایسه هر یک از عوامل طبیعی و انسانی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (IPCC, 2005). به‌منظور شناسایی روزهای توأم با موج گرمایی شاخص‌هایی همچون فومیایکی<sup>۵</sup> و

۸/۵ هستند (در سناریوی ۴/۵ میزان غلظت CO2 تا سال ۲۱۰۰، ۶۵۰PPM و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی به ۴/۵ وات بر مترمربع و در سناریوی ۶/۰ واداشت تابشی قبل سال ۲۱۰۰ به کم‌تر از ۶ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ به ۶ وات بر مترمربع می‌رسد و ثابت می‌ماند و در سناریوی ۸/۵ میزان غلظت CO2 تا سال ۲۱۰۰؛ ۱۳۷۰PPM و نیز اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی به ۸/۵ وات بر مترمربع خواهد رسید) (Masoumpour et al, 2016: 40). از این داده‌ها به‌صورت مستقیم و یا پس از ریزمقیاس‌نمایی برای ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای استفاده می‌شود (IPCC, 2013). RCP، A1B، B1 و A2 مطابقت مذکور، تا حدودی با سناریوهای A1B، B1 و A2 مطابقت دارند (Muhire & Ahmed, 2016: 399). به‌منظور شبیه‌سازی گذشته و پیش‌بینی چگونگی امواج گرمایی طی سال‌های آتی ریزگردان‌هایی مانند SDSM<sup>۱</sup> و LARS-WG<sup>۲</sup> توسط پژوهشگران استفاده شد.

مدل (SDSM) یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس‌گردانی است که در هواشناسی، هیدرولوژی، جغرافیا و زیست‌شناسی کاربرد زیادی دارد (Wilby and Harris, 2006: 1; Houshyar et al, 2017: 305). در مدل مذکور، از الگوی گردش روزانه بزرگ مقیاس در مقیاس ایستگاهی استفاده می‌شود و در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم‌هزینه تغییرات اقلیمی باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مورد مولدهای هواشناسی تصادفی و روش‌های توابع تغییر شکل یافته، نتایج قابل قبولی ارائه داده است (Samadi and Houshyar et al, 2017: 305; Mesbah, 2008: 1). مدل (SDSM)، متغیرهای پیش‌بینی شونده (NCEP) و (GCM) را کالیبره و آنالیز می‌نماید. (SDSM) یک روش نمونه‌برداری مجدد شرطی و دومرحله‌ای است (Vebly, 2008: 12; Chobeh and kake mami, 2015). این روش ابتدا متغیر پیش‌بینی کننده (دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی کوچک‌مقیاس کرده و در مرحله بعد متغیر در محل ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد. در واقع (SDSM) ترکیبی از روش مولد هواشناسی آماری و توابع تغییر شکل یافته است.

3. Canadian Earth System Model version 2  
4. General Circulation Models/ Global Climate Models  
5. Fumiyaki Index

1. Statistical DownScaling Model  
2. stochastic weather generator which can be used for the simulation of weather data at a single site

سینوپتیکی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که فراوانی امواج گرمایی در بیش‌تر نواحی ایالات‌متحده در حال افزایش است. یاسین و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۳)، به بررسی تابستان‌های بسیار داغ در مرکز و شرق اروپا از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ پرداختند و دریافتند که فراوانی تابستان گرم رو به افزایش است. نتایج بررسی‌های آنان نشان داد که رخداد امواج گرمایی به مناطق خاصی محدود نبوده و امکان رخداد آن در همه مکان‌ها وجود دارد.

نوری و همکاران (۲۰۱۴)، به مقایسه ژنراتورهای آب و هوایی SDSM و LARS-WG در مدل‌سازی تغییرات آب و هوا در استان گلستان پرداختند. هدف از مطالعه آن‌ها پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی براساس مدل‌های گردش عمومی (GCM)، با استفاده از دو ژنراتور هواشناسی، یعنی SDSM و LARS-WG، در استان گلستان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ است و مقایسه نتایج آن برای انواع مختلف آب و هوایی از داده‌های مشاهداتی و مصنوعی مانند طول سری‌های مرطوب و خشک، توزیع بارش و دما است.

وی و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۴)، جهت مطالعه امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گریتر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداختند. طبق نتایج حاصل از پژوهش آنان، فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه داشته و آب‌های آزاد نیز تأثیری زیادی بر حداقل دمای روزانه دارند.

بای و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۴)، به بررسی تأثیر درجه حرارت تابستانی و امواج گرمایی بر بیماری‌های مرتبط با گرما در یک شهر ساحلی در چین پرداخته‌اند. یافته‌های پژوهش آنان نشان داد است که حد بیش‌تر دما نسبت به شاخص گرما، بیماری‌های مرتبط با گرما را بیش‌تر تحت تأثیر قرار می‌دهد و بین این دو، همبستگی مثبت وجود دارد.

مویسیس و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۸)، به پیش‌بینی رخداد امواج گرمایی در منطقه داخلی آمریکای شمالی با استفاده از مدل چندجمله‌ای پرداختند. آنان در پژوهش خود با استفاده از دو سناریوی RCP ۴/۵ و ۸/۵ رخداد امواج گرمایی فراوانی را برای اواخر قرن ۲۱ پیش‌بینی نمودند.

مجرد و همکاران (۱۳۹۴)، به تحلیل آماری - همدیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران پرداختند و دو الگوی کلی برای ایجاد امواج گرمایی را در منطقه تشخیص دادند.

شاخص بالدی<sup>۱</sup> استفاده می‌گردد. روش شناسایی امواج گرمایی با استفاده از شاخص بالدی به این صورت است که با اعمال این شاخص بر روی داده‌های دمای حد بیش‌تر در محیط نرم‌افزار Excel میانگین و انحراف معیار داده‌های دمای حد بیش‌تر محاسبه می‌گردد و روزهایی که دمای حد بیش‌تر آن‌ها از دمای میانگین کل دوره آماری بیش‌تر باشد، به‌عنوان روز همراه با موج گرم شناسایی و معرفی می‌شوند.

## پیشینه پژوهش

امواج گرمایی طی دهه‌های اخیر به‌ویژه با مطرح شدن بحث تغییر اقلیم مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در سراسر جهان قرار گرفته است. از تحقیقاتی که در این زمینه، در ایران و سایر کشورهای جهان انجام گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

روهینی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداختند. نتایج پژوهش آنان افزایش امواج گرمایی بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرده است.

فرون<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۹)، به مشاهده و بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند. آن‌ها از ۵ مدل (CMIP5) تحت دو سناریوی RCP 4.5 و 8.5 استفاده کردند و دریافتند که در دهه‌های اخیر سهم روزهای بسیار گرم حداقل در دسامبر - ژانویه - فوریه دو برابر شده است.

ای-آنل و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۷)، به تحلیل آثار امواج گرمایی و سرمایگی بر بخش تولید انرژی اسپانیا پرداختند. بررسی‌های آنان نشان داد که رخداد امواج سرمایگی و گرمایی می‌تواند منجر به افزایش نیاز به تولید انرژی مصرفی شود. برای مثال: بالا رفتن نیاز گیاه به آبی با دمای بالاتر، نمونه‌ای از این موارد است.

سسچرنی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی امواج گرمایی و سرمایگی در سراسر آمریکای جنوبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بسامد و شدت دوره‌های گرم به‌ویژه طی ۱۰ سال اخیر افزایش یافته است؛ اما تغییرات قابل‌توجهی در امواج سرمایگی ایجاد نشده است.

بومباکو و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۳)، به بررسی تاریخچه امواج گرمایی در شمال غربی اقیانوس آرام با استفاده از تحلیل روند و

1. Baldi Index
2. Rohini et al
3. Feron et al
4. A. Anel et al
5. Ceccherini et al
6. Bumbaco

7. Yassin et al
8. Weihe et al
9. Bai et al
10. Moises et al

عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶)، به شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۰۱۰) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2 پرداختند. طبق نتایج حاصل، بارش به‌طور کلی در فصل زمستان افزایش و بقیه فصول با کاهش مواجه خواهد بود. تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه‌ها به‌غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش داشته است. حداقل دما در سه سناریوی RCP۴/۵، RCP۲/۶ و RCP۸/۵ و برای سه دوره مورد مطالعه، افزایش می‌یابد. همچنین حداقل دما به‌طور کلی در تمام فصول افزایش می‌یابد که در فصل تابستان تا ۸ درجه نیز افزایش دما مشاهده گردیده است.

خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی همدیدی امواج گرمایی در شمال غرب ایران پرداخته‌اند. براساس نتایج به دست آمده از پژوهش آنان، با قرار گرفتن پشته حاصل از مراکز و اچرخندی بر روی نیمه غربی ایران در روز اوج موج گرما و با همگرا شدن هوا، فرونشینی و نشست هوا و در نهایت گرم شدن آن به صورت آدیاباتیک رخ داده است.

صلاحی و قدرتی (۱۳۹۷)، به پیش‌بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریز گردان LARS-WG و شاخص بالدی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در شهر زنجان بر اساس دو مدل BCM2 و HadCM3 موج کوتاه گرمایی در هر دو بازه روند افزایشی داشته است. بیش‌ترین فراوانی موج کوتاه گرمایی در بازه زمانی اول در ماه‌های خرداد و تیر قرار دارد و در بازه زمانی دوم، فراوانی امواج کوتاه گرمایی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیش‌تر شده و در نتیجه با توجه به پیش‌بینی انجام گرفته در هر دو مدل، بر تعداد روزهای گرم افزوده می‌شود.

حاتمی زرنه و همکاران (۱۳۹۸)، با استفاده از روش‌های همبستگی پیرسون و اسپیرمن، رگرسیون خطی و پلی‌نومیل و نیز آزمون ناپارامتری من-کندال به تحلیل نوسانات زمانی امواج گرمایی منطقه شمال غرب ایران و ارتباط آن‌ها با گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری‌های دمایی کره زمین پرداختند. نتایج بیان‌گر روند افزایشی و معنی‌دار شدت و فراوانی وقوع امواج گرمایی شمال غرب ایران بود.

طبق یافته‌های پژوهشگران، امواج گرمایی طی سال‌های آتی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، شدیدتر و پرتداوم‌تر خواهد شد. لذا با توجه به اهمیت مخاطره موج گرمایی و بحث تأثیر افزایش چند درجه‌ای دما در اکوسیستم هر منطقه که طی سال‌های اخیر در سراسر جهان مورد توجه محققین قرار گرفته است، لذا جهت پی

مولودی و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس پرداخته‌اند. ایشان جهت پیش-بینی امواج گرمایی در آینده، از مدل‌های (CMIP5)، برای انجام ریزگردانی خروجی از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و برای شناسایی امواج گرمایی از شاخص فومیکی استفاده کردند. نتایج حاصل، نشان داده است که امواج گرمایی کوتاه‌مدت، رخداد بیش‌تری دارند و نیز فراوانی امواج گرمایی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است.

صراف و همکاران (۱۳۹۵)، اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه را با روش من‌کندال بررسی نموده و به این نتیجه رسیده‌اند که اساس هر دو آزمون مذکور، در منطقه، دمای حداقل، حد بیش‌تر و متوسط هم در مقیاس سالانه و هم در مقیاس فصلی، روند افزایشی را تجربه کرده‌اند.

قاسمی‌فر و ناصرپور (۱۳۹۵)، به تحلیل امواج گرمایی و سرمای سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند. یافته‌های آنان نشان‌دهنده روند افزایشی دمای حداقل و روند کاهشی دمای حد بیش‌تر در بسیاری از ایستگاه‌ها بود.

عساکره و کیانی (۱۳۹۶)، به ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه پرداختند. طبق نتایج بررسی‌های آنان با افزایش طول دوره پایه، پیش‌بینی مدل بهتر خواهد شد و هرچه طول دوره کم‌تر باشد برآورد مدل چندان مناسب نخواهد بود.

کرم‌پور و همکاران (۱۳۹۶)، به شناسایی و تحلیل سینوپتیک امواج گرمایی غرب ایران پرداختند و نتایج حاصل از پژوهش آنان نشان داده است که ۷۰ موج در دوره گرم و ۷۳ موج در دوره سرد رخ داده است و بیش‌ترین میزان وقوع امواج گرمایی در ماه فروردین بوده است. سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی عملکرد مدل‌های ریز گردان LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی بارش و دما در ایستگاه‌های روانسر و کرمانشاه پرداختند طبق نتایج حاصل، در هر دو مدل، حداقل و حد بیش‌تر دما در دو دهه آینده تحت سناریوی A2 در هر یک از ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت. همچنین، طبق نتایج پژوهش آنان، در هر یک از دوره‌های کالیبراسیون و اعتبار سنجی، مدل SDSM از یک عملکرد مناسب‌تر نسبت به LARS-WG در شبیه‌سازی حداقل روزانه و حد بیش‌تر درجه حرارت در دو ایستگاه بهره‌مند می‌شود.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۶)، به تحلیل ساختار امواج گرمایی غرب و جنوب غرب ایران پرداختند. طبق نتایج حاصل، استقرار پرفشار آזור و ایجاد سیستم مانع، سبب تداوم امواج گرمایی به مدت پنج روز شده است.

به‌عنوان روز توأم با موج گرم انتخاب شدند. برای شناسایی روزهای گرم در محیط نرم‌افزار Excel روزهایی که با توجه به شاخص بالدی، دمای بالاتری از دمای میانگین کل دوره آماری را در ایستگاه مورد مطالعه نشان دادند، به‌عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی شدند.

در نهایت جهت ارزیابی توانایی مدل CanESM در پیش‌بینی میانگین حد بیش‌تر دمای ۳۱ سال آتی، خروجی‌های مدل به کمک شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAD<sup>۱</sup>)، میانگین مربع خطا (MSE<sup>۲</sup>)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE<sup>۳</sup>) در محیط نرم‌افزار Excel بررسی و با هم مقایسه گردید تا دقت دو مدل بکار گرفته شده ارزیابی شود. برای این کار، رابطه‌های ۴، ۵ و ۶ مورد استفاده قرار گرفت. در روابط زیر، A<sub>t</sub> مقدار مشاهده شده و F<sub>t</sub> مقدار برآورد شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد

(Wilks, 2006: 135).

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۶}$$

### محدوده مورد مطالعه

جهت انجام پژوهش حاضر، شهر ارومیه به‌عنوان شهر منتخب استان آذربایجان غربی انتخاب شد. شهر ارومیه یکی از شهرستان‌های چهارگانه استان آذربایجان غربی و مرکز این استان است. شهرستان ارومیه از شمال به شهرستان سلماس، از جنوب به شهرستان نقده و مهاباد، از شرق به دریاچه ارومیه و از غرب به مرز ایران و ترکیه محدود می‌شود. این شهرستان که در فاصله ۱۸ کیلومتری دریاچه ارومیه در داخل جلگه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر و عرض ۳۰ کیلومتر قرار گرفته است. در آخرین سرشماری ارائه شده از سوی مرکز آمار ایران دارای جمعیتی بالغ بر ۶۸۰۰۰۰ نفر می‌باشد که در مجموع در چهار منطقه از مجموع مناطق این شهر گسترده شده‌اند (طرح جامع ارومیه، ۱۳۹۲: ۱). در جدول ۱، مشخصات ایستگاه مورد مطالعه و شکل ۱ نقشه محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.

بردن به رفتار آینده مخاطره موج گرمایی و پارامتر دما، به شبیه‌سازی و پیش‌بینی شرایط دمای حد بیش‌تر و امواج گرمایی شهر ارومیه می‌پردازد تا نتایج آن بتواند در مطالعات و برنامه‌ریزی جهت مدیریت بحران در بخش‌های مختلف از جمله: منابع آب، کشاورزی و محیط‌زیست مفید واقع شود.

### روش انجام پژوهش

پژوهش حاضر، تحقیق کاربردی با روش توصیفی - تحلیلی بود که بر روی داده‌های حد بیش‌تر دمای ایستگاه سینوپتیک ارومیه طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ که از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده بود، با استفاده از مدل CanESM2 و سه سناریوی ۴/۵ RCP، RCP۲/۶ و RCP۸/۵ در محیط نرم‌افزار ریزگردان SDSM انجام شد و بدین ترتیب به شبیه‌سازی و پیش‌بینی امواج گرمایی و دمای حد بیش‌تر شهر ارومیه، طی سال‌های ۲۰۵۰ - ۲۰۲۰، پرداخته شد.

