

شناسایی و تحلیل امواج گرمایی شهرهای تبریز و اردبیل و پیش‌بینی آن تحت

سناریوهای مدل اقلیمی CanEsm2

رقیه ملکی مرثت^{۱*}، بهروز سبحانی^۲

^{۱*} - دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

^۲ - استاد آب و هواشناسی، دانشکده محیط علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* ایمیل نویسنده مسئول: roghayeh.maleki1395@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷

چکیده

گرمایش جهانی و افزایش وقوع امواج گرمایی از مسائل مهم قرن حاضر است. لذا شبیه‌سازی و پیش‌بینی آینده‌نگر این مخاطره اقلیمی، می‌تواند مفید واقع شود. روش‌های مختلفی جهت بررسی امواج گرمایی وجود دارد که معتبرترین و پرکاربردترین آن‌ها، مدل CanEsm2 می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر، شناسایی و تحلیل امواج گرمایی شهرهای تبریز و اردبیل و پیش‌بینی آن تحت سناریوهای مدل اقلیمی CanEsm2 بود. بدین منظور ابتدا داده‌های دمای حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه، طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ از سازمان هواشناسی کشور اخذ و با استفاده از ریزگردان SDSM و مدل CanESM2 شبیه‌سازی و سپس تحت سناریوهای RCP 2.6, 4.5, 8.5 برای ۳۰ سال آتی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) پیش‌نگری شد. سپس با برنامه نویسی در محیط نرم افزار MATLAB و اعمال شاخص Fumiaki بر داده‌های بیشینه دمای پیش‌بینی شده، امواج گرمایی ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ شناسایی گردید و امواج گرمایی با تداوم ۶ روزه و بالاتر، امواج گرم بلندمدت و امواج گرمایی با تداوم ۵ روزه و کمتر از آن امواج گرم کوتاه مدت نامگذاری شدند. یافته‌های پژوهش نشان دادند که، امواج گرمایی در هر دو دوره (۲۰۱۸-۲۰۳۰) و (۲۰۲۰-۲۰۵۰) در هر دو شهر تبریز و اردبیل کوتاه مدت بوده و بالاترین تداوم آن در ۱۶ سال گذشته در هر دو شهر حداکثر ۴ روز بوده و در دوره پیش‌بینی شده در اردبیل ۴ روزه و در تبریز ۵ روزه خواهد بود. همچنین طبق نتایج، در هر دو دوره، امواج گرمایی کوتاه مدت ۲ روزه بیشترین فراوانی را نشان داد. براساس یافته‌های پژوهش حاضر، در هر دو شهر مورد مطالعه، بیشترین فراوانی وقوع امواج گرمایی در دوره گذشته اغلب در بهار بوده و در ۳۰ سال آینده در بهار و پاییز خواهد بود.

کلمات کلیدی

"امواج گرمایی"، "مدل CanEsm2"، "تبریز و اردبیل"

۱- مقدمه

(عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) معتبرترین وسیله برای شبیه‌سازی واکتس اقلیم جهانی به غلظت گازهای گلخانه‌ای هستند (گزارش هیات بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۰۱). کشور ایران به دلیل قرارگیری در محل فرونشینی پرفشار دینامیکی جنب حاره، نزول مداوم هوا را در ترازهای میانی و فوقانی ورد سپهر تجربه می‌کند. این نزول و پایدارای هوا و به دنبال آن وقوع امواج گرمایی در فصول مختلف سال، پیامدهای مخربی دارد و کاهش این پیامدهای منفی در آینده، در گرو شناسایی ساز و کار، پیش‌بینی سامانه‌های هواشناسی به وجود آورنده و کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آن بر روی سلامت عمومی و نیز شناسایی مناطق آسیب پذیر می باشد (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۸). طی سال‌های اخیر شناسایی، تحلیل و پیش‌بینی دمای بیشینه و امواج گرمایی و تأثیر آن بر جنبه های مختلف زیست محیطی مورد توجه بسیاری از پژوهش گران داخلی و خارجی قرار گرفته و از روش‌های مختلف جهت مطالعه این مخاطره اقلیمی استفاده شده است که در این بخش به چند مورد از آن ها اشاره می‌گردد:

Yassin (2013) به بررسی تابستان‌های بسیار داغ در مرکز و شرق اروپا از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ پرداختند و دریافتند که فراوانی وقوع تابستان گرم رو به افزایش است. نتایج بررسی‌های آنان همچنین نشان داد که رخداد امواج گرمایی به مناطق خاصی محدود نبوده و امکان

امروزه یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها از مخاطرات اقلیمی، رخداد امواج گرمایی است که به‌طور وسیع بر جوامع انسانی تأثیرگذار است. رخداد و شدت موج‌های گرمایی طی سال‌های اخیر در سراسر جهان، افزایش یافته است (Ding et al, 2006). افزایش میانگین دمایی می‌تواند منجر به پیدایش روزه‌های گرم‌تر و موج‌های گرمایی طولانی‌تر و مکرر شود. این امر به نوبه خود می‌تواند سبب افزایش بیماری‌های مرتبط با گرما همچون گرمزدگی، کرامپ گرمایی، ضعف گرمایی و حتی در موارد پیشرفته باعث مرگ شود (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵). شرایط اتمسفری راکد حاصل از امواج گرمایی، آلاینده‌ها را در مناطق شهری محبوس می‌سازد و با اضافه شدن تنش شدید آلاینده سمی، به تنش خطرناک هوای گرم موجود، یک مشکل زیست محیطی در ابعاد وسیع به وجود می‌آورد. همچنین در شب یا در زمستان، وجود هوای سرد در بالا باعث می‌شود که لایه هوای گرم‌تر زیرین آن به همراه لایه گرد و غبار ثابت بماند (Almusaed, 2011) در سال‌های اخیر، جهت شناخت تغییرات آب و هوایی و پیامدهای آن طی دهه‌ها و قرن‌های آینده، استفاده از مدل‌های جفت شده جوی- اقیانوسی مورد توجه قرار گرفته است. این مدها ابزار شناخته شده‌ای برای مطالعه اقلیم آینده هستند (Xu, 1999). این مدل‌ها قادرند متغیرهای اقلیمی را برای دوره طولانی با استفاده از سناریوهای مختلف مدل‌سازی نمایند

