

پیش‌نگری دمای بیشینه و امواج گرمایی ایستگاه‌های هواشناسی سنندج و کرمانشاه

رقیه ملکی مرشت^۱، بهروز سبحانی^{۲*}^۱ دانشجوی دکترای آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران^۲ استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۰۹ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

چکیده

دمای بیشینه، از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی و موج گرمایی، به عنوان یکی از مخاطرات آب و هوایی بسیار آسیب‌زا، می‌تواند جوانب مختلف محیط زیست را تحت تأثیر قرار دهند. هدف از پژوهش حاضر، پیش‌نگری دمای بیشینه و امواج گرمایی در ایستگاه‌های هواشناسی سنندج و کرمانشاه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ براساس مدل CanESM۲ بود. بدین منظور ابتدا داده‌های دمای بیشینه ایستگاه‌های مذکور، طی سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۰۵ از سازمان هواشناسی کشور اخذ و با استفاده از ریزگردان SDSM و مدل CanESM۲ شبیه‌سازی و تحت مناسب‌ترین سناریوی RCP برای ۳۱ سال آتی پیش‌نگری شد. سپس با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB و اعمال شاخص Fumiaki بر داده‌های بیشینه دمای پیش‌نگری شده، امواج گرمایی این ایستگاه‌ها طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ شناسایی گردید و به دو دسته امواج گرمایی بلندمدت و کوتاه مدت تقسیم شد. طبق نتایج حاصل، براساس شاخص RMSE سناریوی RCP ۴/۵ با میزان خطای ۰/۴۶ برای سنندج و براساس شاخص MAD سناریوی RCP ۸/۵ با میزان خطای ۰/۸۳ به عنوان کم‌خطاترین سناریو برای کرمانشاه، انتخاب شدند. براساس یافته‌ها، در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه از سال ۲۰۲۰-۲۰۵۰ امواج گرمایی بلند مدت تجربه نخواهد شد. به طوری که حداکثر تداوم امواج گرمایی در سنندج و کرمانشاه به ترتیب ۵ و ۴ روزه خواهد بود و امواج گرمایی کوتاه مدت ۲ روزه بیشترین فراوانی را خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد که در ۳۱ سال آینده بالاترین تداوم امواج گرمایی در هر دو ایستگاه اغلب در فصول سرد سال خواهد بود.

کلمات کلیدی: پیش‌نگری، امواج گرمایی، سنندج، کرمانشاه.

مقدمه

موج گرمایی^۱ یکی از پدیده های اقلیمی حدی است که می تواند پیامدهای بسیار خطرناکی داشته باشد و طی دهه های اخیر فراوانی وقوع آن در سراسر جهان افزایش یافته است. موج گرمایی ممکن است طی روزها (گاه هفته ها و ماه های متوالی) در فضاهای جغرافیایی خاصی استمرار زمانی داشته باشد (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰) و سبب از بین رفتن محصولات زراعی، آتش سوزی جنگل ها، مرگ و میر قابل توجه، مشکلات زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی زیادی گردد (صلاحی و قدرتی، ۱۳۹۷). آب و هوا یکی از مهم ترین فاکتورها در زیست بوم و تولید محصولات کشاورزی می باشد (مونن، ۲۰۰۲) و میزان توسعه و یا تخریب پوشش گیاهی یک منطقه، معمولاً تحت تأثیر عوامل اقلیمی تغییر می کند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۸). دما نقش مهمی در رشد گیاهان دارد و افزایش ناگهانی آن ممکن است سبب پیامدهای مخربی شود. تنش های گرمایی، رشد گیاه، فتوسنتز، رشد کرده و تولید مثل را مختل می کند (زاهید احسان و همکاران، ۲۰۱۹).

کشور ایران به دلیل قرارگیری در محل فرونشینی پرفشار دینامیکی جنب حاره، نزول مداوم هوا را در ترازهای میانی و فوقانی ورد سپهر تجربه می کند. این نزول و پایداری 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، پیش بینی سامانه های هواشناسی به وجود آورنده و کشف راه هایی برای کاهش تأثیرات آن بر روی سلامت عمومی و نیز شناسایی مناطق آسیب پذیر می باشد (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۸). طی سال های اخیر شناسایی، تحلیل و پیش بینی 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 روش های مختلف جهت مطالعه این مخاطره اقلیمی استفاده شده است که در این بخش به چند مورد از آن ها اشاره می گردد:

یاسین و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تابستان های 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 بررسی های آنان همچنین نشان داد که رخداد امواج

گرمایی به مناطق خاصی محدود نبوده و امکان وقوع آن در همه مکان ها وجود دارد. بومباکو و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تاریخچه امواج گرمایی در شمال غربی اقیانوس آرام با استفاده از تحلیل روند و همدیدی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که فراوانی امواج گرمایی در بیشتر نواحی ایالات متحده در حال افزایش است. ویی و همکاران (۲۰۱۴) جهت مطالعه امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گریت رهیستون، 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. پاروانتیس (۲۰۱۷) آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیره حرارتی را در مرگ و میر روزانه قلبی - عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال طی سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آتن بررسی نموده و یافته های آنان نشان داده است که همبستگی بالایی بین مرگ و میر روزانه قلبی و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال و دماهای بالا وجود دارد که بیشترین میزان مرگ و میر، در اثر امواج گرمایی گزارش شده است. فوندا و سانتامورس (۲۰۱۷) رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری در تابستان بسیار گرم ۲۰۱۲ در آتن را مطالعه نمودند. طبق نتایج به دست آمده، در روز حادثه، همبستگی قوی بین جزیره حرارتی شهری و امواج گرمایی وجود داشته است که این امر می تواند موجب افزایش چشم گیر خطر گرما در شهرها و آسیب پذیری جمعیت شهری گردد. قبادی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر امواج گرمایی بر جزایر حرارتی شهر کرج پرداختند. نتایج بررسی های آنان نشان داده است که هم زمان با حاکمیت امواج گرمایی، جزیره گرمایی شهری (UHI) در منطقه مورد مطالعه تشدید شده و دمای شهری در مقایسه با دمای مناطق روستایی، هم در روز و هم در شب افزایش یافته است. طبق مطالعات انجام شده توسط ای. آنل و همکاران (۲۰۱۷) رخداد امواج گرمایی می تواند منجر به افزایش نیاز آبی گیاهان شود. نتایج مطالعات آنان نشان داده است که تا سال ۲۰۷۰ روزهای بدون یخبندان افزایش و روزهای توأم با یخبندان در کل منطقه کاهش می یابد. براساس پیش بینی های مویسیس و همکاران (۲۰۱۸)، فراوانی وقوع امواج گرمایی در نقاط مختلف جهان افزایش خواهد یافت. روهینی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP۵ پرداختند. نتایج

میزان دما در منطقه مورد مطالعه وجود دارد. طبق بررسی‌های کرم پور و همکاران (۱۳۹۶)، امواج گرمایی در شهرهای جنوبی ایران نیز شرایطی مشابه سایر نقاط کشور داشته 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 BCM_2 و $HadCM_3$ موج کوتاه گرمایی روند افزایشی داشته است. در پژوهش کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) نیز واکاوی آماری امواج گرمایی شهر زابل نشان داده است که در این منطقه، موج‌های گرمایی کم دوام، فراوانی بیشتر و روند افزایشی داشته ولی امواج گرمایی پرتداوم کمتر رخ داده است. امواج گرمایی به دنبال شرایط همدیدی خاصی ایجاد می‌شود که به مدت چند روز در یک منطقه تداوم می‌یابد. این شرایط همدیدی را می‌توان قرار گرفتن پشته حاصل از مراکز واچرخندی و همگرا شدن، فرونشینی و در نهایت گرمایش هوا به صورت آدیاباتیک ذکر کرد که در چنین شرایطی در سطح زمین کم‌فشار و در سطوح فوقانی جو پر ارتفاع تشکیل یافته و در نهایت اُسبب حاکمیت موج گرمایی در یک منطقه می‌شود (قوبدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ خورشید دوست و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهشی دیگر، ناصر زاده و همکاران (۱۳۹۹) به آشکارسازی ارتباط زمانی مکانی عناصر اقلیمی و پوشش گیاهی با به کارگیری محصولات سنجنده‌های MODIS و TRMM در استان کهگیلویه و بویراحمد پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان داده است که عنصر دمای سطح زمین، در همه ماه‌ها به صورت هم‌زمان بالاترین همبستگی را با پوشش گیاهی داشته و بالاترین همبستگی فضایی بین شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین، مربوط به ماه‌های دسامبر تا مارس بود. براساس یافته‌های سیواکومار (۲۰۰۵)، طی دهه‌های آتی مخاطرات طبیعی همچون موج گرمایی در سراسر جهان شدت فزاینده‌ای خواهد یافت و پیامدهای اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی مخربی به ویژه در کشورهای در حال توسعه در پی خواهد داشت.