پس از آماده‌سازی و کنترل کیفی داده‌ها، متغیرها به صورت روزانه وارد نرم‌افزار SDSM شدند و توانایی نرم‌افزار در شبیه‌سازی داده‌های مشاهداتی در ایستگاه ارومیه، مورد ارزیابی قرار گرفت. این فرایند به سه مرحله تقسیم شد که شامل تجزیه و تحلیل مکانی، اعتبار سنجی مدل و تولید داده‌های مصنوعی آب و هوا است. پس از باز تولید و آنالیز داده‌های تولید شده توسط مدل، جهت ارزیابی توانایی آن در شبیه‌سازی حد بیش‌تر دما ایستگاه ارومیه در دوره مشاهداتی، از رسم نمودار پراکنش استفاده شد. در گام بعدی به مدل‌سازی رفتار آینده حد بیش‌تر دما و موج گرمایی پرداخته شد. به‌منظور محاسبه موج گرما، ابتدا میانگین و انحراف معیار داده‌ها محاسبه گردید که این کار با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ انجام شد:

$$m = \frac{\sum xi}{n} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (xi - m)^2}}{n} \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه (۱) میانگین داده‌ها،  $x_i$  دمای حد بیش‌تر و  $n$

تعداد روز است. در رابطه (۲) انحراف معیار دمای حد بیش‌تر روزانه ایستگاه ارومیه است که برای روزهای آماری محاسبه گردید. در نهایت جهت تعیین آستانه‌ای برای مشخص کردن روزهای توأم با موج گرمایی، از شاخص موج گرمایی بالدی استفاده شد (رابطه ۳).

$$\text{Heat Wave} = m + 1.5 * \sigma \quad \text{رابطه ۳}$$

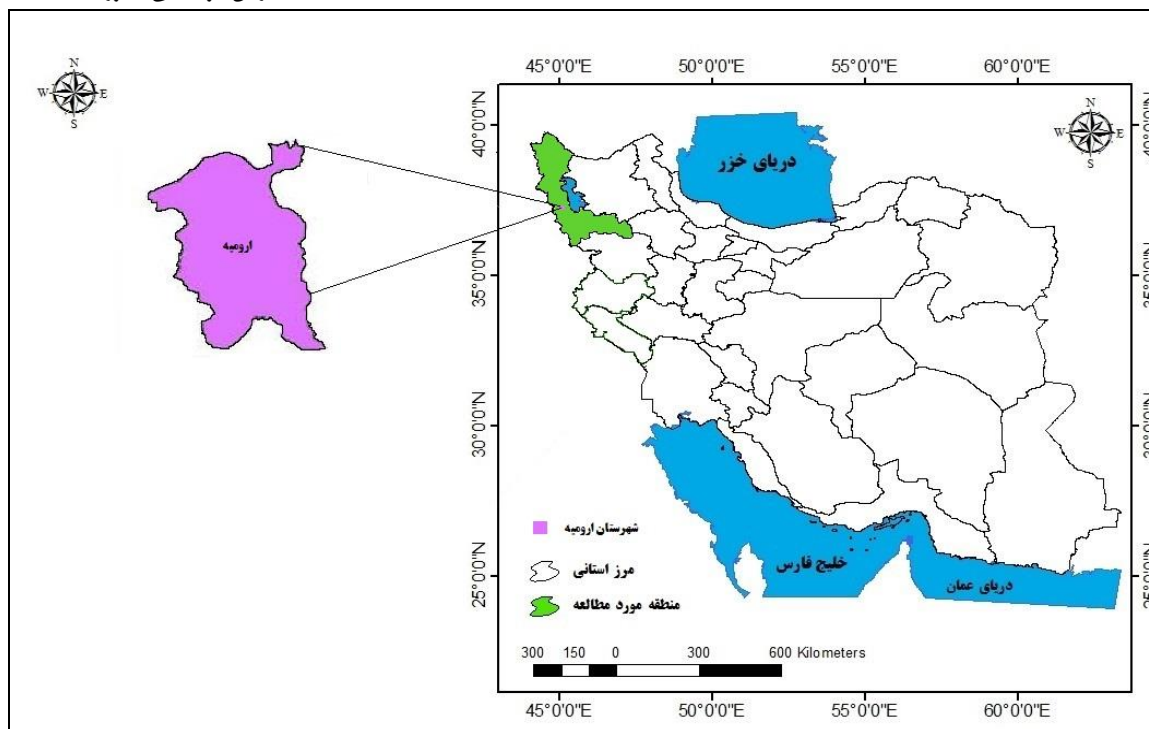
در رابطه (۳) میانگین و  $\sigma$  انحراف معیار است. روزهایی که آمار دمای حد بیش‌تر آن‌ها از شاخص موردنظر بیش‌تر بود.

1. Mean Absolut Deviation (MAD)  
2. Mean squared Error(MSE)  
3. Root Mean Square Error (RMSE)

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
ارومیه	۴۵/۰۵	۳۷/۶۵	۱۳۲۸

«مأخذ: سازمان هواشناسی کشور»



شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه

بزرگ مقیاس CanESM2 در شهر ارومیه ریزمقیاس نمایی شد. مهم‌ترین مرحله در استفاده از این مدل، انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها است. در جدول ۲، پیش‌بینی کننده‌های مدل CanESM2 که بیش‌ترین همبستگی را با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه مورد مطالعه داشتند انتخاب و میزان همبستگی جزئی بین آن‌ها و دمای حد بیش‌تر دوره پایه در ایستگاه منتخب آب و هوایی نشان داده شده است.

## یافته‌ها

جهت بررسی تغییرات دمای حد بیش‌تر طی ۳۱ سال آتی در محدوده مورد مطالعه، روشی اتخاذ گردید تا بتوان به وسیله آن، تغییرات پارامتر مذکور و امواج گرمایی را برای آینده، تحت تأثیر تغییر اقلیم با حداقل خطای ممکن پیش‌بینی نمود. بدین منظور، پس از ارزیابی توانمندی نرم‌افزار آماری SDSM، مقادیر آینده حد بیش‌تر دما، براساس خروجی‌های در دسترس از مدل

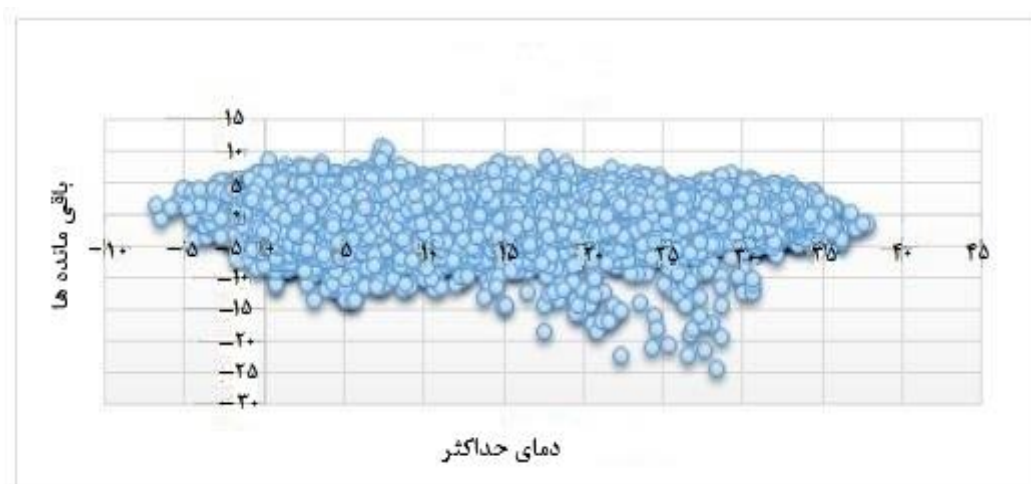
جدول ۲. مقادیر همبستگی جزئی پیش‌بینی کننده‌های منتخب مدل CanESM2 با دمای حد بیش‌تر، طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۱

توصیفات	مدل	متغیر	میزان همبستگی جزئی
ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	CanESM2	P5۰۰	۰/۲۳
متوسط دما		Temp	۰/۸۰

شده‌اند؛ بنابراین خطا وجود نداشته است و نرم‌افزار SDSM با مدل انتخابی، کارایی خوبی در ریزمقیاس نمایی و پیش‌بینی داده‌های دمای بیشینه در سطح منطقه مورد مطالعه خواهد داشت (شکل ۲).