۱. General climate Model

وقوع آن در همه مکان‌ها وجود دارد. (Weihe (2014 جهت مطالعه امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گریتر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداخته‌اند. طبق یافته‌های آنان، فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه داشته و آب‌های آزاد نیز اثر بیشتری بر حداقل دمای روزانه دارند. (Fereydoni (2015 احتمال رخداد امواج گرمایی را در نواحی شمالی ایران بررسی نمودند و نتایج نشان داده است که احتمال رخ داد امواج ۱ تا ۳ روز در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از بقیه است. (Ceccherini et al (2016 به بررسی امواج گرمایی و سرمایی در سراسر آمریکای جنوبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بسامد و شدت دوره‌های گرم به ویژه طی ۱۰ سال اخیر افزایش یافته است؛ اما تغییرات قابل توجهی در امواج سرمایی ایجاد نشده است. (Paravantis et al (2017 آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیره حرارتی شهری را در مرگ و میر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آتن بررسی کرده‌اند و یافته‌های پژوهش آنان نشان داده است که همبستگی بالایی در مرگ و میر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال و دماهای بالا وجود دارد. در دمای متوسط مرگ و میر کمتر است ولی در دماهای بالا و بسیار بالا این مرگ و میرها به میزان ۲۰ تا ۳۵ درصد افزایش یافته است. (A. Añel et al (2017 به تحلیل آثار امواج گرمایی و سرمایی بر بخش تولید انرژی پرداختند. بررسی‌های آنان نشان داد که رخداد امواج سرمایی و گرمایی می‌تواند منجر به افزایش نیاز به تولید انرژی مصرفی شود. (Moises et al (2018 با استفاده از دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 رخداد امواج گرمایی را در منطقه داخلی آمریکای شمالی برای اواخر قرن ۲۱ پیش-بینی نمودند. (Rohini (2019 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. (Feron (2019 et al به بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند و دریافتند که در دهه‌های اخیر سهم روزهای بسیار گرم دو برابر شده است. (Tompson et al (2022 موج گرمایی ۲۰۲۱ غرب آمریکای شمالی را بررسی نمودند و طبق پیش‌بینی آنان، توزیع آماری فرین‌ها افزایش خواهد یافت و مناطقی که اخیر موج گرمای شدید نداشته‌اند، ممکن است آمادگی کمتری برای حوادث احتمالی قریب الوقوع داشته باشند. یزدانپناه (۱۳۹۰) در تحلیل امواج گرمایی شدید دریافتند که ایران طی سال‌های اخیر امواج گرمایی بیشتری را با حداکثر فراوانی در سال ۲۰۱۰ تجربه کرده است که بیشتر از میانگین بلند مدت آن است. مولودی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس پرداخته‌اند. نتایج حاصل نشان داده‌اند که امواج گرمایی کوتاه مدت، رخداد بیشتری دارند و نیز فراوانی امواج گرمایی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. الماسی و همکاران (۱۳۹۵) رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز پرداختند. طبق یافته‌های آنان، در این شهر امواج کوتاه مدت فراوانی رخ داد بیشتری داشته است. امیدوار و همکاران (۱۳۹۵) به روش آماری، احتمال وقوع امواج گرمایی استان کرمانشاه را تحلیل نمودند. بر اساس نتایج پژوهش آنان، در استان کرمانشاه بیشترین فراوانی امواج گرمایی در تیر ماه و مرداد ماه بوده و روند افزایشی داشته است. احمدی و همکاران، (۱۳۹۶) فرین‌های گرم ایران مبتنی بر برون‌داد مدل میان-

مقیاس منطقه‌ای (REGCM) را بررسی نمودند. یافته‌های آنان نشان داده است که، در دهه‌های آینده، بیشینه گرمای فرین در نیمه غربی و نوار ارتفاعی (کوهستان و کوهپایه) رخ خواهد داد به‌طوریکه فرین‌های دمایی در مناطق یاد شده بیشتر از نواحی داخلی و سواحل جنوبی کشور خواهند بود. صلاحی و قدرتی (۱۳۹۷) به پیش‌بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریز گردان LAR-WG و شاخص بالدی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در شهر زنجان بر اساس دو مدل BCM و HadCM 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 شده، در هر دو مدل، بر تعداد روزهای گرم افزوده می‌شود کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) به واکاوی آماری امواج گرمایی زابل پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل آنان نشان داد که در منطقه مورد مطالعه آنان موج‌های گرمایی کم دوام رخداد بیشتری داشته و امواج گرمایی با تداوم بالا، کمتر رخ داده است. در مجموع امواج گرمایی روند افزایشی داشته است. احمدی و کامنگر (۱۴۰۱) به تحلیل آماری و پیش‌بینی دمای ماهانه ایستگاه سنندج با استفاده از مدل سارما پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که دمای ماهانه سنندج تابعی است از متوسط دمای یک و دو ماه قبل و تابعی از پدیده تصادفی است و عدم وجود مقدار ثابت در مدل برازش یافته نشان دهنده عدم وجود قطعیت روند در میانگین ماهانه دمای سنندج است.

طبق پیشینه‌های انجام شده، طی سال‌های اخیر دمای بیشینه و فراوانی وقوع امواج گرمایی به ویژه امواج کوتاه مدت افزایش یافته همچنین اغلب پژوهش‌گران عملکرد ریزگردان‌ها و مدل‌های اقلیمی را پیش‌نگری دمای بیشینه برای سال‌های آینده تأیید نموده‌اند. لذا بررسی و پیش‌بینی امواج گرمایی در شهرهای تبریز و اردبیل که جزء کلان شهرهای ایران هستند جهت کاهش پیامدهای منفی ناشی از افزایش دما طی سال‌های آتی، ضروری به نظر می‌رسد. چراکه افزایش دمای این شهرها و تحت تأثیر رخ داد ناگهانی امواج گرمایی در فصول مختلف سال به عنوان یکی از مخاطرات مهم اقلیمی، از جمله نگرانی‌های مهم سیاست‌گذاران مدیریت شهری می‌باشد و رخ داد آن می‌تواند سبب تشدید گرمای مراکز شهری شده و در نتیجه خسارات زیست محیطی فراوانی را به دنبال داشته باشد. با توجه به اهمیت مسأله، هدف از پژوهش حاضر، شناسایی و تحلیل امواج گرمایی شهرهای تبریز و اردبیل و پیش‌بینی آن تحت سناریوهای مدل اقلیمی CanEsm2 می‌باشد و سعی بر این است تا ضمن بررسی گذشته‌نگر موج گرمایی شهرهای مورد مطالعه، دمای بیشینه و امواج گرمایی برای دو شهر مذکور پیش‌بینی گردد.

۲- روش انجام تحقیق

امواج گرمایی^۱ به نوسان‌های مثبت یا فرین‌های بالای میانگین دماهای حداکثر روزانه گفته می‌شود که طی روزها (گاه هفته‌ها و ماه‌های متوالی) در فضاهای جغرافیایی خاصی استمرار زمانی دارند (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰). در پژوهش حاضر جهت شناسایی و تحلیل امواج گرم، داده‌های حداکثر دمای روزانه ایستگاه اردبیل مطالعه، طی سال‌های