بررسی پیشینه‌های ارائه شده نشان داد که در بیشتر نقاط جهان از جمله کشور ایران، طی دهه‌های آتی فراوانی وقوع امواج گرمایی به ویژه امواج گرمایی کوتاه مدت، بیشتر

پژوهش آنان افزایش امواج گرمایی بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرده است. طبق بررسی‌های فرون و همکاران (۲۰۱۹) طی دهه‌های اخیر سهم روزهای بسیار گرم حداقل در دسامبر - ژانویه - فوریه دو برابر شده است. عامر حسن و همکاران (۲۰۲۰) و وحید ریاض و همکاران (۲۰۲۱) اثرات منفی تنش گرمایی بر رشد، فیزیولوژی، عملکرد و کاهش کیفیت گیاهان و میزان محصولات را تأیید نموده‌اند. فرج زاده و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر رشد پوشش گیاهی در مراتع متراکم ایران با استفاده از تصاویر AVHRR پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که پاسخ پوشش گیاهی به بارش ۲ ماه قبل و دما و رطوبت ۱ ماه قبل است. آنان دلیل کوتاهی زمان پاسخ گیاه به عناصر اقلیمی را قرارگیری در عرض‌های خشک و نیمه خشک عنوان کرده‌اند. در استان کرمانشاه به عنوان یکی از استان‌های غربی کشور، بیشترین فراوانی امواج گرمایی در تیر و مرداد ماه تجربه شده که روند افزایشی نیز داشته است (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵). مولودی و همکاران (۱۳۹۵) چنین نتیجه‌گیری گرفته‌اند که در سواحل شمالی خلیج فارس، فراوانی امواج گرمایی کوتاه مدت افزایش یافته است. همچنین الماسی و همکاران (۱۳۹۵) تغییرات بسامد امواج گرمایی کوتاه مدت (با تداوم کمتر از شش روز) شهر اهواز را بیشتر ذکر کرده‌اند. 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، کمینه و بیشینه 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 دمای کمینه و دمای بیشینه روزانه در دو ایستگاه بهره‌مند می‌شود. مکرم و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات پوشش گیاهی داراب فارس را در فصول مختلف رویشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ ETM+ (۲۰۱۵) و ASTER (۲۰۰۵) و ارتباط آن با تغییرات دما را بررسی نمودند. نتایج مطالعه آنان با استفاده از روش رگرسیونی نشان داده است که بیش از ۹۰ درصد موارد ارتباط معناداری بین شاخص‌های پوشش گیاهی و

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه های هواشناسی سنندج و کرمانشاه
مأخذ: سازمان هواشناسی کشور

ایستگاه	ارتفاع	طول	عرض
سنندج	۱۳۷۳/۴	۴۷	۳۵/۳
کرمانشاه	۱۳۱۸/۵	۴۷/۲	۳۴/۴

مواد و روش ها

الف - محدوده و قلمرو پژوهش

با مطرح شدن بحث تغییر اقلیم و گرمایش جهانی طی دهه های اخیر و اهمیت نوسانات دمایی و تنشی که در بخش های مختلف زیستی ایجاد می کند، دو ایستگاه هواشناسی همدیدی سنندج و کرمانشاه به عنوان نمونه ای از مناطق سردسیر و کوهستانی غرب ایران که با اقتصاد کشاورزی می باشند و مخاطره موج گرمایی در آن ها کمتر مورد توجه قرار گرفته انتخاب شدند. پیش نگر دمای بیشینه و امواج گرمایی در این مناطق می تواند از آثار مخرب نوسانات دمایی بر محیط زیست منطقه بکاهد. مشخصات جغرافیایی این دو ایستگاه به عنوان ایستگاه های منتخب غرب ایران در جدول (۱) ارائه شده است.

ب - روش پیش نگر دمای بیشینه و امواج گرمایی

موج گرمایی به دوره شدید گرما اطلاق می شود که دما ۵ درجه سلسیوس بالاتر از حد نرمال بوده و برای انسان و محیط زیست ایجاد بحران کند (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴). با شروع دهه ۲۰۱۰، فاز ۵ پروژه مقایسه مدل جفت شده CMIP^۴، سناریوهای جدید مسیر غلظت گازهای گلخانه ای RCP^۵ را پیشنهاد داد. سناریوهای پیشنهادی در چهار حالت RCP ۱/۶، RCP ۲/۵، RCP ۴/۴، RCP ۵/۶ و RCP ۸/۵ هستند. سناریوی انتشار RCP ۲/۵ توسط تیم مدلسازی IMAGE از موسسه ارزیابی های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت

خواهد شد. در پژوهش های انجام شده، اغلب با روش های آماری و همدیدی و یا مدل سازی با سناریوها و ریزگردان های مختلف در سطح وسیع به پیش بینی امواج گرمایی پرداخته شده است. مدل CanESM^۲ یکی از مدل های جدید جهت واکاوی دمای بیشینه در ریزگردان SDSM^۳ می باشد. ارزیابی کارایی ریزگردان SDSM در شبیه سازی دما نشان داده است که با افزایش طول دوره پایه، پیش بینی مدل بهتر خواهد شد و هرچه طول دوره کمتر باشد برآورد مدل چندان مناسب نخواهد بود (عساکره و کیانی، ۱۳۹۷). در نوشتار پیش رو، هدف، پیش نگر دمای بیشینه و امواج گرمایی در دو ایستگاه کرمانشاه و سنندج به عنوان ایستگاه های منتخب غرب ایران، طی سال های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ می باشد که براساس مدل CanESM^۲ و ریزگردان SDSM، انجام می گیرد و جهت دست یافتن به نتایج دقیق تر، دمای بیشینه براساس کم خطا ترین سناریوی RCP (طبق تشخیص شاخص های خطاسنجی RMSE، MSE، MAD) برای هریک از ایستگاه ها پیش بینی می گردد. چراکه پیش نگر دمای این مخاطره و پی بردن به زمان وقوع، روند، فراوانی، تداوم آن می تواند آگاهی ها، توصیه ها و راه کارهای لازم را به کشاورزان، باغ داران و مسئولان بخش های مختلف از جمله؛ منابع آب، کشاورزی و محیط زیست جهت مدیریت بحران ارائه نماید. در راستای هدف پژوهش حاضر دو سوال مطرح است ۱- آیا طی سال های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ شاهد روند افزایشی میانگین بیشینه دما در ایستگاه های سنندج و کرمانشاه خواهیم بود یا خیر؟ ۲- آیا بیشترین فراوانی وقوع مربوط به امواج گرمایی بلند مدت خواهد بود یا کوتاه مدت؟

4 . Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
5 . Representative Concentration Pathway