به‌منظور آشکارسازی میزان کارایی مدل CanESM2، نمودار پراکنش مانده‌های مدل مذکور در برابر دمای حد بیش‌تر دوره پایه را برای شهر ارومیه ترسیم شد که بر اساس این نمودار، مانده‌ها فاقد روند خاصی بوده و در اطراف محور X متمرکز

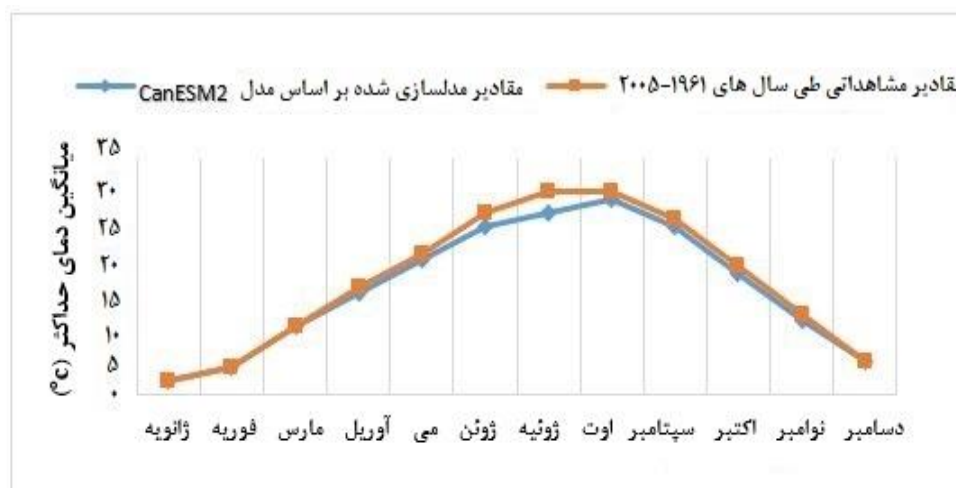




شکل ۲. نمودار پراکنش مانده‌های مدل CanECM2 در برابر دمای حد بیش‌تر

و شبیه‌سازی شده در ماه‌های مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان، انطباق بیش‌تری بر هم دارند و این امر نشان می‌دهد که این مدل، قادر هستند در فصول سرد سال، میانگین حد بیش‌تر دما را دقیق‌تر و با اختلاف اندکی نسبت به مقادیر واقعی پیش-بینی نمایند.

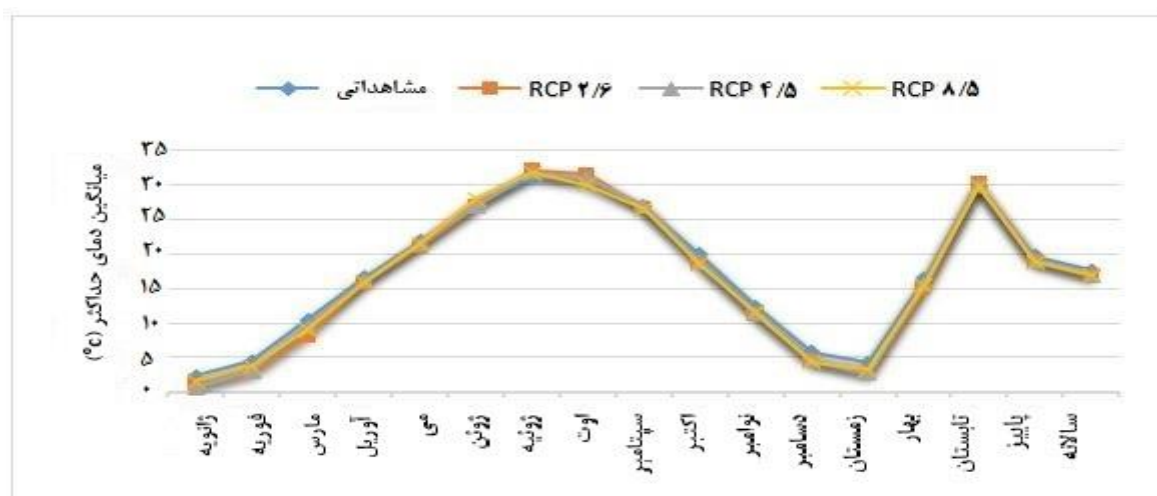
با توجه به تأیید دقت و کارایی نرم‌افزار SDSM با مدل CanECM2، در مرحله بعد داده‌های دمای حد بیش‌تر ایستگاه ارومیه طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ در مدل و نرم‌افزار انتخابی در مقیاس ماهانه شبیه‌سازی گردید. نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده پارامتر دمای حد بیش‌تر در شکل ۳، ارائه شده است. طبق نمودار مذکور، منحنی‌های مقادیر مشاهداتی



شکل ۳. نمودار داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حد بیش‌تر با مدل CanECM2 (۲۰۰۵-۱۹۶۱)

مدل CanESM2، با مقادیر شبیه‌سازی در قالب نمودار مقایسه شد. بررسی نمودار نشان داد که در این شهر میانگین حد بیش‌تر دما از اواخر زمستان تا اواخر بهار در هر سه سناریو نسبت به مقادیر مشاهداتی کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی خواهد داشت. بنابراین تابستان گرم‌تری نسبت به دوره پایه تجربه خواهد شد (شکل ۴).

پس از ارزیابی و شبیه‌سازی داده‌های حد بیش‌تر دمای ایستگاه مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار SDSM برای دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و براساس داده‌های NCEP، با استفاده از خروجی مدل‌های CanESM2 مقادیر دمای حد بیش‌تر دوره ۴۴ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۵)، در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه براساس سناریوهای (RCP ۲/۶)، (RCP ۴/۵) و (RCP ۸/۵)



شکل ۴. نمودار مقایسه‌ای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده براساس سناریوهای مدل CanESM2 (۲۰۰۵-۱۹۶۱)

ارائه شده است. طبق جدول، کم‌ترین خطا در پیش‌بینی دمای حد بیش‌تر شهر ارومیه مربوط به سناریوی Rcp ۸/۵ بود. لذا سناریوی مذکور به‌عنوان دقیق‌ترین سناریو انتخاب و پیش‌بینی براساس آن انجام گرفت. نتایج حاکی از روند افزایشی میانگین حد بیش‌تر دما در ارومیه طی ۳۱ سال آتی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) می‌باشد (شکل ۵).

در نهایت، جهت ارزیابی دقت مدل و انتخاب مناسب‌ترین سناریو جهت پیش‌بینی پارامتر دمای حد بیش‌تر برای ۳۱ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰)، خطاهای بین سری مشاهداتی و سری تولید شده با سه سناریوی Rcp ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ مدل CanEsm2، با کمک شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAD)، میانگین مربع خطا (MSE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید که نتایج حاصل در جدول ۳،

جدول ۳. صحت سنجی حد بیش‌تر دمای شبیه‌سازی شده با سناریوهای مدل CanEsm2 در ایستگاه منتخب

شهر	سناریو	مدل	MAD	MSE	RMSE
ارومیه	Rcp ۲/۶	CanEsm2	۱/۰۷	۱/۴۷	۱/۲۱
	Rcp ۴/۵		۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۹۴
	Rcp ۸/۵		۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۹۲

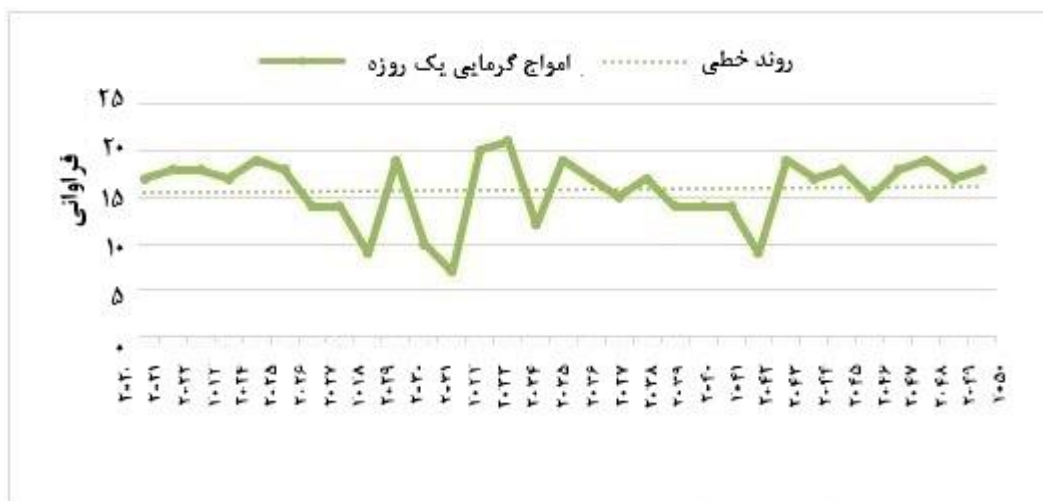


شکل ۵. نمودار روند خطی میانگین حد بیش‌تر دمای ایستگاه ارومیه، پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