۱. Heat Waves

$$x(i, j, n) = \Delta T(i, j, n) \div \overline{\sigma(i, j)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه $\overline{\sigma(i, j)} = \sqrt{\sigma^2(i, j)}$ می‌باشد. امواج گرمایی با استفاده از شاخص‌های مختلفی شناسایی و بررسی می‌گردد. یکی از این شاخص‌ها، شاخص فومیاکی^۵ است که با کمک این شاخص به هنجار شده دما و از طریق برنامه نویسی در محیط نرم افزار متلب، روزهایی که دست کم دو روز تداوم داشته و دمای آن بالاتر از +۲ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) باشد، به عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی می‌گردد. در ادامه، پس از برنامه‌نویسی در نرم-افزار Matlab، روزهایی که ضریب NTD آن‌ها بالاتر از میانگین بود و حداقل ۲ روز تداوم داشت توسط این برنامه، روز توأم با موج گرمایی معرفی گردید. بنابراین؛ تعریف موج گرم در این پژوهش این‌گونه بیان می‌شود که: هرگاه ضریب (NTD) برای P روز متوالی ۲ انحراف معیار بالاتر از میانگین باشد، یک موج گرمایی P روزه داریم؛ به عبارتی اگر (i) NTD معرف دمای بهنجار شده روز i ام باشد (رابطه ۶)، آنگاه یک موج گرمایی P روزه داریم (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

$$NTD(i), NTD(i+1), \dots, NTD(i+p-1) \geq 2, NTD(i-1), NTD(i+p) \leq 2$$

آنگاه یک موج گرمایی P روزه داریم (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). جهت ارزیابی توانایی سناریوهای مدل CanESM2 در پیش‌بینی میانگین حداکثر دمای ۳۰ سال آتی، خروجی‌های هریک از سناریوها به کمک شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAD^۶)، میانگین مربع خطا (MSE^۷)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE^۸) بررسی و با هم مقایسه گردید (روابط ۷ و ۸ و ۹).

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه فوق، At مقدار مشاهده شده و Ft مقدار برآورد شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد (Wilks, 2011). در مرحله بعد به منظور پیش-بینی امواج گرمایی، پس از شبیه‌سازی و ارزیابی داده‌های حداکثر دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱)، با استفاده از نرم افزار SDSM، مقادیر پارامتر مذکور برای ۳۰ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) با استفاده از خروجی مدل CanESM2 که از مجموعه مدل‌های CMIP5 هست تحت کم خطا ترین سناریوهای RCP برای تبریز و اردبیل پیش‌بینی شد.

۳- محدوده مورد مطالعه

در پژوهش حاضر از داده‌های روزانه دمای حداکثر ایستگاه‌های هواشناسی همدید تبریز و اردبیل به ترتیب واقع در استان آذربایجان شرقی و اردبیل، استفاده شد. تبریز واقع در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و اردبیل دارای عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و طول

۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸، از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید و با کمک شاخص به هنجار شده دما فومیاکی^۱ و از طریق برنامه نویسی در محیط نرم افزار متلب، روزهایی که دست کم دو روز تداوم داشته و دمای آن بالاتر از +۲ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) بود، به عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی و انتخاب گردید. به منظور محاسبه این نمایه، نخست میانگین بلند مدت دما برای هر یک از روزهای سال محاسبه شد تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلند مدت مبنای داوری درباره گرمی آن روز قرار گیرد. میانگین بلند مدت دماهای هر روز با رابطه (۱) به دست می‌آید (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰؛ اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲):

$$\overline{T(i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} T(i, j, n) \div N \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه $T(i, j, n)$ دمای روز i ام از ماه j ام در سال n ام میانگین بلندمدت دمای روز i ام، از ماه j ام می‌باشد. برای از بین بردن نوفه‌های (نویز^۲) موجود در میانگین بلندمدت، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار بر روی این داده‌ها انجام شد. به این ترتیب میانگین بلند مدت دمای هر روز بر مبنای دمای همان روز و ۲۹ روز همسایه آن محاسبه شد. به بیان دیگر دمای هر روز نماینده وضع کلی دما در همان روز و دمای دو هفته پیش و دو هفته پس از آن است. در نتیجه آثار عوامل زود گذر محلی که موجب نوسان دما گردیده‌اند، حذف و اثرات سامانه‌های همدید که تغییرات کلان دما را تعیین می‌کنند، تقویت می‌شود. سپس به کمک رابطه (۲)، انحراف دمای هر یک از روزهای مورد بررسی، نسبت به میانگین بلندمدت محاسبه شد (فوجیبی و همکاران^۳، ۲۰۰۷؛ اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

$$\Delta T = (i, j, n) = T(i, j, n) - \overline{T(i, j)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه فوق $\Delta T = (i, j, n)$ انحراف مطلق دما از میانگین بلند مدت در روز j ام از ماه i ام، در سال n ام نسبت به میانگین بلند مدت دمای همان روز تقویمی است. برای آن که مقادیر انحراف دمای زمان‌های مختلف در یک نقطه جغرافیایی و مکان‌های مختلف در یک زمان معین با یکدیگر قابل مقایسه باشند، لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما، استانداردسازی شوند. همانند تغییرات روز به روز، پراش ΔT در ۳۱ روز برای هرروز تقویمی طبق رابطه (۳) به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد:

رابطه (۳)

$$\overline{\sigma^2(i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=16}^{j+16} [\Delta T(i, j', n) - \overline{\Delta T(i, j', n)}]^2 \div 31N$$

مقدار $\overline{\Delta T(i, j)}$ میانگین انحراف دما روی کرنل ۳۱ روزه است که از رابطه (۴) به دست آمد:

رابطه (۴)

$$\overline{\Delta T * (i, j)} = \sum_{n=2003}^{2018} \sum_{j=16}^{j+16} T(i, j', n) \div 31N$$

سرانجام نمایه فومیاکی یا انحراف دمای نرمال شده (NTD^۴) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید:

۱. Fumiaki

۲. Noise

۳. Fujibe & et al

۴. Normalized Thermal Deviation

۵. Fumiaki

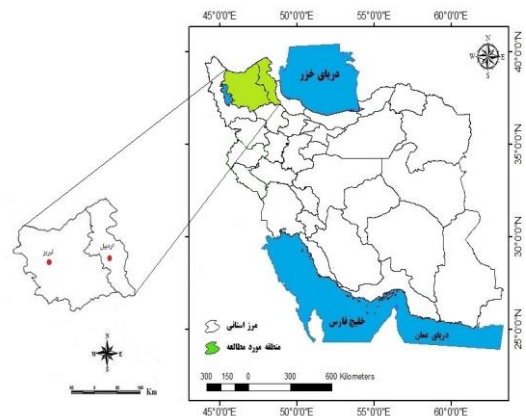
۶. Mean Absolut Deviation (MAD)