2 . Canadian Earth System Model version 2
3 . Statistical Downscaling Model

LARS-WG^۶ توسط پژوهش گران استفاده می‌شود (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۸). ریزگردان SDSM یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریز مقیاس نمایی است که در هواشناسی، هیدرولوژی، جغرافیا و زیست‌شناسی کاربرد زیادی دارد. در مدل مذکور، از الگوی گردش روزانه بزرگ مقیاس، در مقیاس ایستگاهی استفاده می‌شود و در مواقعی که نیاز به برآورد سریع و کم هزینه 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 (همان ۱۳۹۸). به منظور پیش‌نگری دمای بیشینه و شناسایی روزهای توأم با موج گرمایی در ایستگاه‌های سنندج و کرمانشاه طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰، پس از ارزیابی و شبیه‌سازی داده‌های بیشینه دمای این ایستگاه‌ها، با استفاده از مدل SDSM برای دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و براساس داده‌های NCEP و تحت سه سناریوی (خوشبینانه RCP ۲/۵، متوسط RCP ۴/۵ و بدبینانه RCP ۸/۵)، مقادیر پارامتر مذکور برای سال‌های آتی (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) با استفاده از خروجی مدل CanESM۲ پیش‌نگری شد و با دوره پایه مقایسه گردید.

ج- روش انتخاب کم‌خطاترین و دقیق‌ترین سناریو RCP براساس شاخص‌های خطاسنجی

جهت انتخاب کم‌خطاترین و دقیق‌ترین سناریو، خروجی‌های سه سناریو برای دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) با استفاده از شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطا (MAD^۷)، میانگین مربع خطا (MSE^۸)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE^۹) در محیط نرم افزار Excel با هم مقایسه گردید (ملکی مرشد و هژبری اردبیلی، ۱۴۰۰) و بدین ترتیب دقیق‌ترین و کم‌خطاترین سناریو جهت پیش‌نگری میانگین بیشینه دمای ۳۱ سال آتی انتخاب گردید. آمارها یا معیارهای خطاسنجی یا اعتبارسنجی، جزء متداول‌ترین معیارها محسوب می‌شود که هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است (احمدی

تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ وات بر متر مربع رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند. سناریوی RCP/۵ توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند. سناریوی انتشار RCP/۶ توسط گروه مدل‌سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند. سناریوی RCP ۸/۵ بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP ۸/۵ پیش‌خواهد رفت. به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایشی خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است (عساکره و کیانی، ۱۳۹۶).

RCP های مذکور، تا حدودی با سناریوهای B۱۰، A۱B و A۲ مطابقت دارند (مویر و احمد، ۲۰۱۶). سناریوهای یاد شده، تفاوت بین انرژی دریافتی از خورشید و انرژی برگشتی به جو، توسط زمین است. واداشت مثبت (ورودی بیشتر انرژی تابشی خورشید) موجب افزایش واداشت منفی (برون رفت 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, ۲۰۰۵). به منظور شبیه‌سازی گذشته و پیش‌بینی چگونگی امواج گرمایی طی سال‌های آتی ریزگردان‌هایی مانند SDSM و

6 . stochastic weather generator which can be used for the simulation of weather data at a single site

7 . Mean Absolut Deviation (MAD)

8 . Mean squared Error(MSE)

9 . Root Mean Square Error (RMSE)

وهمکاران، ۱۳۹۷) (روابط ۱، ۲ و ۳):

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

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (3)$$

در روابط فوق، A_t مقدار مشاهده شده، F_t مقدار برآورد شده و N تعداد داده ها می باشد (ویلیکس، ۲۰۰۶)

د- روش شناسایی روزهای توأم با موج گرمایی

در پژوهش حاضر، به منظور شناسایی روزهای توأم با موج گرمایی از شاخص فومیایکی^{۱۰} استفاده گردید. این شاخص در محیط نرم افزار متلب^{۱۱} بر روی داده های دمای بیشینه اعمال شد و روزهایی که دمای آن بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD^{۱۲}) بود و حداقل دو روز تداوم داشت، به عنوان روز همراه با موج گرمایی شناسایی و معرفی شد. لذا در این مرحله از طریق برنامه نویسی در محیط نرم افزار متلب و با اعمال شاخص فومیایکی بر داده های بیشینه دمای روزانه پیش نگری شده براساس کم خطاترین سناریوی انتخابی توسط شاخص های خطاستنچی (RMSE, MSE, MAD)، روزهای توأم با موج گرمایی ایستگاه های سنج و کرمانشاه شناسایی شد. به منظور محاسبه نمایه فومیایکی، نخست میانگین بلند مدت (۳۱ ساله) دما برای هر یک از روزهای سال محاسبه شد تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلند مدت، مبنای دآوری درباره گرمی آن روز قرار گیرد. میانگین دماهای هر روز براساس رابطه (۴) به دست آمد:

$$\overline{T(i,j)} = \sum_{n=2020}^{2050} T(i,j,n) \div N \quad (4)$$

دمای روز i از ماه j در سال n ام $\overline{T(i,j)}$ میانگین بلندمدت دمای روز i ام، از ماه j ام می باشد. برای از بین بردن

نوفه های (نویز)^{۱۳} موجود در میانگین، فیلتر میانگین متحرک ۹ روزه سه بار بر روی این داده ها انجام شد. بدین ترتیب میانگین 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 (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰). در نتیجه آثار عوامل زود گذر محلی که موجب نوسان دما گردیده اند، حذف و اثرات سامانه های همدید که تغییرات اساسی دما را تعیین می کنند، تقویت می شود. سپس به کمک رابطه (۵)، انحراف دمای هر یک از روزهای مورد بررسی، نسبت به میانگین بلند مدت محاسبه شد:

$$\Delta T = (i,j,n) = T(i,j,n) - T(i,j) \quad (5)$$

در این رابطه $\Delta T = (i,j,n)$ انحراف مطلق دما از میانگین روز j ام از ماه i ام، در سال n ام نسبت به میانگین دمای همان روز تقویمی است. برای آن که مقادیر انحراف دمای زمان های مختلف در یک نقطه جغرافیایی و مکان های 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 هر روز تقویمی طبق رابطه (۶) به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد:

$$\overline{\sigma^{2(i,j)}} = \sum_{n=2020}^{2050} \sum_{j=16}^{j+16} [\Delta T(i,j',n) - \overline{\Delta T(i,j',n)}]^2 \div 31N \quad (6)$$

مقدار $\overline{\Delta T(i,j)}$ میانگین انحراف دما روی کرنل ۳۱ روزه است که از رابطه (۷) به دست آمد:

$$\overline{\Delta T^*(i,j)} = \sum_{n=2020}^{2050} \sum_{j=16}^{j+16} T(i,j',n) \div 31N \quad (7)$$

سرانجام نمایه فومیایکی یا انحراف دمای نرمال شده، با رابطه (۸) محاسبه گردید (مسعودیان و دارند، ۱۳۹۰):

$$x(i,j,n) = \Delta T(i,j,n) \div \overline{\sigma(i,j)} \quad (8)$$

10 . Fumiyaki Index

11 . MATLAB

12 . Normalized Thermal Deviation

13 . Noise

جدول ۲. مقادیر همبستگی جزئی بین پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب با دمای بیشینه سندج و کرمانشاه (۱۹۶۱-۲۰۰۵)

توصیفات	مدل	متغیر	میزان همبستگی جزئی
ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	CanESM۲	P۵۰۰	۰/۴۳
متوسط دما		Temp	۰/۸۲

در رابطه فوق $\overline{\sigma(i,j)} = \sqrt{\sigma^2(i,j)}$ می‌باشد. هرگاه ضریب (NTD) برای P روز متوالی ۲ انحراف معیار بالاتر از میانگین باشد، یک موج گرمایی P روزه داریم (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲)، (رابطه ۹):

$$NTD(i), NTD(i+1), \dots, NTD(i+p-1) \geq 2, NTD(i-1), NTD(i+p) \leq 2 \quad (9)$$