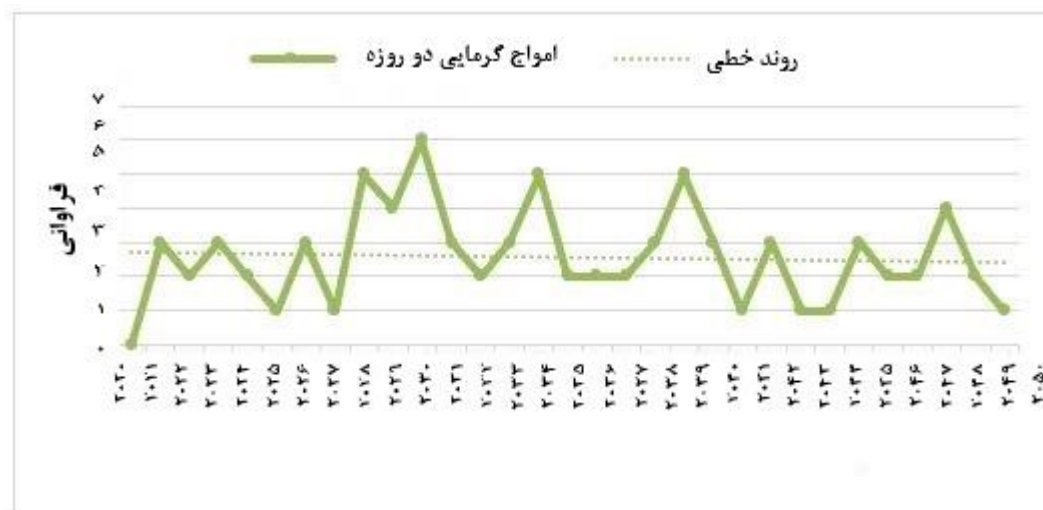
(۶، ۷، ۸، ۹) نمودار فراوانی و روند امواج گرمایی یک تا چهار روزه در مقیاس سالانه برای ۳۱ سال آینده ارائه داده است. براساس نمودارهای مذکور رخداد امواج گرمایی در شهر ارومیه طی سال‌های پیش‌بینی شده کوتاه‌مدت خواهد بود. طبق پیش‌بینی انجام شده حد بیش‌تر تداوم موج گرمایی ۴ روزه خواهد بود. لذا در این شهر طی سال‌های آتی موج گرمایی بلندمدت رخ نخواهد داد. همچنین بررسی روند امواج گرمایی پیش‌بینی شده نشان داد که طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ امواج یک روزه در شهر ارومیه روند افزایشی نامحسوس و جزئی، امواج گرمایی دو روزه، سه روزه و چهار روزه روند کاهشی محسوس خواهند داشت.

### شناسایی امواج گرمایی با اعمال شاخص بالدی بر حد بیش‌تر دمای پیش‌بینی شده

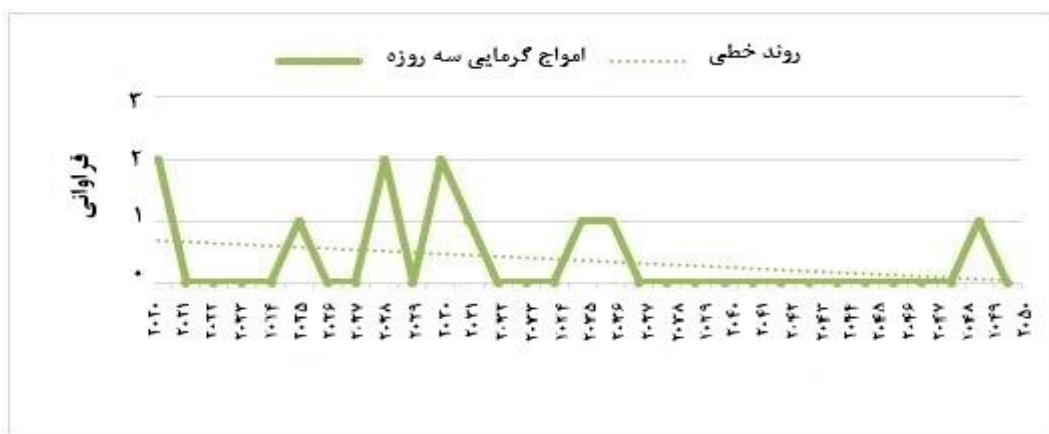
بر اساس تعریف بالدی (۲۰۰۴) روزهایی که تداوم امواج گرمایی در آن‌ها بین ۱ تا ۶ روز باشد، موج گرمایی کوتاه‌مدت و روزهای بالاتر از ۶ روز موج گرمایی بلندمدت نام گرفته است. در پژوهش حاضر، پس از پیش‌بینی دمای حد بیش‌تر با سناریوی Rcp 8.5 داده‌های مذکور بر اساس اعمال شاخص بالدی در محیط اکسل بررسی شد و روزهایی که با توجه به آن شاخص، دمای بالاتر از دمای میانگین کل دوره آماری ایستگاه ارومیه را نشان دادند، به‌عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی شدند. در شکل‌های



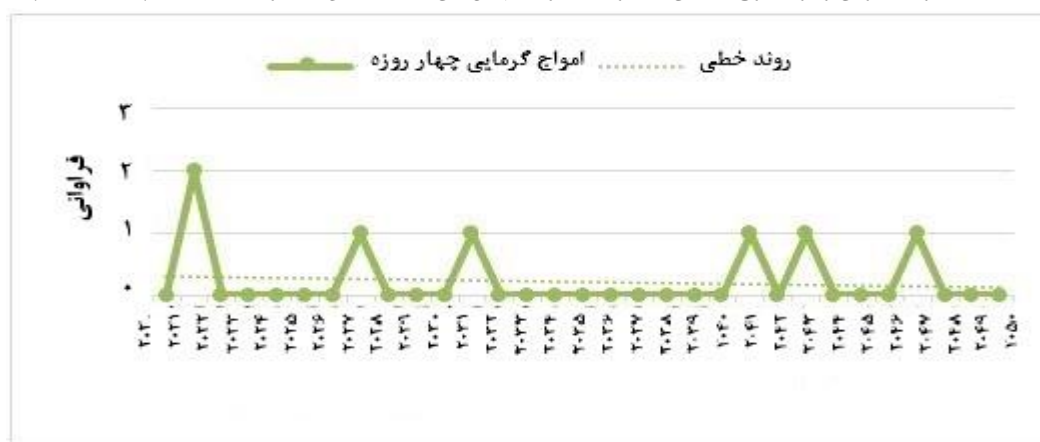
شکل ۶. نمودار فراوانی و روند امواج گرمایی یک روزه در ارومیه، پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۷. نمودار فراوانی و روند امواج گرمایی دو روزه در ارومیه، پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