۷. Mean squared Error(MSE)

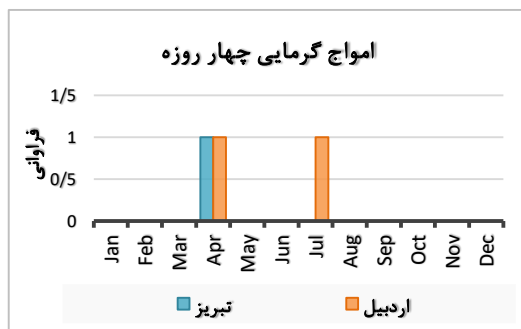
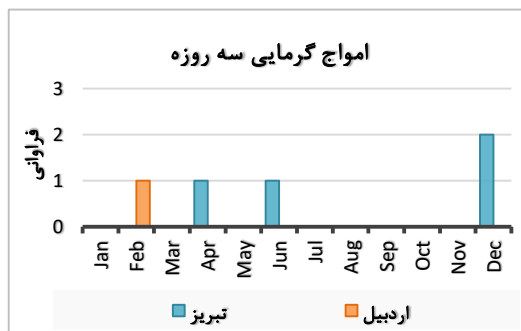
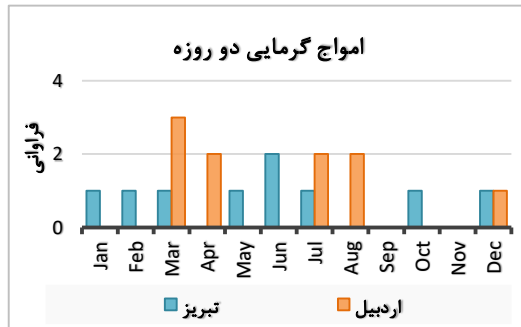
۸. Root Mean Square Error (RMSE)

۲۰۱۴	می	۲ روز	-
۲۰۱۴	دسامبر	۲ روز	-
۲۰۱۵	فوریه	-	۳ روز
۲۰۱۶	آوریل	-	۲ روز
۲۰۱۶	ژوئیه	-	۲ روز
۲۰۱۸	ژوئیه	۲ روز	۴ روز

جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۸). در شکل (۱) محدوده منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه (ترسیم: نگارندگان)



شکل ۲- نمودار فراوانی رخ داد امواج گرمایی دو، سه و چهار روزه براساس ماه در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸)

۴- یافته‌های تحقیق

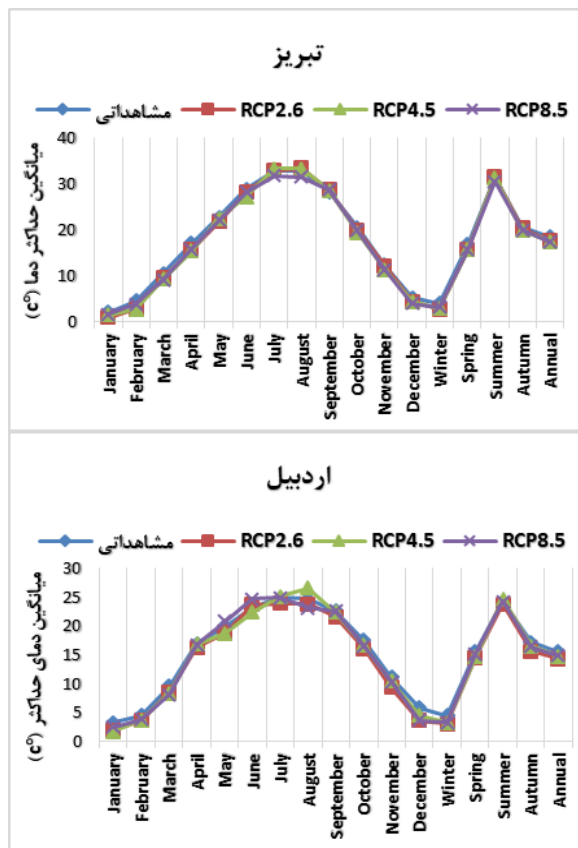
• نتایج بررسی دمای حداکثر و شناسایی امواج گرمایی براساس نتایج به‌دست آمده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب (Matlab) و اعمال شاخص فومیاکی (Fumiaki)، روزهایی که ضریب انحراف دمای نرمال شده (NTD) آن‌ها بالاتر از ۲ بود و حداقل ۲ روز تداوم داشتند، توسط این برنامه، روز توأم با موج گرمایی معرفی گردیدند. در شکل ۲ نمودار فراوانی ماهانه رخداد امواج گرمایی در هر کدام از شهرها طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۸ ارائه شده است. امواج گرمایی شناسایی شده به دو دسته‌ی امواج کوتاه و امواج بلند تقسیم شدند (امواج گرمایی با تداوم بین ۲ تا ۵ روزه با عنوان امواج گرمایی کوتاه و امواج با تداوم ۶ روزه یا بیشتر، امواج گرمایی بلند معرفی گردیدند). طبق جدول ۱، امواج گرمایی طی ۱۶ سال مورد بررسی، در شهرهای اردبیل، تبریز کوتاه مدت بوده و حداکثر ۴ روز تداوم داشته، که در ماه دسامبر رخ داده است.

جدول ۱- تداوم امواج گرمایی شهرهای مورد مطالعه (۲۰۰۳-۲۰۱۸)

سال	ماه	پایداری موج در تبریز	پایداری موج در اردبیل
۲۰۰۳	اگوست	-	۲ روز
۲۰۰۴	مارس	-	۲ روز
۲۰۰۵	آوریل	۳ روز	۲ روز
۲۰۰۶	اگوست	-	۲ روز
۲۰۰۸	مارس	-	۲ روز
۲۰۰۸	آوریل	۴ روز	۴ روز
۲۰۱۰	ژانویه	۲ روز	-
۲۰۱۰	فوریه	۲ روز	-
۲۰۱۰	ژوئن	۲ روز	-
۲۰۱۰	اکتبر	۲ روز	-
۲۰۱۰	دسامبر	۳ روز	۲ روز
۲۰۱۱	ژوئیه	۲ روز	۲ روز
۲۰۱۳	مارس	-	۲ روز

• نتایج خروجی مدل CanEsm2

در این بخش از پژوهش، روشی اتخاذ گردید تا به وسیله آن، پارامتر حداکثر دما و مخاطره موج گرمایی برای شهرهای مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ با حداقل خطای ممکن پیش‌بینی شود و تغییرات آن نسبت به دوره‌ی پایه آشکار گردد. بدین منظور پس از ارزیابی توانمندی نرم افزار آماری SDSM، مقادیر آینده‌ی حداکثر دما، بر اساس خروجی‌های در دسترس از مدل بزرگ مقیاس CanESM2 در شهرهای تبریز و اردبیل ریزمقیاس نمایی انجام شد. مهم‌ترین مرحله در استفاده از این مدل، انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها می‌باشد. در جدول ۲ پیش‌بینی کننده‌های مدل CanESM2 که بیشترین همبستگی را با داده‌های مشاهداتی هر یک از شهرهای مورد مطالعه داشتند، انتخاب و میزان همبستگی جزئی بین آن‌ها و پارامتر



شکل ۴- نمودار مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ایستگاه‌های منتخب

پس از ارزیابی و شبیه‌سازی داده‌های حداکثر دمای دو شهر مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار SDSM برای دوره‌ی پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) و براساس داده‌های NCEP، به منظور ارزیابی دقت مدل و سناریوها، خطاهای بین سری مشاهداتی و سری تولید شده مدل ریزمقیاس سازی مذکور، با کمک شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAD)، میانگین مربع خطا (MSE)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید. مقادیر پارامتر مذکور برای ۳۰ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) با استفاده از خروجی مدل CanESM2 تحت سه سناریوی Rcp 2.6، Rcp 4.5 و Rcp 8.5 و 8.5 پیش‌بینی شد. طبق جدول ۳، میزان خطای داده‌های مشاهداتی با داده‌ی تولید شده در هریک از شهرها، کم و قابل چشم پوشی بود.