نتایج و بحث

نتایج خروجی مدل CanESM۲

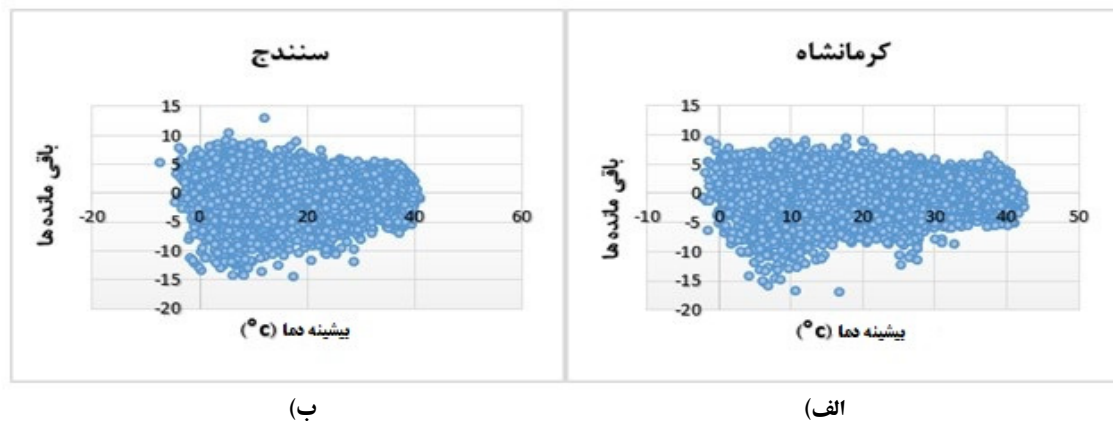
در این بخش از پژوهش جهت واکاوی و پیش‌نگری دمای بیشینه ایستگاه‌های سندج و کرمانشاه، با حداقل خطای ممکن، پس از ارزیابی توانایی ریزگردان SDSM در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵)، مقادیر آینده دمای بیشینه، بر اساس خروجی‌های در دسترس از مدل بزرگ مقیاس CanESM۲ ریزمقیاس‌نمایی شد. مهم‌ترین مرحله در استفاده از این مدل، انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌ها می‌باشد. در نرم‌افزار (SDSM) از آنجایی که تولید سناریوهای اقلیمی آینده در مورد تغییرات پارامترهای محلی براساس داده‌های در دسترس از مدل-سناریوهای مختلف انتشار در دهه‌های آینده است؛ لذا در این مرحله از پژوهش با توجه به معادلات آماری و رگرسیونی کالیبره شده بین پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس مرکز (NCEP) با پارامتر دمای بیشینه مشاهداتی، فرایند ریزمقیاس‌نمایی بر روی داده‌های در دسترس آینده از خروجی مدل گردش عمومی جوی CanESM۲ بر روی دو ایستگاه مورد مطالعه تحت سناریوهای RCP ۴/۵، RCP ۲/۶، RCP ۰/۶ و RCP ۸/۵ انجام شد (عباس‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶). در جدول ۲ نتایج حاصل از پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب از مدل بزرگ مقیاس متغیرهای مستقل جوی (NCEP) برای

انجام فرایند ریزمقیاس‌گردانی آماری و میزان همبستگی جزئی بین آنها با دمای بیشینه طی دوره مشاهداتی بر روی ایستگاه‌های آب و هوایی ارائه شده‌اند. طبق جدول مذکور، دو پیش‌بینی‌کننده انتخابی (ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و متوسط دما)، بیشترین میزان همبستگی را با داده‌های دمای بیشینه دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) ایستگاه‌های سندج و کرمانشاه نشان دادند.

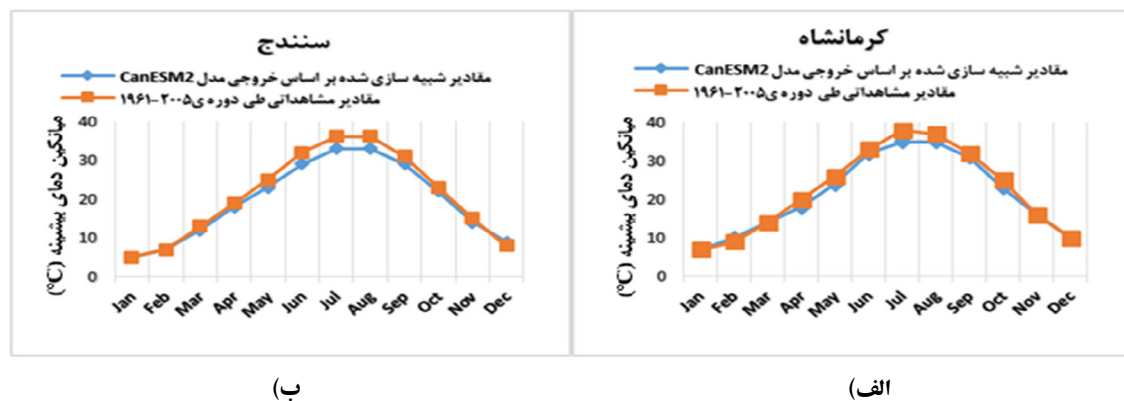
شکل ۱ (الف و ب) نمودار پراکنش مانده‌های مدل CanESM۲ در برابر داده‌های بیشینه دمای ایستگاه‌های سندج و کرمانشاه را طی دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) نشان می‌دهد. بر اساس این نمودارها، مانده‌ها فاقد روند خاصی بوده و در اطراف محور X تمرکز پیدا کرده‌اند. بنابراین؛ خطا وجود نداشته است و مدل SDSM با مدل CanESM۲، کارایی خوبی در ریزمقیاس‌نمایی و پیش‌نگری دمای بیشینه ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد.

شکل ۲ (الف و ب) نمودار مقایسه‌ای مقادیر شبیه‌سازی شده براساس مدل مورد مطالعه، با مقادیر واقعی میانگین دمای بیشینه ایستگاه سندج و کرمانشاه را نشان می‌دهد. طبق این نمودارها، در ایستگاه‌های مذکور، با مدل CanESM۲، منحنی‌های مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر، دسامبر انطباق بیشتری بر هم دارند که با توجه به وجود انطباق بیشتر بین دو منحنی در ماه‌های سرد، می‌توان گفت که این مدل قادر است میانگین بیشینه دما را در فصول سرد سال دقیق‌تر و با اختلاف اندکی نسبت به مقادیر واقعی پیش‌نگری نماید.

طبق نتایج حاصل از شبیه‌سازی داده‌های بیشینه دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه، با استفاده از مدل SDSM و خروجی مدل CanESM۲ برای دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه با سناریوهای (RCP ۲/۶)، (RCP ۴/۵) و (RCP ۸/۵) و مقایسه مقادیر دو دوره، میانگین



شکل ۱. پراکنش مانده های مدل CanESM۲ در برابر بیشینه دمای سنندج و کرمانشاه (۱۹۶۱-۲۰۰۵)