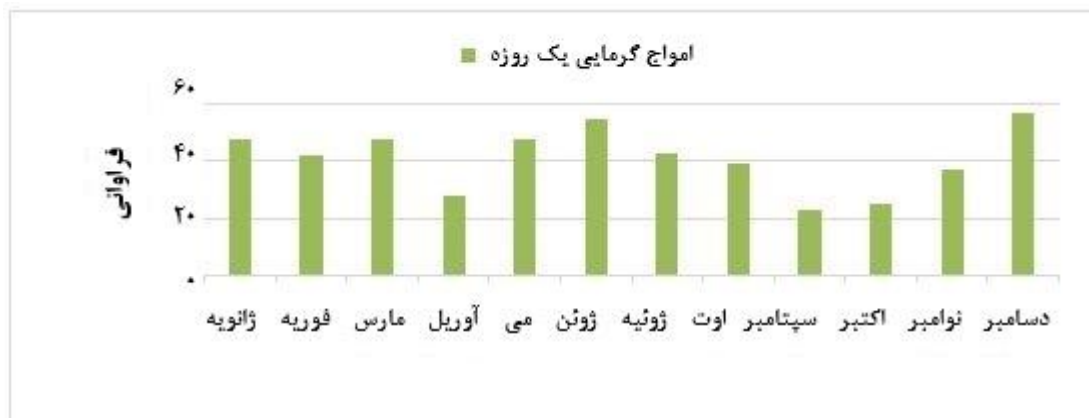
شکل ۸. نمودار فراوانی و روند امواج گرمایی سه روزه در ارومیه، پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۹. نمودار فراوانی و روند امواج گرمایی چهار روزه در ارومیه، پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

از نظر زمان وقوع، بالاترین فراوانی رخداد امواج گرمایی یک روزه در ماه دسامبر، امواج دو روزه در ماه نوامبر، امواج سه روزه در ماه سپتامبر و امواج چهار روزه در ماه آوریل خواهد بود. لذا انتظار می‌رود که طی سال‌های آتی در ماه‌های سرد سال افزایش دمای حد بیش‌تر و افزایش وقوع امواج گرمایی بیش‌تر تجربه شود.

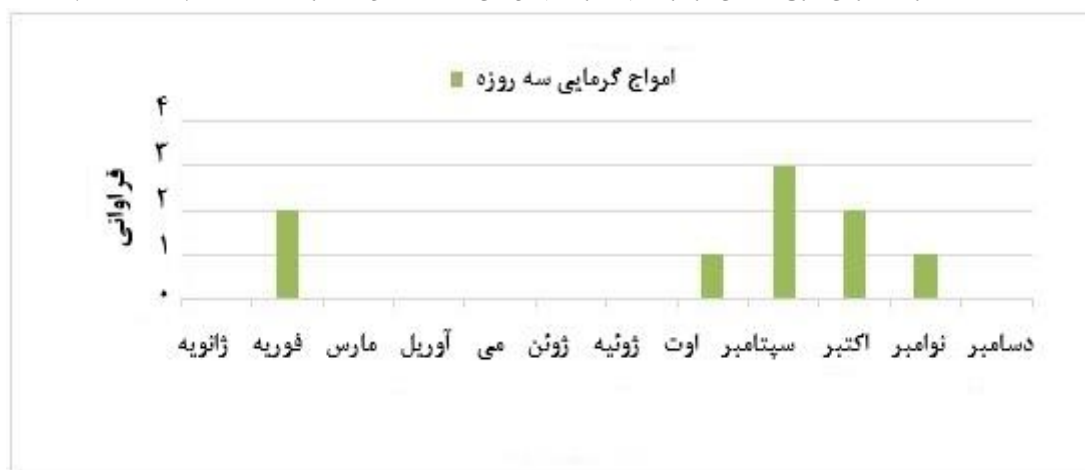
شکل‌های (۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳) به ترتیب نمودارهای فراوانی امواج گرمایی یک روزه، دو روزه، سه روزه و چهار روزه آینده ایستگاه ارومیه را طی دوره آماری پیش‌بینی شده در مقیاس ماهانه نشان می‌دهند. براساس نمودارهای یاد شده بیش‌ترین فراوانی امواج گرمایی مربوط به موج گرم ۱ روزه است. همچنین



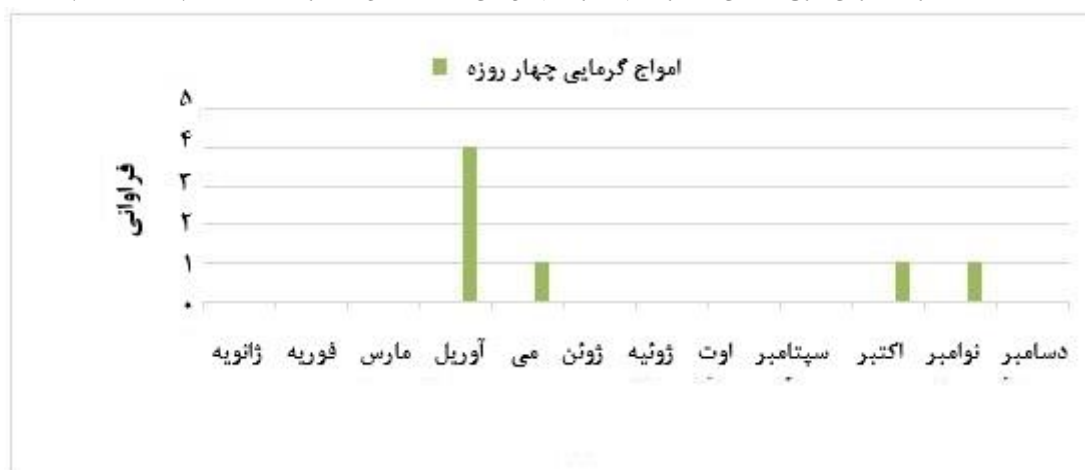
شکل ۱۰. نمودار فراوانی امواج گرمایی یک روزه شهر ارومیه پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۱۱. نمودار فراوانی امواج گرمایی دو روزه شهر ارومیه پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۱۲. نمودار فراوانی امواج گرمایی سه روزه شهر ارومیه پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۱۳. نمودار فراوانی امواج گرمایی چهار روزه شهر ارومیه پیش‌بینی شده براساس سناریوی RCP ۸/۵ (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

هدف از پژوهش حاضر شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حد بیش‌تر و امواج گرمایی شهر ارومیه به‌منظور پیش‌آگاهی جهت کاهش خسارات ناشی از رخداد این مخاطره بر زیست‌بوم این شهر بود.

### بحث و نتیجه‌گیری

طی دهه‌های اخیر، رخداد امواج گرمایی خسارات و تلفات جانی و مالی فراوانی را بر ساکنین مناطق مختلف جهان وارد کرده است.

های پژوهش حاضر، با مطالعات فرون و همکاران (۲۰۱۹)، روهینی و همکاران (۲۰۱۹)، بومباکو و همکاران (۲۰۱۳)، مجرد و همکاران (۲۰۱۴)، عساکره و کیانی (۲۰۱۶)، کرم‌پور و همکاران (۲۰۱۶)، مولودی و همکاران (۲۰۱۵)، قاسمی‌فر و ناصرپور (۲۰۱۵)، صراف و همکاران (۲۰۱۴)، صلاحی و قدرتی (۲۰۱۷)، حاتمی زرنه و همکاران (۲۰۱۸)، همراستا است. از نظر بیش‌تر پژوهشگران، از جمله سلاجقه و همکاران (۲۰۱۶) نرم‌افزار SDSM توانایی خوبی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی حد بیش‌تر دما دارد. نتایج تحقیق حاضر نیز عملکرد مناسب ریزگردان SDSM و مدل CanEsm2 تحت سناریوی RCP۸/۵ را تأیید نمود.

### راهکارها

با توجه به یافته‌های تحقیق راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- ✓ همکاری منسجم و پایدار نهادهایی همچون: شهرداری، استانداری، سازمان‌های آب، محیط‌زیست و هواشناسی جهت مدیریت بحران؛
- ✓ اصلاح الگوی کشت در بخش کشاورزی و باغداری و استفاده از گونه‌های مقاوم در برابر گرما و کم‌آبی؛
- ✓ استفاده از مصالح ساختمانی روشن به‌منظور کاهش جذب گرمای هوا جهت فراهم شدن آسایش حرارتی ساکنین؛
- ✓ تقویت ذخایر آبی با مهار کردن آب حاصل از بارش و ذوب برف به‌منظور استفاده در مواقع بحرانی ناشی از افزایش دما و کم آبی حاصل از وقوع امواج گرمایی؛
- ✓ هدایت آب‌های جاری سطحی به دریاچه ارومیه و حفاظت از آن در برابر خشکی ناشی از افزایش دما جهت مراقبت از اکوسیستم این منطقه و حفظ جاذبه‌های گردشگری و حیات جانوری وابسته به این دریاچه؛
- ✓ هشدار به اقشار مختلف جامعه به خصوص کودکان و سالمندان و بیماران قلبی-عروقی و ممانعت از خروج آن‌ها از منزل در شرایط دمای بالا؛
- ✓ تلاش برای حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری نادر و حساس به تغییرات دما در روزهای توأم با موج گرمایی.