جدول ۳- خطا سنجی حداکثر دمای شبیه سازی شده با مدل CanEsm2

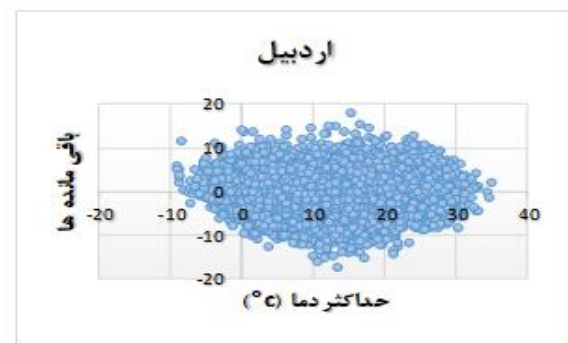
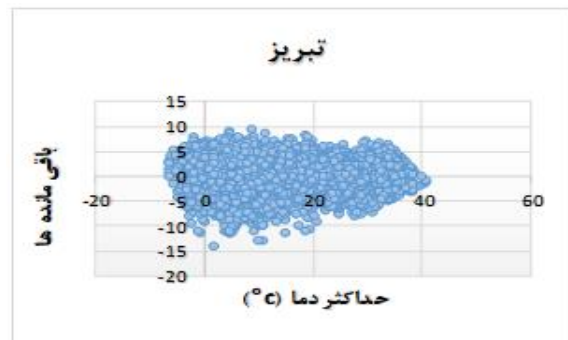
شهر	مدل	سناریو	MAD	MSE	RMSE
تبریز	CanEsm2	Rcp 2.6	۰/۸۳	۰/۹۳	۰/۹۷
		Rcp 4.5	۰/۹۸	۱/۲۵	۱/۱۱
		Rcp 8.5	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۰
اردبیل	CanEsm2	Rcp 2.6	۱/۱۶	۱/۵۵	۱/۲۵
		Rcp 4.5	۰/۹۲	۱/۱۰	۱/۰۵
		Rcp 8.5	۰/۹۲	۱/۲۳	۱/۱۱

حداکثر دما طی دوره‌ی مشاهداتی بر روی ایستگاه‌های منتخب آب و هوایی ارائه شده است.

جدول ۲- همبستگی جزئی پیش‌بینی کننده‌های منتخب مدل CanESM2 با حداکثر دمای مشاهداتی شهرهای مورد مطالعه (۲۰۰۵-۱۹۶۱)

متغیر	توصیفات	تبریز	اردبیل
P500	تراز 500 hp ارتفاع ژئوپتانسیل	۰/۱۳	۰/۲۱
Temp	متوسط دما	۰/۷۶	۰/۴۲

در شکل ۳ پراکنش مانده‌های مدل CanESM2 در برابر حداکثر دما (۱۹۶۱-۲۰۰۵) ارائه گردیده، بررسی نمودارهای پراکندگی، در شکل مذکور نشان می‌دهد که مانده‌ها برای هر دو شهر فاقد روند خاصی بوده و در اطراف محور X تمرکز یافته‌اند. لذا خطا وجود نداشته است و نرم افزار SDSM با مدل انتخابی، کارایی خوبی در ریز مقیاس نمایی و پیش‌بینی داده‌های حداکثر دما در تراز منطقه مورد مطالعه خواهد داشت.

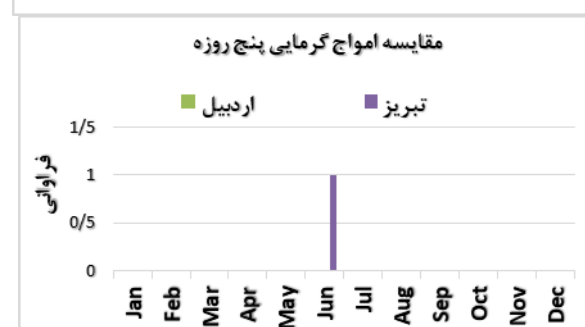
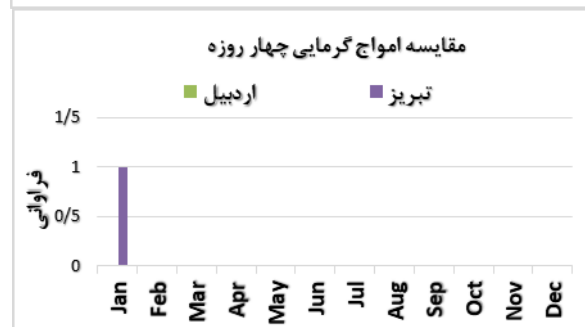
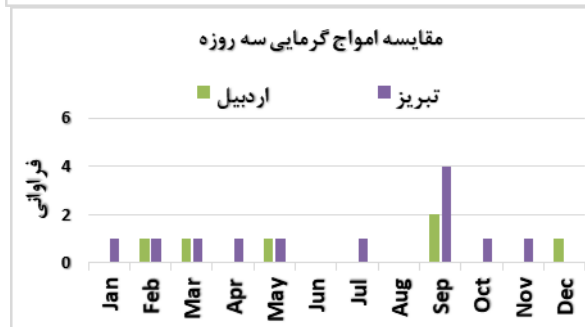
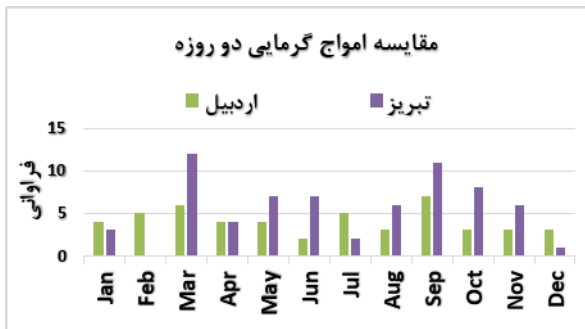
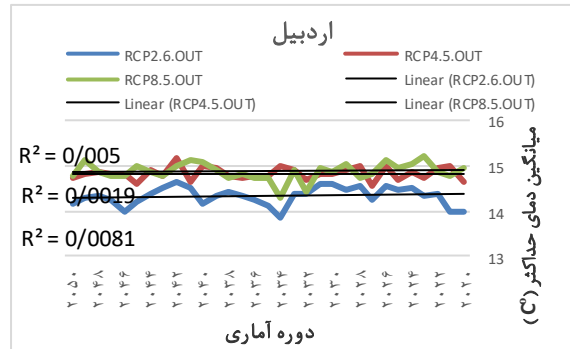


شکل ۳- پراکنش مانده‌های مدل CanESM2 در برابر حداکثر دمای شهرهای مورد مطالعه (۲۰۰۵-۱۹۶۱)