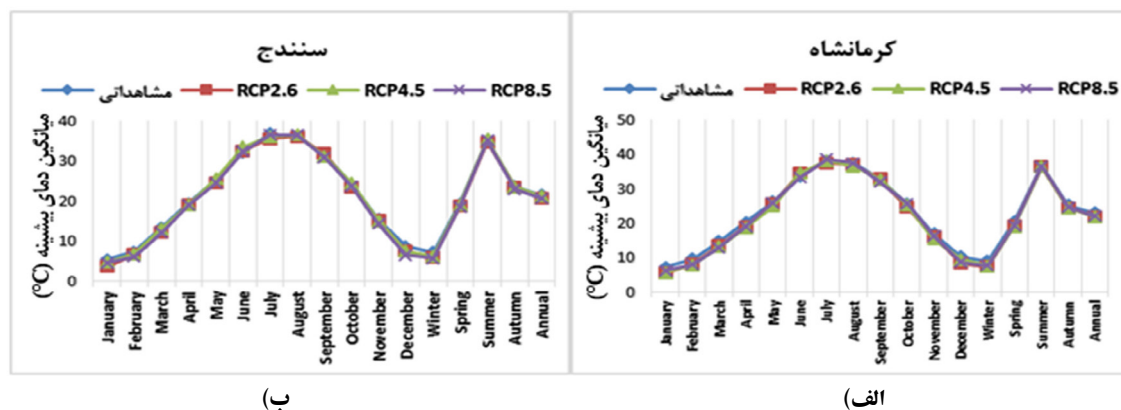
شکل ۲. مقایسه مقادیر شبیه سازی شده براساس مدل CanESM۲ با مقادیر واقعی دمای بیشینه سنندج و کرمانشاه

جدول مذکور، سناریوی ۵ / RCP ۴ برای ایستگاه سنندج و سناریوی ۵ / RCP ۸ برای ایستگاه کرمانشاه به عنوان کم خطاترین و دقیق ترین سناریو انتخاب و پیش نگری دمای بیشینه براساس آن ها انجام گرفت. نتایج، حاکی از روند افزایشی میانگین بیشینه دما در هر دو ایستگاه طی ۳۱ سال آتی می باشد (شکل ۴ الف و ب).

نتایج شناسایی امواج گرمایی با استفاده از شاخص فومیایکی در این بخش، با اعمال شاخص فومیایکی بر داده های دمای بیشینه پیش نگری شده طی سال های ۲۰۲۰-۲۰۵۰، روزهای توأم با امواج گرمایی برای هر دو ایستگاه شناسایی گردید. در شکل (۵) فراوانی ماهانه امواج گرمایی پیش نگری

بیشینه دما از اواخر زمستان تا اواخر بهار در هر سه سناریو نسبت به مقادیر مشاهداتی (۱۹۶۱-۲۰۰۵) کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی خواهد داشت. بنابراین طی سال های آتی تابستان گرم تری نسبت به دوره پایه در هر دو ایستگاه تجربه خواهد شد (شکل ۳ الف و ب).

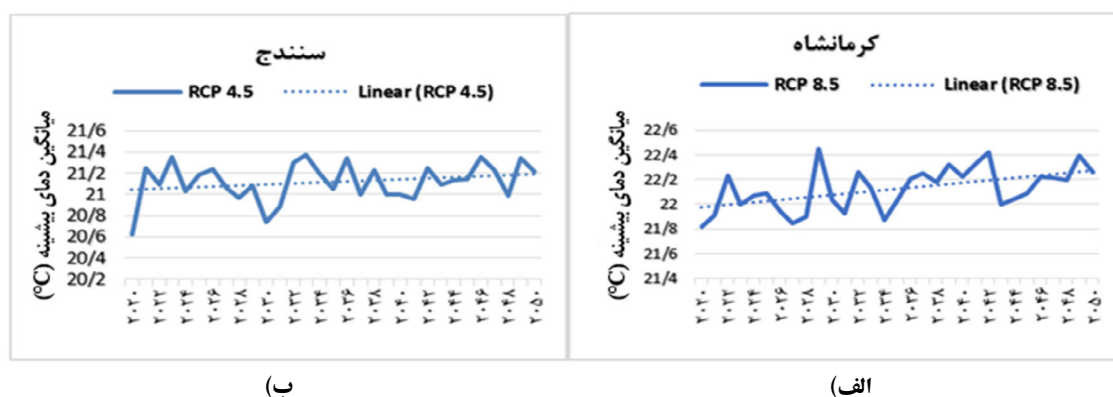
به منظور ارزیابی دقت مدل و انتخاب مناسب ترین سناریو جهت پیش نگری دمای بیشینه برای ۳۱ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰)، خطاهای بین سری مشاهداتی و سری تولید شده با سه سناریوی RCP ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵، با کمک شاخص های میانگین قدر مطلق خطاها (MAD)، میانگین مربع خطا (MSE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید که نتایج حاصل در جدول (۳) ارائه شده است. طبق



شکل ۳. نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سناریوهای RCP ۸/۵، ۴/۵، ۲/۶ (۱۹۶۱-۲۰۰۵)

جدول ۳. صحت‌سنجی بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با مدل CanEsm۲ در ایستگاه‌های سنندج و کرمانشاه

ایستگاه	مدل	سناریو	MAD	MSE	RMSE
سنندج	CanESM۲	RCP۲/۶	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۸۵
		RCP۴/۵	۰/۶۰	۰/۴۶	۰/۶۸
		RCP۸/۵	۰/۷۸	۰/۹۵	۰/۹۷
کرمانشاه	CanESM۲	RCP ۲/۶	۰/۹۷	۱/۲۲	۱/۱۰
		RCP ۴/۵	۱/۰۲	۱/۳۹	۱/۱۸
		RCP ۸/۵	۰/۸۳	۱	۱

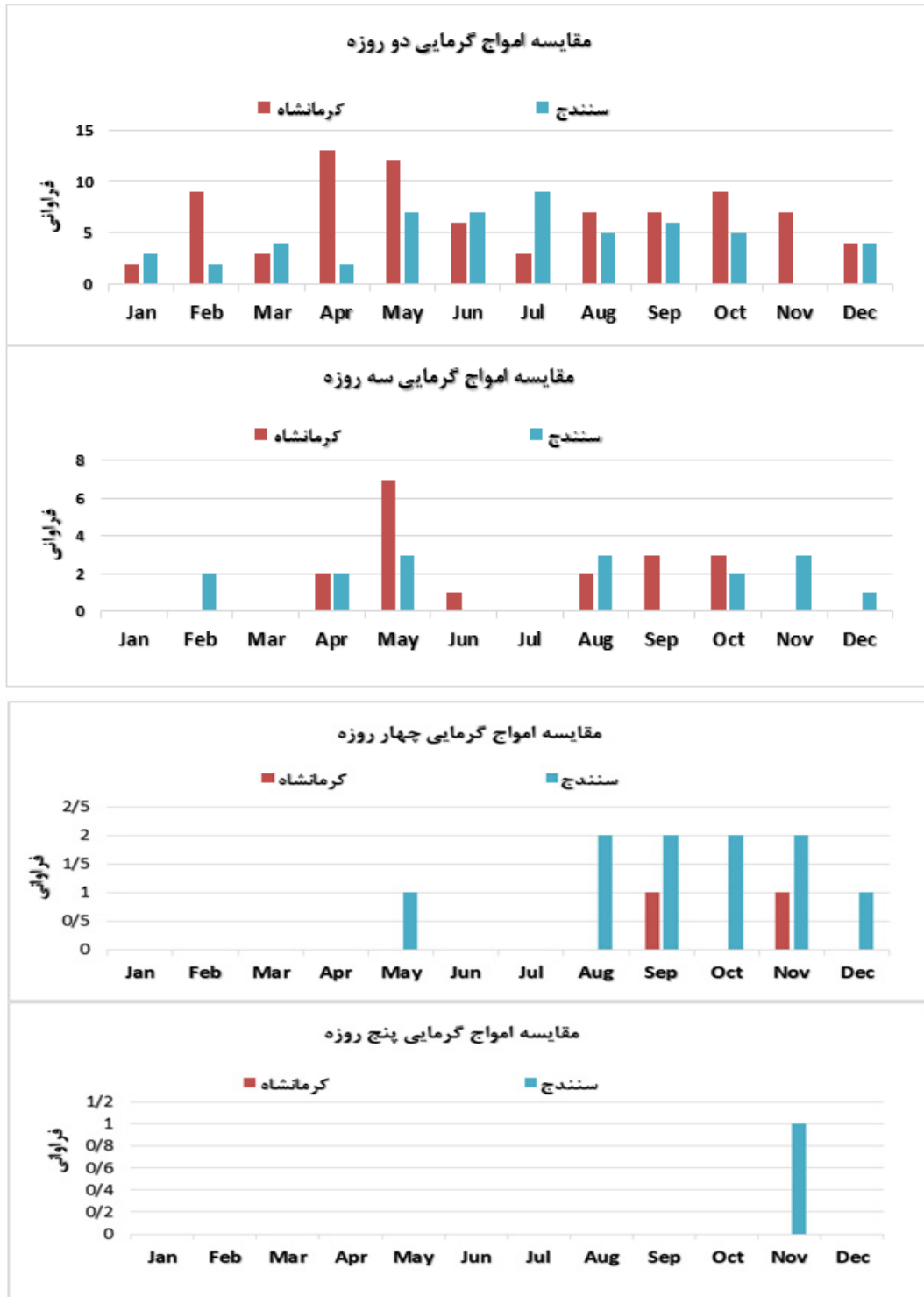


شکل ۴. روند خطی دمای بیشینه پیش‌نگری شده سنندج و کرمانشاه، با سناریوی انتخابی (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