### سپاسگزاری

با سپاس از همکاری سازمان هواشناسی کشور.

براساس نتایج به دست آمده، شبیه‌سازی‌های صورت گرفته با نرم‌افزار SDSM و مدل CanESM2 تحت سناریوی RCP ۸/۵ به‌عنوان کم‌خطاترین سناریوی انتخابی برای پیش‌بینی دمای حد بیش‌تر و امواج گرمایی شهر ارومیه از دقت قابل قبولی برخوردار بود و طبق پیش‌بینی‌های انجام شده، شاهد روند افزایشی میانگین حد بیش‌تر دما در شهر ارومیه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ خواهیم بود که این افزایش در پارامتر مورد بررسی، حدود ۰/۵ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد.

بیش‌ترین فراوانی امواج گرمایی مربوط به موج گرم ۱ روزه خواهد بود که حدود ۶۰ مورد پیش‌بینی شد. طولانی‌ترین موج گرمایی پیش‌بینی شده، تداوم ۴ روزه خواهد داشت. لذا احتمال وقوع موج گرمایی ۶ روزه و بیش‌تر که براساس تعریف بالدی موج بلند نامیده می‌شود، کم است. اما با توجه به اینکه امواج گرمایی کوتاه‌مدت کم‌تر از ۴ روز به‌ویژه در فصول سرد سال رخداد بیش‌تری خواهد داشت. لذا می‌توان اظهار داشت که این افزایش ناگهانی دما به مدت چند روز در ماه‌های سرد سال که گیاهان در خواب زمستانی به سر می‌برند یا در مرحله گل‌دهی (اواخر زمستان و اوایل بهار) هستند و با دمای پایین سازگاری بیش‌تری دارند، می‌تواند بر بخش کشاورزی و باغداری که مهم‌ترین بخش اقتصاد این منطقه از کشور است، بسیار آسیب‌زا باشد. همچنین مواردی از امواج گرمایی در فصول گرم پیش‌بینی گردید که افزایش ناگهانی و چند روزه دما در اثر وقوع موج گرمایی در فصل تابستان نیز می‌تواند مشکلاتی از قبیل گرمزدگی و به خطر افتادن سلامت گروه‌های حساس جامعه، آسیب به اکوسیستم منطقه، افزایش نیاز به وسایل خنک‌کننده، بالا رفتن میزان مصرف آب و برق را به دنبال داشته باشد. لذا آمادگی ارگان‌های مربوطه جهت کاهش پیامدهای حاصل از افزایش ناگهانی دما امری ضروری به نظر می‌رسد.

لازم به ذکر است که وقوع چنین بی‌نظمی‌های اقلیمی از جمله: افزایش متوسط دما در برخی شهرها و کاهش آن در برخی دیگر، جزء پدیده‌های «ترین» بوده و از نشانه‌های تغییر اقلیم یا تغییر آب و هوایی هستند و به دلیل اهمیتی پارامتر دما در اقلیم دارد و افزایش ۰/۵ درجه‌ای پارامتر دما آثار مخربی بر اکوسیستم یک شهر می‌تواند داشته باشد، لازم است مورد توجه مسئولین و برنامه‌ریزان این شهر قرار گیرد. همچنین بر اساس پیش‌بینی انجام شده، امواج گرمایی کوتاه‌مدت در این شهر طی سال‌های آتی افت‌وخیزهای زیادی را تجربه خواهد کرد. یافته-

### References

Añel, J., Fernández-González, M., Labandeira, X., López-Otero, X., & Laura de la, T. (2017). Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere*, 8(209), 1-13.

- Asakereh, H., & Kiyani, H. (2016). Evaluation of the efficiency of SDSM model in simulating the average temperature of Kermanshah city. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information (Sephehr)*, 27(105), 62-49. (In persian)
- Asakereh, H., & Akbarzadeh, Y. (2016). Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station during the period (2010-2100) using statistical exponential microscale (SDSM) and output of CanESM2 model. *Geography and environmental hazards*. 6(1), 174-153. (In persian)
- Baldi, M., Francesco, G., Marina, P., Cesar One, Ch. (2004). Heat Wave In The Mediterranean Region Analysis and Model Results. *Institute of Biometeorology*, 10(5), 1-12.
- Bumbaco, K., Nicholas, K., & Dello, B. (2013). History of Pacific Northwest Heat Waves, Synoptic Pattern and Trends. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(7), 1618-1631.
- Ceccherini, G., Russo, S., Ameztoy, I., Patricia, R., Claudia, C., & Moreno, C. (2016). Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: *the case of South America*. *Natural Hazards Earth System Hazardz*, 3(12), 821-83.
- Chobeh, S., & Kake Mami, A. (2014). Investigating the efficiency of statistical exponential microscale model (SDSM) in predicting temperature and precipitation parameters (case study: Baliqlochai watershed of Ardabil). *The second national conference on protection of natural resources and the environment*, University of Mohaghegh Ardabili. (In persian)
- Dasht Bozorgi, A., Alijani, B., Jafarpour, Z., & Shakiba, A. (2014). Simulation of extreme temperature indices of Khuzestan province based on RCP scenarios. *Geography and Environmental Hazards*, 4(16), 105-123. (In persian)
- Design Consulting Engineers. (2010). *Urmia City Master Plan*. (In persian)
- Feron, R., Sarah, R., Cordero, P., Alessdro, J., Damiani, L., Jorquera, E., sepulveda, V., Asencio, Laroze, D., Labbe, F., Carrasco, J., & torres, G. (2019). Observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific reports*. 9, 1-15.
- Ghasemifar, E., & Nasserpour, S. (2015). Synoptic analysis of heat and cold waves in the southern shores of the Caspian Sea. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information (Sephehr)*, 26(103), 146-137. (In persian)
- Hatami, Z., Hejazizadeh, D., Zahra, & Naserzadeh, M H. (2018). Analysis of time fluctuations of heat waves in the northwestern region of Iran and their relationship with greenhouse gases and global temperature anomalies. *Journal of Applied Research Geographical Sciences*, 19(52), 35-56. (In persian)
- Hoshiar, M., Sobhani, B., & Hosseini, A. (2017). The perspective of maximum temperature changes in Urmia using the statistical refinement of CanESM2 model output, *Scientific-Research Journal of Geography and Planning*, 22(63), 325-305. (In persian)
- Hoshiar, M., Sobhani, B., & Parvin, N. (2018). Synoptic statistical analysis of premature heat waves in northwest Iran. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 19(54), 185-203.
- Karampour, M., Rafiei, J., Jafari, A. (2016). Identification and Synoptic Analysis of Heat Waves in Western Iran (Ilam, Khuzestan, Lorestan, Kermanshah), *Environmental Risk Management (Knowledge of Former Risks)*, 4(3), 279 -263. (In persian)
- Khansari, S M., Mousavi Baighi, S M. (2016). *Prediction of heat waves under climate change scenarios in Razavi Khorasan province*. Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi Mashhad. (In persian)
- Khurshid Dost, A M., Zanganeh Shahraki, S., Zarei, Y., Mahmoudi, S. (2016). Collaborative Analysis of Heat Wave Hazards in Northwest Iran, *Natural Geography Quarterly*, 10(3), 1-14. (In persian)
- Li Bai, D., Gangqiang, G., Shaohua, Bi., Peng, Su., Buda, Q., Dahe, P., Ramamurthy, E., Bou, Z. (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of geophysical research Atmospheres an AGU JOURNAL*, (122), 168-178.
- Masoumpour Samakosh, J., Miri, M., & Pour Kemar, F. (2016). Evaluation of CMIP5 climate model data against Iranian observational data. *Iran Geophysics Journal*, 11, 40-53. (In persian)
- Mobaraki, O. & Abdoli, A. (2012). Hierarchy analysis of Urmia city areas based on sustainable urban development indicators. *Research in Geographical Sciences*, 3(30), 65-49. (In persian)