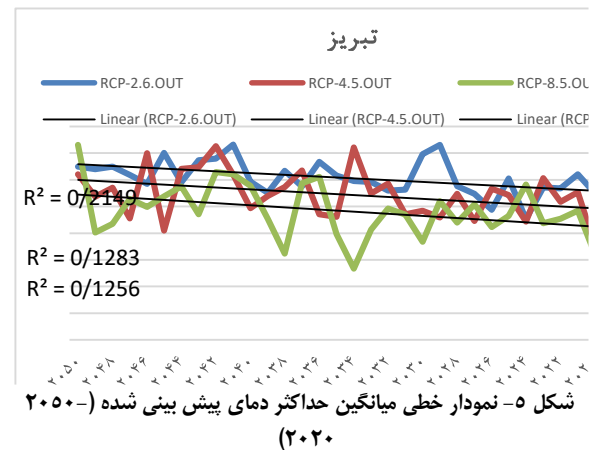
همچنین براساس نمودار مقایسه‌ای شکل ۴، مقادیر میانگین دمای حداکثر دوره‌ی پایه‌ی ۴۴ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل CanESM2، تحت سناریوهای خوش‌بینانه (RCP2.6) متوسط (RCP4.5) و بدبینانه (RCP8.5) در هر دو شهر مورد مطالعه، در دوره‌ی شبیه‌سازی شده، از اواخر زمستان تا اواخر بهار نسبت به دوره‌ی مشاهداتی کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی نشان می‌دهد. طبق سناریوهای مذکور، شهر اردبیل بیشترین تغییرات را در میانگین حداکثر دما نشان داد.

مقایسه‌ی تداوم امواج گرمایی دوره‌ی پایه‌ی ۱۶ ساله با ۳۰ سال پیش‌بینی شده، چنین نتیجه‌گیری شد که در دوره‌ی پایه نیز در هر دو شهر امواج گرمایی با تداوم دو روزه فراوانی بیشتری داشته‌اند. بررسی تفاوت امواج گرمایی دوره‌ی پیش‌بینی شده با دوره مشاهداتی نشان داد که امواج گرمایی در دوره مشاهداتی اکثراً در فصول سرد بوده است، در دوره پیش‌بینی شده نیز اغلب در ماه‌های مربوط به فصول سرد سال اتفاق خواهد افتاد. طبق نتایج در شهر اردبیل، تداوم امواج گرمایی نسبت به دوره پایه کاهش ولی در شهر اردبیل افزایش خواهد یافت. از نظر فراوانی وقوع ماهانه نیز در فصول بهار و پاییز امواج گرمایی بیشتری تجربه خواهند شد.

در شکل ۵، نمودار روند خطی میانگین حداکثر دمای دو شهر مورد مطالعه، برای ۳۰ سال آینده بر اساس سه سناریوی RCP 2.6, 4.5, 8.5 ترسیم گردیده است. بررسی نمودار مذکور، حاکی از روند افزایشی غیرمعتادار میانگین دمای حداکثر در هر دو شهر بود.



شکل ۶- نمودارهای مقایسه‌ی فراوانی امواج گرمایی دو تا پنج روزه پیش‌بینی شده (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۵- نمودار روند خطی میانگین حداکثر دمای پیش‌بینی شده (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

• امواج گرمایی پیش‌بینی شده براساس شاخص فومیایکی

در این بخش، جهت پیش‌بینی امواج گرمایی طی سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ با اعمال شاخص فومیایکی بر داده‌های حداکثر دمای پیش‌بینی شده، روزهایی که ضریب انحراف دمای نرمال شده آن‌ها بالاتر از ۲ بود و حداقل ۲ روز تداوم داشت، موج گرمایی معرفی گردید. در جداول ۳ فراوانی و تداوم امواج گرمایی پیش‌بینی شده برای هریک از شهرها براساس کم خطاترین سناریوی (طبق شاخص‌های خطاسنجی جدول ۲) ارائه شده است. طبق جدول مذکور طی ۳۰ سال آتی، در هر دو شهر تبریز و اردبیل، امواج گرمایی ۲ روزه، بیشترین فراوانی را خواهد داشت که بیشترین رخداد آن در شهر تبریز و کم‌ترین آن در شهر اردبیل است. امواج سه روزه نیز در شهر تبریز فراوانی بیشتری نسبت به شهر اردبیل خواهد داشت. همچنین طبق پیش‌بینی انجام شده، موج گرم ۴ روزه در هر دو شهر مورد مطالعه، یک مورد و موج گرمایی ۵ روزه نیز فقط در شهر تبریز، یک مورد پیش‌بینی شد. نمودارهای مقایسه‌ی فراوانی امواج گرمایی دو، سه چهار و پنج روزه پیش‌بینی شده براساس ماه، در شهرهای مورد مطالعه (۲۰۲۰-۲۰۵۰) در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. طبق شکل فوق‌الذکر، از نظر توزیع فصلی، بیشترین فراوانی امواج گرمایی ۲ روزه در شهر تبریز، مربوط به فصل بهار و در اردبیل فصل پاییز پیش‌بینی شد. امواج گرمایی ۳ روزه در هر دو شهر تبریز و اردبیل در فصل پاییز خواهد بود. امواج گرم چهار روزه ی در هر دو شهر در تابستان پیش‌بینی شد. امواج گرمایی پنج روزه که فقط در تبریز پیش‌بینی شد در اوایل تابستان رخ خواهد داد. با

۵- نتیجه‌گیری

خواهد بود و از آنجا که حداکثر دما نیز در هر دو ایستگاه روند افزایشی نشان داد، بنابراین می‌توان اظهار داشت که در اثر رخ داد مکرر و مداوم امواج گرمایی و افزایش دما به ویژه در ماه‌های سرد سال ممکن است شکوفه دهی و جوانه زنی زود هنگام محصولات زراعی و باغی حادث شود که در نتیجه وقوع متعاقب سرمای دیر رس بهاره بعد از یک موج گرمایی، در صورت عدم مدیریت بحران و اطلاعات ناکافی کشاورزان و باغداران، شاهد خسارت سنگین به اقتصاد کشاورزی در منطقه مورد مطالعه خواهیم بود. علاوه بر آن، به دلیل گرمسیر بودن شهرهای مورد مطالعه، افزایش دما قطعاً آسایش زیستی ساکنین را برهم خواهد زد. بنابراین ضروری است جهت مقابله با آثار سوء ناشی از افزایش دما تمهیدات لازم اندیشیده شود. یافته‌های پژوهش حاضر، از این لحاظ که امواج گرمایی طی سال‌های آتی روند افزایش خواهد داشت و بیشترین فراوانی رخ داد امواج گرمایی مربوط به امواج دو و سه روزه خواهد بود و اغلب در فصول سرد سال فراوانی بیشتری خواهد داشت، با یافته‌های اکثر پژوهش‌گران هم‌خوانی داشت.