داشت و امواج گرمایی با تداوم بیشتر از ۲ روز در هر دو ایستگاه اغلب در فصول سرد سال پیش‌بینی گردید. بررسی نمودار روند امواج گرمایی شناسایی شده ایستگاه سنندج با سناریوی انتخابی نشان داد که از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ امواج گرمایی دو روزه، سه روزه و چهار روزه روند

شده براساس سناریوی RCP ۴/۵ برای سنندج و سناریوی RCP ۸/۵ برای کرمانشاه به عنوان کم‌خطاترین سناریوی شناسایی شده توسط شاخص‌های خط‌استجی (RMSE، MSE، MAD)، ارائه شده است. طبق شکل مذکور در هر دو ایستگاه امواج گرمایی ۲ روزه، بیشترین فراوانی را خواهد

افزایشی غیرمعتادار و امواج پنج روزه روند کاهشی غیر معتادار خواهد داشت. همچنین در ایستگاه کرمانشاه، امواج دو و سه روزه روند کاهشی غیر معتادار و امواج چهار روزه روند افزایشی غیرمعتادار و امواج گرمایی چهار روزه روند خواهد داشت. همچنین در ایستگاه کرمانشاه، امواج دو و سه روزه روند کاهشی غیر معتادار خواهد داشت (شکل ۶ الف و ب).

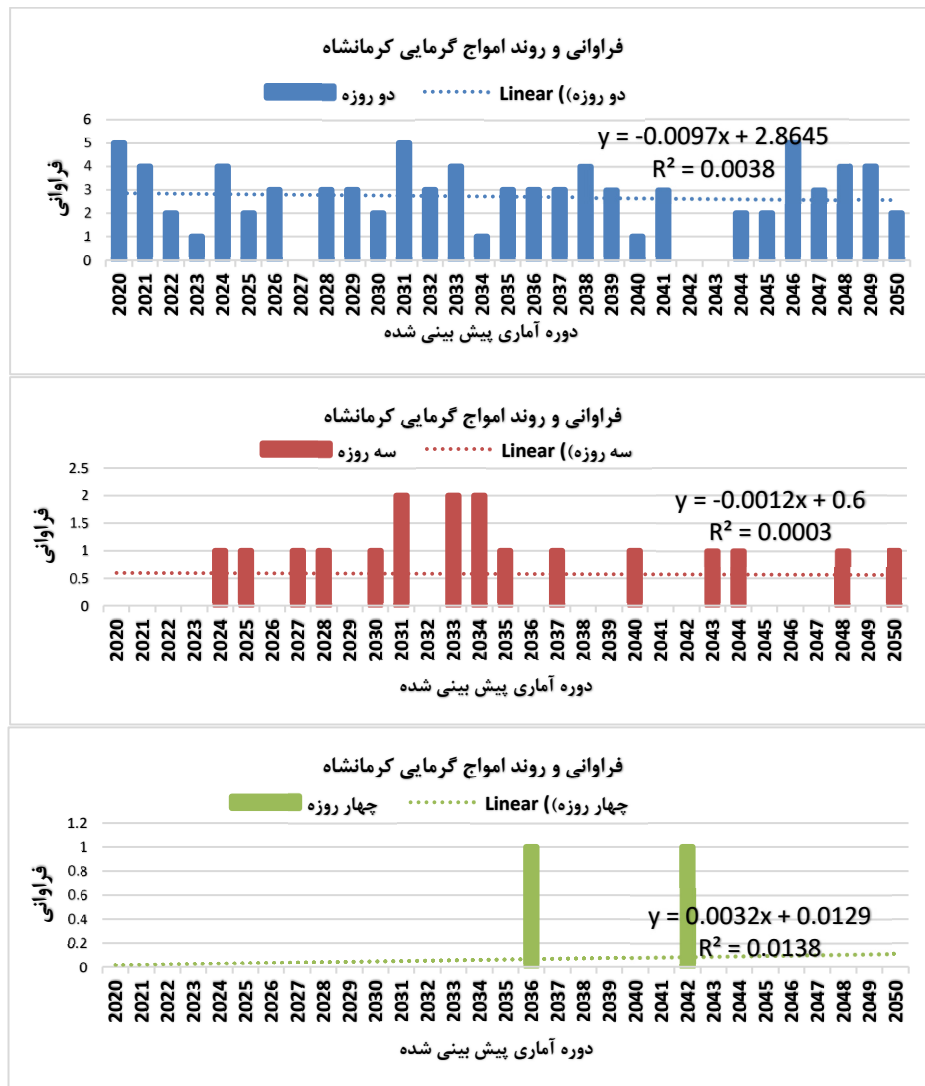


شکل ۵. نمودارهای فراوانی امواج گرمایی پیش نگری شده در ایستگاه های مورد مطالعه (۲۰۵۰-۲۰۲۰)



الف) سنجند

شکل ۶. روند امواج گرمایی دو تا پنج روزه پیش‌نگری شده در ایستگاه‌های سنجند و کرمانشاه (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



(ب) کرمانشاه

ادامه شکل ۶. روند امواج گرمایی دو تا پنج روزه پیش نگری شده در ایستگاه های سنندج و کرمانشاه (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

جمع بندی

آثار مخرب ناشی از نوسانات دمایی در منطقه مورد مطالعه مقابله گردد. هدف از پژوهش حاضر، پیش نگری دمای بیشینه و امواج گرمایی ایستگاه های سنندج و کرمانشاه طی سال های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ براساس مدل CanESM۲ و کم خطراترین سناریوی RCP بر اساس شاخص های خطاسنجی بود که با مدل SDSM انجام شد و بعد از پیش نگری دمای بیشینه، امواج گرمایی آینده ایستگاه های مورد مطالعه، با کمک شاخص فومیایکی طی دوره پیش نگری شده استخراج گردید. نتایج

با توجه به اینکه دمای بیشینه، از فاکتورهای مهم و مؤثر بر رشد گیاهان محسوب می شود و در پژوهش های انجام گرفته، آثار رخ داد امواج گرمایی و پیش نگری دمای بیشینه در مناطق سردسیر کمتر مورد توجه قرار گرفته، لذا در مطالعه پیش رو سعی بر آن شد تا در دو ایستگاه سنندج و کرمانشاه به عنوان نمونه ای از مناطق سردسیر و کوهستانی غربی ایران با اقتصاد کشاورزی، به مطالعه این مهم پرداخته شود تا با

گرمایش جهانی و تأثیر مخاطره موج گرمایی در نقاط مختلف کشور بیشتر توجه گردد و در این زمینه پیش‌بینی‌های دقیق صورت گیرد. همچنین راهکارهای زیر براساس یافته‌های پژوهش حاضر ارائه می‌گردد: همکاری منسجم و پایدار نهادهایی همچون: شهرداری، استانداری، سازمان‌های آب، محیط زیست و هواشناسی جهت مدیریت بحران در شرایط حاکمیت موج گرمایی، اصلاح ژنتیک گیاهان و تغییر الگوی کشت در بخش کشاورزی و باغ‌داری و استفاده از گونه‌های مقاوم در برابر گرما و کم‌آبی، هدایت آب‌های جاری سطحی به دریاچه‌ها و سدها، تقویت ذخایر آبی با مهار کردن آب حاصل از بارش و ذوب برف به منظور استفاده در مواقع بحرانی ناشی از افزایش دما و کم‌آبی حاصل از وقوع امواج گرمایی جهت حفظ حیات گیاهان، تلاش برای حفظ گونه‌های گیاهی نادر و حساس به نوسانات دمایی در روزهای توأم با موج گرمایی، استفاده از کودهای مناسب جهت افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش گرمایی.