- Moises, A. Jorge, E. Nazario, R. Malaspina, & G. Cruz, B. (2018). Projections of Heat Waves Events in the Intra-Americas Region Using Multimodel Ensemble. *Advances in Meteorology*, 10, 1-16.
- Mojarad, F., Masoompour, J., & Rostami, T. (2014). Statistical analysis - synoptic analysis of heat waves above 40 degrees Celsius in western Iran. *Geography and Natural Hazards*, 1(13), 1-14. (In persian)
- Moloudi, G., Khorani, A., & Moradi, A. (2014). The effect of climate change on the heat waves of the northern coasts of the Persian Gulf. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3(1), 1-14. (In persian)
- Muhire, I. & Ahmed, F. (2016). Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda. *Theoretical and Applied Climatology*, 123, 399-414.
- National Meteorological Organization <http://www.irimo.ir>
- Noori, M. Sharifi, MB. & Heydari, M. (2014). Comparison of the SDSM and LARS-WG weather generators in Modeling of Climate Change in Golestan Province of Iran. *8th National Congress on Civil Engineering*, Noshirvani University of Technology, Babol.
- Rahimi, D., Mirhashmi, H., & Alizadeh, T. (2016). Analysis of the structure of heat waves in the west and southwest of Iran. *Geography and Environmental Planning*, 28(3), 69-80. (In persian)
- Rohini, P., Pajeevan, m., Mukhopahay, P. (2019). Future projections of heat waves over India from CMIP5 models. *Scientific reportes*, 29(53), 975-988.
- Safarian, V., Salahi, B., Maleki Meresht, R., & Kiyanian, Mk. (2019). Analysis of drought and standardized rainfall indices in the centers of cities in Ardabil province. *Urban Ecology Research Quarterly*, 11(21), 136 -121. (In persian)
- Salahi, B., & Godrati, Z. (2017). Prediction and analysis of heat waves in Zanjan using LARS-WG and Baldi index. *Natural Geography Quarterly*, 11(2), 35-48. (In persian)
- Saraf, B., Jalali Ansrodi, T., & Sar Afzoudeh, F. (2014). Effects of global warming on the climate of cities located in the Urmia Lake basin. *Urban Ecology Research Quarterly*, 6(12), 33-48. (In persian)
- Selajegeh, A., Rafiei Sardoi, E., Moghadamnia, AR, Malekian, A., Iraqinejad, Sh., Khaligi Sigarodi, Sh., & Salehpour Jam, A. (2016). Evaluation of the performance of WG-LARS and SDSM statistical microscale models In the simulation of temperature and precipitation. *Iran Water and Soil Research*, 48(2), 262-253. (In persian)
- Weihe, Z., Shuang, J., Tsun, H., Chen Yi, H., & Kai, Z. (2014). The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. *Environmental Research*, 14 (135), 81-85.
- Wilks, D. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, *Cornell University USA*, 3rd Edition, 100, 706.
- Yassin, O., Al-Ansari, N., Abdellatif, M., Sadeq Aljawad, B., Twardosz, S., Ursezula, R., & Kossowska, C. (2013). Exceptionally Hot Summers in Central and Eastern Europe (1951-2010). *Climatology*, 112(23), 617-628.
- Yassin, O., Al-Ansari, N., Abdellatif, M., Sadeq Aljawad, B., & Knutsson, S. (2014). Expected Future Precipitation in Central Iraq Using LARS-WG Stochastic Weather Generator. *Scientific Research*, 12(14), 948-959.
- چوبه، سپیده و کاکه مومی، آزاد (۱۳۹۴). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالیقلوچای اردبیل). *دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست*، دانشگاه محقق اردبیلی.
- حاتمی زرنه، داریوش؛ حجازی‌زاده، زهرا و ناصرزاده، محمد حسین (۱۳۹۸). تحلیل نوسانات زمانی امواج گرمایی منطقه شمالغرب ایران و ارتباط آن‌ها با گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری‌های دمایی کره زمین. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹(۵۲)، ۳۵-۵۶.
- خوانساری، سیدمحمد و موسوی بایگی، سیدمحمد (۱۳۹۶). *پیش‌یابی امواج گرمایی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی*. دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- خورشید دوست، علی محمد؛ زنگنه شهرکی، سعید، زارعی، یوسف و محمودی، سعید (۱۳۹۶). *تحلیل هم‌دیدگی مخاطره امواج گرما در شمال غرب ایران*. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۰(۳)، ۱۰-۱۴.



- دشت بزرگی، آمنه؛، علیجانی، بهلول، جعفرپور، زین العابدین و شکیب، علیرضا (۱۳۹۴). شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۴(۱۶)، ۱۲۳-۱۰۵.
- رحیمی، داریوش؛ میرهاشمی، حمید و علیزاده، تیمور (۱۳۹۶). تحلیل ساختار امواج گرمایی غرب و جنوب غرب ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۸(۳)، ۸۰-۶۹.
- سازمان هواشناسی کشور <http://www.irimo.ir>
- سلاجقه، علی؛ رفیعی ساردوئی، الهام، مقدم نیا، علیرضا، ملکیان، آرش، عراقی نژاد، شهاب، خلیقی سیگارودی، شهرام و صالح پور جم، امین (۱۳۹۶). بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری WG-LARS و SDSM در شبیه‌سازی دما و بارش. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۸(۲)، ۲۶۲-۲۵۳.
- صراف، بهروز؛ جلالی عنصرودی، طاهره و سرافزوده، فاطمه (۱۳۹۴). اثرات گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه. *دو فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۶(۱۲)، ۴۸-۳۳.
- صفریان، وحید؛ صلاحی، برومند، ملکی مرشت، رقیه و کیانیان، محمدکیا (۱۳۹۹). تحلیل شاخص‌های خشک‌سالی و بارش استاندارد شده در مراکز شهرهای استان اردبیل. *دو فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۱۱(۲۱)، ۱۳۶-۱۲۱.
- صلاحی، برومند و قدرتی، زینب (۱۳۹۷). پیش‌بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریزگردان LARS-WG و شاخص بالدی. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۱(۲)، ۴۸-۳۵.
- عساکره، حسین و کیانی، حدیث (۱۳۹۶). ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۷(۱۰۵)، ۶۲-۴۹.
- عساکره، حسین و اکبر زاده، یونس (۱۳۹۶). شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۰۱۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۶(۱)، ۱۷۴-۱۵۳.
- قاسمی‌فر، الهام و ناصرپور، سمیه (۱۳۹۵). تحلیل سینوپتیکی امواج گرما و سرما در سواحل جنوبی دریای خزر. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۶(۱۰۳)، ۱۴۶-۱۳۷.
- کرم‌پور، مصطفی؛ رفیعی، جعفر و جعفری، ایوب (۱۳۹۶). شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران (ایلام، خوزستان، لرستان، کرمانشاه). *مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، ۴(۳)، ۲۷۹-۲۶۳.
- مبارکی، امید و عبدلی، اصغر (۱۳۹۲). تحلیل سلسله مراتب مناطق شهر ارومیه بر پایه شاخص‌های توسعه پایدار شهری. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۱۳(۳۰)، ۱۳-۴۹.
- مجرد، فیروز؛ معصوم‌پور، جعفر و رستمی، طیبه (۱۳۹۴). تحلیل آماری - همدیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران. *جغرافیا و مخاطرات طبیعی*، ۱(۱۳)، ۱۴-۱.
- معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی و پورکمر، فاطمه (۱۳۹۶). ارزیابی داده‌های مدل‌های اقلیمی CMIP5 در مقابل داده‌های مشاهده‌ای ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۱، ۴۰-۵۳.
- مهندسان مشاور طرح و آمایش (۱۳۹۲). *طرح جامع شهر ارومیه*.
- مولودی، گلاله؛ خورانی، اسدالله و مرادی، عباس (۱۳۹۴). اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳(۱)، ۱۴-۱.
- هوشیار، محمود؛ سبحانی، بهروز و حسینی، سید اسعد (۱۳۹۷). چشم‌انداز تغییرات دماهای حد بیش‌تر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل CanESM2. *نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۲(۶۳)، ۳۲۵-۳۰۵.
- هوشیار، محمود؛ سبحانی، بهروز و پروین، نادر (۱۳۹۸). تحلیل آماری سینوپتیکی امواج گرمایی زودرس در شمال غرب ایران. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹(۵۴)، ۲۰۳-۱۸۵.