سپاس‌گزاری

ضمن تشکر از سازمان هواشناسی کشور، مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

هدف اصلی پژوهش حاضر، شناسایی و تحلیل امواج گرمایی شهرهای تبریز و اردبیل و پیش‌بینی آن تحت سناریوهای مدل اقلیمی CanEsm2 بود. طی دهه‌های اخیر با مطرح شدن بحث تغییر اقلیم، فرین‌های آب و هوایی از جمله مخاطره موج گرما به وفور رخ می‌دهد، براساس نتایج حاصل از پژوهش حاضر، امواج گرمایی طی ۱۶ سال گذشته (۲۰۰۳-۲۰۱۸)، در هر دو شهر اردبیل، تبریز کوتاه مدت بوده و حداکثر ۴ روز تداوم داشته، که در ماه دسامبر رخ داده است. طبق یافته‌ها، در ۳۰ سال آتی نیز همانند دوره گذشته، در هر دو شهر تبریز و اردبیل، حداکثر تداوم موج گرمایی در اردبیل ۴ روزه و در تبریز ۵ روزه پیش‌بینی شد. از نظر توزیع فصلی، موج گرمایی در هر دو دوره در فصل بهار و پاییز فراوانی بیشتری نشان داد. با مقایسه‌ی تداوم امواج گرمایی دوره‌ی پایه ۱۶ ساله با ۳۰ سال پیش‌بینی شده، چنین نتیجه‌گیری شد که در هر دو دوره و در هر دو شهر، امواج گرمایی با تداوم ۲ روزه فراوانی بیشتری داشته‌اند. طبق نتایج در شهر اردبیل، تداوم امواج گرمایی نسبت به دوره پایه تفاوت چندانی نداشته ولی در شهر تبریز افزایش خواهد یافت. همچنین حداکثر دما در هر دو ایستگاه روند افزایشی خواهد داشت که بیشترین روند افزایشی در تبریز خواهد بود. براساس توضیحات ارائه شده و با توجه به این که بیشترین فراوانی وقوع امواج گرمایی در هر دو ایستگاه منتخب در ماه‌های سرد سال

منابع

- اسمعیل نژاد، م؛ خسروی، م؛ علیجانی، ب؛ مسعودیان، س. ا. (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران. جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱، ص ۵۴ - ۳۹.
- احمدی، م؛ کمانگر، م. ۱۴۰۱، تحلیل آماری و پیش‌بینی دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با کاربرد مدل SARIMA، مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، شماره ۱، ص ۱۳-۱.
- احمدی، م؛ داداشی رودباری، ع، ابراهیمی، ر. ۱۳۹۶. دورنمای فرین‌های گرم ایران مبتنی بر برون داد مدل میان مقیاس منطقه‌ای (REGCM4)، جغرافیا (فصلنامه علمی- پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران)، شماره ۵۲، ص. ۸۰-۶۷.
- اسمعیل نژاد، م؛ خسروی، م؛ علیجانی، ب، مسعودیان، س. ا. ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی ایران، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۳، ص. ۵۴ - ۳۹.
- امیدوار، ک؛ محمود آبادی، م؛ الفتی، س، مرادی، خ. ۱۳۹۵. بررسی احتمال وقوع امواج گرمایی در ایستگاه‌های منتخب استان کرمانشاه، مجله مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۱۰، ص. ۲۰-۱.
- الماسی، فائقه؛ طاووسی، تقی و حسین آبادی، نسرین (۱۳۹۵). واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز، مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۱۹، ص. ۱۵۰-۱۳۷.
- حیدری، ح. ر، گلبابایی، ف، ارسنگ جنگ، ش، شمسی‌پور، ع. ا. ۱۳۹۵. اعتبارسنجی شاخص Humidex در ارزیابی استرس گرمایی مشاغل روباز در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی کشور ایران، فصلنامه بهداشت و ایمنی کار، شماره ۳، ص ۳۰-۴۱.
- عباسی، ف، ملبوسی، ش، بابائیان، ا، اثمیری، م، برهانی، ر. ۱۳۹۸. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل ECHO-G، نشریه آب و خاک، شماره ۲، ص ۲۱۸-۲۳۳.
- سازمان هواشناسی کشور <http://www.irimo.ir>.
- کاشکی، ع ر؛ کرمی، مختار؛ باعقیده، م، علیمردی، م. ۱۳۹۸. واکاوی آماری امواج گرمایی زابل، دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، شماره ۳، ص. ۴۰-۵۵.
- قویدل رحیمی، ی. ۱۳۹۰. شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابر گرم تابستان ۱۳۸۹ در ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۱، ص. ۱۰۰-۸۵.
- صلاحی، ب، قدرتی، ز. ۱۳۹۷. پیش‌بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریزگردان LARS-WG و شاخص بالدی. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۴۰، ص ۳۵-۴۸.
- مولودی، گ، خورانی، ا مرادی، ع. ۱۳۹۴. اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۳، شماره ۱، ص. ۱۴-۱.

- هوشیار، م.، سبحانی، ب. و حسینی س.ا. ۱۳۹۷. چشم انداز تغییرات دماهای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل، CanESM2 نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، شماره ۲۲، ص ۳۰۵-۳۲۵.
- A. Anel, J., Fernandez-Gonzalez, M., Labandeira, X., Lopez-Otero, X. and L, De la Torre. 2017. Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. Atmosphere, Vol. 10. pp. 1-13.
- Almusaed, A. (2011). The Urban Heat Island Phenomenon upon Urban Components. Biophilic and Bioclimatic Architecture, Vol. 10: p. 139-150.
- Ceccherini, G., Russo, S., Ameztoy, I., Patricia Romero, C., Carmona-Moreno, C. 2016. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. Nat. Hazards Earth System. Vol. 16. p. 821-831.
- Ding, T., Qian, W., and Yan, Z. (2010). Changes in hot days and heat waves in China during 1926-1997. International Journal of Climatology, Vol. 30: p. 9220-9260.
- Feridoni, F., Attai, H. and Shahriar, F. 2015. Estimating the Occurrence Probability of Heat Wave Periods Using the Markov Chain Model, Journal of Sustainable Development, No. 2. pp. 26-45.
- Feron, Sarah, R, R, Cordero, Alessdro, Damiani, P, J, Llanillo, J, Jorquera, Edgardo. Sepulveda, V, Asencio, Laroze, D., Labbe, F., Carrasco, J., Torres, G. (2019), observations and projections of Heat Waves in south Americas. Scientific reports. P. 1-15.
- IPCC, (2001). Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: Cambridge University Press.
- Moises, A., Jorge. E, Nazario, R., Malaspina, González-Cruz, B. 2018. Projections of Heat Waves Events in the Intra-Americas Region Using Multimodel Ensemble. Advances in Meteorology.
- Paravantis, J., Santamouris, M., Constantinou, C., Efthymiou, Ch. and Kontoulis, N. 2017. Mortality Associated with High Ambient Temperatures Heat waves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece, June 2013, Sustainability. p. 1-22.
- Thompson, V., Kennedy-Asser, A T, Vosper, E., Eunice Lo, Y. T. Huntingford, Ch., Oliver Andrews, M, Hegerl, G., & Mitchell, D. 2022. The 2021 western North America heat wave among the most extreme events ever recorded globally, Science Advances. Pp. 1-10.
- Weihe Z., Shuang Ji., Tsun-Hsuan Ch., Hou Y., and Zhang K. 2014. The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. Environmental Research. Vol. 135: p. 81-87. 43.
- Xu, C.Y. (1999). "From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches", Prog Phys Geogr, Vol. 23: p. 229-249.
- Yassin. O, Al-Ansari, N. Abdellatif, Sadeq, M. Aljawad, B. Twardosz, S. Ursezula, R. Kossowska, C. (2013), Exceptionally Hot Summers in Central and Eastern Europe (1951-2010). Teron. Appl. Climatology, Vol. 112, P. 617-628.
- Rohini, P., Pajeevan, m. and Mukhopahay, P. 2019. Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, Climate Dynamics, Vol. 53. p. 975-988.
- Wilks D.S. (2006). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, Cornell University, USA 648.