تشکر و قدردانی

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

مراجع

۱. ابراهیمی، ز.، روستائی، ف. و سلیمانی ساردو، ف. م. ۱۳۹۸. تحلیل تغییرات زمانی پوشش گیاهی مراتع غرب استان کرمان با استفاده از داده‌های سطح ۳ سنجنده‌ی مودیس و ارتباط آن با عوامل اقلیمی، <https://civilica.com/doc/۱۱۵۷۲۵۷>.
۲. احمدی، ح.، فلاح‌قاله‌ری، غ. ع.، باعقیده، م. و امیری، م. ا. ۱۳۹۷. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی انباشت گرمایمناطق کشت درخت سیب در ایران در دوره آینده، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲، ۵۴-۳۵.
۳. اسمعیل نژاد، م.، خسروی، م.، علیجانی، ب. و مسعودیان، س. ا. ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی ایران، جغرافیا و توسعه، ۳۳، ۵۴-۳۹.
۴. امیدوار، ک.، محمود آبادی، م.، الفتی، س. و مرادی، خ. ۱۳۹۵. بررسی احتمال وقوع امواج گرمایی در ایستگاه‌های منتخب استان کرمانشاه، مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰، ۲۰-۱.
۵. خورشید دوست، ع. م.، زنگنه شهرکی، س.، زارعی، ی.، محمودی، س. ۱۳۹۶. تحلیل همدیدی مخاطره امواج گرما در شمال غرب ایران، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، ۳۷، ۱۴-۱.
۶. رحیمی، د.، میر هاشمی، ج. و علیزاده، ت. ۱۳۹۶. تحلیل ساختار امواج گرمایی در غرب و شمال غرب ایران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۸، ۸۰-۶۹.
۷. سازمان هواشناسی کشور <http://www.irimo.ir>

حاصل نشان داد، دمای بیشینه طی سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ در هر دو ایستگاه روند افزایشی و امواج گرمایی در سنندج افزایشی و در کرمانشاه کاهش‌ی خواهد بود. براساس یافته‌های پژوهش حاضر، طی سال‌های پیش‌نگری شده، حداکثر تداوم امواج گرمایی در سنندج ۵ روزه و در کرمانشاه ۴ روزه و لذا در هر دو شهر کوتاه مدت خواهد بود و با توجه به اینکه امواج گرمایی کوتاه مدت ۲ روزه بیشترین فراوانی را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد، بنابراین، احتمال وقوع امواج گرمایی کوتاه مدت در آینده بیشتر از امواج بلند مدت است. همچنین طبق پیش‌نگری انجام شده، بیشترین فراوانی رخداد امواج گرمایی و بالاترین تداوم این مخاطره در منطقه مورد مطالعه اغلب درفصول سرد سال خواهد بود و دمای بیشینه در دوره پیش‌نگری شده، در هر دو ایستگاه روند افزایشی خواهد داشت. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج اکثر پژوهش‌های ذکر شده در بخش پیشینه تحقیق از جمله؛ مولوی و همکاران (۱۳۹۴)؛ کرم پور و همکاران (۱۳۹۶)؛ الماسی و همکاران (۱۳۹۵)؛ بررسی‌های ناصرزاده و همکاران (۱۳۹۹)؛ صلاحی و قدرتی (۱۳۹۷)؛ کاشکی و همکاران (۱۳۹۸)؛ مودولا و همکاران (۲۰۱۰)؛ مویسیس و همکاران (۲۰۱۸)؛ یاساین و همکاران (۲۰۱۳)؛ بومباکو و همکاران (۲۰۱۳)؛ قبادی و همکاران (۲۰۱۷)؛ فرون و همکاران (۲۰۱۹) که روند افزایشی دمای بیشینه و افزایش فراوانی رخ داد امواج گرمایی کوتاه مدت طی سال‌های آتی به ویژه در فصول سرد سال را تأیید کرده اند، هم سو بود ولی با مطالعه روهینی و همکاران (۲۰۱۹) که افزایش فراوانی امواج گرمایی بلند مدت را در هند پیش‌بینی کرده اند متفاوت بود و دلیل این تفاوت، احتمالاً موقعیت جغرافیایی متفاوت مناطق مورد مطالعه می‌باشد. طبق توضیحات ارائه شده و با توجه به این که زراعت و باغبانی از مشاغل اصلی ساکنین ایستگاه‌های غربی کشور از جمله کرمانشاه و سنندج محسوب می‌شود و وقوع مخاطره موج گرمایی می‌تواند سبب مشکلات جدی همچون بحران آب و نوسانات دمایی گردد، لذا در صورت نبود پیش‌نگری‌های دقیق و عدم مدیریت بحران، خسارت سنگین بر محیط زیست و اقتصاد کشاورزی وارد می‌شود. لذا در راستای مقابله با مشکلات مذکور پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های میان رشته‌ای به بحث تغییر اقلیم،