Identification and analysis of heat waves in Tabriz and Ardabil cities and its prediction with CanEsm2 climate model scenarios

Roghayeh Maleki Meresht^{1*}, Behrooz sobhani²

1-Ph.D of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili.

2-Professor of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili.

*Email Address: roghayeh.maleki1395@gmail.com

Abstract

Introduction

Heat waves are one of the most dangerous climate threats associated with global warming, affecting society, economy and environment today, one of the most important concerns from climatic hazards is the occurrence of heat waves, which widely affects human societies. The occurrence and intensity of heat waves have increased throughout the world in recent years. (Ding et al., 2006). An increase in average temperature can lead to hotter days and longer and more frequent heat waves. This, in turn, can cause an increase in heat-related diseases such as heatstroke, heat cramps, heat weakness, and even in advanced cases to die (Haidari et al., 2016). The stagnant atmospheric conditions resulting from heat waves trap pollutants in urban areas, and with the addition of the severe stress of toxic pollutants to the dangerous stress of hot air, it creates a large-scale environmental problem. Also, at night or in winter, the presence of cold air above causes the warmer air layer below it to remain constant along with the dust layer (Almusaed, 2011). Weather and its consequences during the next decades and centuries, the use of coupled atmosphere-ocean models has been considered. These modes are well-known tools for studying the future climate (Xu, 1999). These models are able to model climate variables for a long period using different scenarios (Abbasi et al., 2019). Therefore the purpose of this study is Identification and analysis of heat waves in Tabriz and Ardabil cities and its prediction with CanEsm2 climate model scenarios

Methodology

In the present study to identify heat waves in Tabriz and Ardabil cities, Maximum daily temperature data of synoptic station of two studied cities, from 2003 to 2018, were obtained from the Meteorological Organization and then SDSM software and CanESM2 model and three RCP scenarios (2.6, 4.5 and 8.5) were used. Then using error measurement indicators maximum temperature was predicted and then the lowest risk scenario was selected for each city and the based on that scenario and using the Fumiaki index and through programming in MATLAB software, Days that had temperatures above +2 standard deviation or above average (NTD) and these conditions lasted for at least two days, were identified and selected as the day with heat waves. The Fumiaki index is obtained by relation 1:

$$T(i,j) = \sum_{n=2020}^{2050} T(i,j,n) \div N \quad (1)$$

Where $T(i, j, n)$ temperature of day i th from month j th in year n th, $T(i,j)$ the average temperature of day i from month j . To eliminate the noise in the mean, a 9-day moving average filter was performed on these data three times and calculated by the following equation (Fujibi et al., 2007; Ismail Nejad et al. 2014).

$$\Delta T = (i, j, n) = T(i, j, n) - T(i, j) \quad (2)$$

Where $\Delta T = (i, j, n)$ absolute deviation of temperature from the average on day j th of the month i th, in year n th compared to the average temperature of the same day. In order to the values of temperature deviation of different times and places to be comparable at a certain time and place, it is necessary to standardize these absolute values of temperature deviation by means of temperature diffraction. Like day-to-day changes, diffuse $T\Delta$ at 30 days for each day is calculated by the following equation:

$$\overline{\sigma^{2(i,j)}} = \sum_{n=2021}^{2050} \sum_{j'-31}^{j'+31} [\Delta T(i, j', n) - \overline{\Delta T(i, j', n)}]^2 \div 31N \quad (3)$$

The value $T(i, j)$ is the average temperature deviation in 30 days that is calculated by the following equation:

$$\overline{\Delta T * (i, j)} = \sum_{n=2020}^{2050} \sum_{j=j-31}^{j+31} T(i, j', n) \div 31N \quad (4)$$

Finally, (NTD) is calculated by the following equation:

$$x(i, j, n) = \Delta T(i, j, n) \div \sigma(i, j) \quad (5)$$

Where $\sigma(i, j) = \sqrt{\sigma^2(i, j)}$. Then days with temperatures +2 above average (NTD) and lasting at least two days, were selected as the day with the HW. (Ismail Nejad et al, 2014). Equation 6:

$$NTD(i), NTD(i+1) \dots NTD(i+p-1) \geq 2, NTD(i-1), NTD(i+p) \leq 2 \quad (6)$$

To evaluate the ability of CanESM2 model scenarios to predict the average maximum temperature for the next 31 years, the outputs of each scenario are averaged by the absolute error values (MAD), mean square error (MSE), root mean square error (RMSE) were compared and the most accurate and least error scenario was selected. Equation 7, 8, 9.

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (7)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (9)$$

Conclusion

According to the presented results, during the recent decades, with the discussion of climate change, climate events, including the risk of heat waves, occur abundantly. Based on the results of the present research, heat waves during the past 16 years (2003-2018) in both cities of Ardabil and Tabriz were short-term and lasted for a maximum of 4 days, which occurred in December. According to the findings, in the next 30 years, as in the previous period, in both Tabriz and Ardabil, the maximum duration of the heat wave was predicted to be 4 days in Ardabil and 5 days in Tabriz. In terms of seasonal distribution, heat wave showed more frequency in both periods in spring and autumn. By comparing the duration of heat waves in the base period of 16 years with the predicted 30 years, it was concluded that in both periods and in both cities, heat waves with a duration of 2 days were more frequent. According to the results in Ardabil city, the continuation of heat waves is not much different compared to the base period, but it will increase in Tabriz city. Also, the maximum temperature in both stations will increase, and the highest increase will be in Tabriz. Since the maximum temperature also showed an increasing trend in both stations. Therefore, we can say that due to the frequent and continuous occurrence of heat waves and temperature increase, especially in the cold months of the year, early flowering and germination of agricultural and garden crops may occur, which is the result of the occurrence of late spring cold. After a heat wave, if there is no crisis management and insufficient information of farmers and horticulturists, we will see heavy damage to the agricultural economy in the study area. In addition, due to the tropical nature of the studied cities, the increase in temperature will definitely disturb the living comfort of the residents. Therefore, it is necessary to think about the necessary measures to deal with the negative effects caused by the increase in temperature. The findings of the present research, in the sense that heat waves will increase in the coming years and the most frequent heat waves will be two and three day waves and will often be more frequent in the cold seasons of the year. The opinions of most researchers were consistent.

Keywords

"Heat waves", "CanEsm2 model", "Tabtiz and Ardabil"