۸. سلاجقه، ع. رفیعی ساردوئی، ا. مقدم نیا، ع. ر. ملکیان، آ. عراقی نژاد، ش. خلیقی سیگاردی، ش. و صالح پور جم، ا. ۱۳۹۶، بررسی کارایی مدل های ریزمقیاس نمایی آماری WG-LARS و SDSM در شبیه سازی دما و بارش، تحقیقات آب و خاک ایران، ۲، ۲۵۳-۲۶۲.
 ۹. صلاحی، ب. و قدرتی، ز. ۱۳۹۷، پیش بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریزگردان LARS-WG و شاخص بالدی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۴۰، ۳۵-۴۸.
 ۱۰. عباس نیا، م.، طاووسی، ت. و خسروی، م. ۱۳۹۶، ارزیابی جامع تغییرات فصلی آینده دمای حداکثر ایران طی دوره گرم بر اساس مدل های گردش عمومی جو، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۲۵، ۱۳۴-۱۲۱.
 ۱۱. عساکره، ح. و اکبر زاده، ی. ۱۳۹۶، شبیه سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۰۱۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM۲، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲۱، ۱۷۴-۱۵۳.
 ۱۲. عساکره، ح. و کیانی، ح. ۱۳۹۷، ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۷، ۴۹-۶۲.
 ۱۳. فرج زاده، م.، فتح نیا، ا.، علیجانی، ب. و ضیائی، پ. ۱۳۹۰، ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر رشد پوشش گیاهی در مراتع متراکم ایران با استفاده از تصاویر AVHRR، پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۷۵، ۱۴-۱.
 ۱۴. قاسمی فر، ا. و ناصرپور، س. ۱۳۹۶، تحلیل سینوپتیکی امواج گرما و سرما در سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۶، ۱۴۶-۱۳۷.
 ۱۵. قویدل رحیمی، ی.، فرج زاده، م. و قهرمانی، ب. ۱۳۹۸، کاربرد روش تحلیل مقادیر فرین در مخاطره اقلیم شناسی امواج گرمایی نیمه جنوبی ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶، ۲۰-۱.
 ۱۶. کاشکی، ع. ر.، کرمی، م.، با عقیده، م. و علیمادی، م. ر. ۱۳۹۸، واکاوی آماری امواج گرمایی زابل، دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی، ۱، ۵۵-۴۰.
 ۱۷. کرم پور، م.، رفیعی، ج. و جعفری، ا. ۱۳۹۶، شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران (ایلام، خوزستان، لرستان، کرمانشاه)، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، ۴، ۲۶۳-۲۷۹.
 ۱۸. الماسی، ف.، طاووسی، ت. و حسین آبادی، ن. ۱۳۹۵، واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۶، ۱۵۰-۱۳۷.
 ۱۹. مسعودیان، س. ا. و دارند، م. ۱۳۹۰، تحلیل همدیدی سرماهای فرین ایران، جغرافیا و توسعه، ۲۲، ۱۸۵-۱۶۵.
 ۲۰. مکرّم، م.، مزین، م.، فرجی، م. و موسوی، ک. ۱۳۹۶، بررسی تغییرات پوشش گیاهی در فصول مختلف رویش با استفاده از تصاویر ماهواره ای و ارتباط آن با تغییرات دما (منطقه مورد مطالعه: شمال شهرستان داراب)، فصلنامه اکوسیستم های طبیعی ایران، ۸، ۲۰-۱.
 ۲۱. مولودی، گ.، خورانی، ا. و مرادی، ع. ۱۳۹۴، اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳، ۱۴-۱.
 ۲۲. ملكى مرشت، ر. و هژبری اردبیلی، م. ۱۴۰۰، پیش بینی و تحلیل زمانی امواج گرمایی شهر اردبیل با استفاده از ریزگردان SDSM و شاخص بالدی، پنجمین کنگره بین المللی توسعه کشاورزی و منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، ایران، تبریز.
 ۲۳. ناصرزاده، م. ح.، حجازی زاده، ز.، علیجانی، ب. و غلامی، ز. ۱۳۹۹، آشکارسازی ارتباط زمانی مکانی عناصر اقلیمی و پوشش گیاهی با به کار گیری محصولات سنجنده های MODIS و TRMM
- مورد مطالعه: استان کهگیلویه و بویراحمد، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۵۷، ۳۷۰-۳۵۵.
۲۴. هوشیار، م.، سبحانی، ب. و حسینی، س. ا. ۱۳۹۷، چشم انداز تغییرات دماهای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل CanESM۲، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۲، ۳۲۵-۳۰۵.
25. A. Añel, J., M. Fernández-González, X. Labandeira, X. López-Otero, and Laura. de la Torre, (2017), Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. Atmosphere, NO. 10, PP. 1-13.
 26. Bumbaco, K. Nicholas, K. Dello, B. (2013), History of Pacific Northwest Heat Waves, Synoptic Pattern and Trends, J. Appl. Meteor. Climatol, No. 7. PP.1618-1631.
 27. 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. PP. 1-15.
 28. Fumiaki, F., Nobuo, Yamazaki, Kenji, Kobayashi and Hiroshi, Nakamigawa, (2007), Long-term changes of temperature extremes and day-today variability in Japan, papers in Meterology and Geophysics, P.58.
 29. Founda D., and Santamouris M. 2017. Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012), Scientific Reports.NO. 7. PP. 1-16.
 30. Ghobadi A., Khosravi M., and Tavousi T. 2017. Surveying of Heat waves Impact on the Urban Heat Islands: Case study, the Karaj City in Iran. Urban Climate. NO. 10, PP. 1-16.
 31. IPCC. (2007). Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Chen, M., Marquis, K.B.
 32. Moises, A., Malaspina, J., González-Cruz, E., Nazario Ramirez, B. 2018, Projections of Heat Waves Events in the Intra-Americas Region Using Multimodel Ensemble. Advances in Meteorology. P. 10.
 33. Modala, N. R., Ale, S., Goldberg, D. W., Olivares, M., Munster, C. L., Rajan, N., & Feagin, R. A. (2016). Climate change projections for the Texas High Plains and Rolling Plains. Theoretical and Applied Climatology, NO. 124, PP. 1-18.
 34. Moonen, A. C., Ercoli, L., Mariotti, M., & Masoni, A. (2002). Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. Agricultural and Forest Meteorology, NO. 111, PP. 13-27.
 35. Muhire, I., & Ahmed, F. (2016), spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda. Theoretical and Applied Climatology, NO. 123, PP. 399-414.
 36. Paravantis J., Santamouris M., Constantinos 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 .PP. 1-22.

- Dong Mei, X., Shah, L., Rahman, Sh., Xue, L., Si. H., Ma, Ch. (2021). Effects of Heat Stress on Growth, Physiology of Plants, Yield and Grain Quality of Different Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes. *Sustainability*. NO. 13, PP 1-18.
42. 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*. 135: 81-87.
43. Wilks D.S, (2011), *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition and Academic Press is an imprint of Elsevier, Cornell University, USA. NO. 100, PP.1-704.
44. 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). *Theron. Appl. Climatology*, No.112, PP. 617-628.
37. Ramamurthy P, Bou-Zeid E. (2017). Heatwaves and urban heat islands: A comparative analysis of multiple cities. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, NO. 1, PP. 168-178.
38. Rohini P., Pajeevan m., and Mukhopahay P. 2019. Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, *Climate Dynamics*, NO. 53, PP. 975-988
39. Sivakumar, M. V., Motha, R. P., & Das, H. P. 2005. *Natural Disaster and Extreme Events in Agriculture*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
40. Umair hassan, M., Umer chattha, M., Khan, I., Bilal Chattha, M., Barbanti, L., Amer, M., Mehmud Iqbal, M., Nawaz, M., Mahmood, A., Abid, A., Talha aslan, M. (2020). Heat stress in cultivated plants: nature, impact, mechanisms, and mitigation strategies - A review, *Plant Biosystems*. NO. 7, PP. 1-56
41. Waheed riaz, M., Yang, L., Irfan yosaf, M., Sami. A.,

Prediction of maximum temperature and heat waves In Sanandaj and Kermanshah Meteorological stations

R. Maleki Meresht¹, B. sobhani^{2*}

¹ Ph.D. Student of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

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

*Corresponding Author Email: sobhani@uma.ac.ir

Received: 29 December 2020 , accepted: 05 April 2021

ABSTRACT

Maximum temperature as one of the most important climatic parameters and heat wave as one of the most harmful climatic hazards, can affect various aspects of the environment. The purpose of this study was to predict the maximum temperature and heat waves in Sanandaj and Kermanshah stations from 2020-2050 based on the CanESM2 model. For this purpose, first the maximum temperature data of this stations were obtained from the Meteorological Organization from 1961-2005 and simulated using SDSM and CanESM2 model and the most suitable RCP scenario for the next 31 years. Then, by programming in MATLAB software and applying Fumiaki index on the predicted maximum temperature data, the heat waves of these stations from 2020 to 2050 were identified and divided into two categories of long-term and short-term heat waves. According to the results, based on RMSE index, RCP 4.5 scenario with error rate of 0.46 for Sanandaj and based on MAD index, RCP 8.5 scenario with error rate of 0.83 were selected as the least error scenarios for Kermanshah. According to the findings, long-term heat waves will not be experienced in any studied stations from 2020-2050. So that the maximum duration of heat waves in Sanandaj and Kermanshah will be 5 and 4 days, respectively, 2 days heat waves will have the highest frequency. Results also showed that in the next 31 years the highest continuity of heat waves in both stations will often be in the cold seasons of year.

Keywords: Forecasting, heat waves, Sanandaj, Kermanshah

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Maleki Meresht, R.; sobhani, B. (2021). Prediction of maximum temperature and heat waves In Sanandaj and Kermanshah Meteorological stations. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 4(2): 87-101

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

