

ارزیابی ناهنجاری‌های دمایی دوره گرم سال در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل تحت شرایط تغییر اقلیم

برومند صلاحی^{۱*}، مهناز صابر^۲ و فاطمه وطن‌پرست^۳

*- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

^۲- دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

^۳- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

*ایمیل نویسنده مسئول: bromand416@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

چکیده

گرم شدن کره زمین در دهه‌های اخیر نسبت به دهه‌های گذشته ناشی از نوسانات اقلیمی کره زمین است. در این پژوهش، ناهنجاری‌های دمایی ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل تحت شرایط تغییر اقلیم بررسی شد و آمار بلندمدت (۲۰۲۱-۲۱۰۰) میانگین‌های حداقل، حداکثر و روزانه دما ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان اردبیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور ابتدا شدت‌های مختلف ناهنجاری‌های دمایی ایستگاه‌ها بر اساس داده ۲۰۲۰-۱۹۸۰ با استفاده از شاخص Z محاسبه شد. متعاقب ارزیابی ریزگردان لارس و دریافت خروجی با استفاده از ریزگردانی مدل CanESM2، فراوانی و درصد هر یک از دامنه‌های شدت‌های ناهنجاری دمایی مؤلفه‌های سه‌گانه دمای ایستگاه‌ها شمارش و محاسبه شد. درصد فراوانی پیش‌بینی شده ناهنجاری‌های دمایی تحت سناریوی متوسط (RCP4.5) بیشتر از سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6) و تحت سناریوی بدبینانه (RCP8.5) بیشتر از سناریوی متوسط است. اختلاف برآورد دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 و بیشترین مقدار تفاضل دو ناهنجاری گرم و سرد در آگوست به حداکثر خود می‌رسد. در هر سه سناریو درصد ناهنجاری گرم بر شرایط بهنجار و ناهنجاری سرد غلبه دارد. تحت سناریوی RCP2.6 ناهنجاری گرم در آگوست بیشترین و در اکتبر کمترین فراوانی و ناهنجاری سرد در آگوست کمترین و در سپتامبر بیشترین فراوانی را دارد. تحت سناریوی RCP8.5 ناهنجاری گرم در آگوست و ژوئیه و ناهنجاری سرد در می و ژوئن تکرار بیشتری دارد. ترتیب شدت‌های مختلف ناهنجاری‌های دمایی سه مؤلفه مورد مطالعه در استان اردبیل تحت سناریوی RCP4.5 از بیشترین به کمترین درصد عبارت است از: شرایط بهنجار، گرم متوسط، گرم ضعیف، سرد ضعیف، بسیار گرم، سرد متوسط، بسیار سرد، بی‌نهایت گرم و بی‌نهایت سرد که در بین انواع شدت‌های ناهنجاری دمایی غلبه با گرم متوسط و گرم ضعیف است. این یافته نشان‌دهنده احتمال زیاد وقوع گرمایش و تغییر اقلیم آینده در این محدوده است و بر تداوم و تشدید رخداد ناهنجاری‌های گرم دوره گذشته در دوره آینده دلالت دارد.

کلمات کلیدی

"ناهنجاری دمایی"، "استان اردبیل"، "تغییر اقلیم"، "مدل LARS-WG".

۱-مقدمه

پژوهش‌هایی که پارامتر دما را در کانون توجه خود قرار می‌دهند؛ روز به روز در حال افزایش است از جمله آن‌ها پژوهش مربوط به افزایش بسامد، شدت، دوره‌های گرم جهانی ثبت شده و تداوم امواج گرما است که توسط پرکینس^۲ و همکاران (۲۰۱۲)، انجام شده و نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که امواج گرمایی در سطح جهانی از لحاظ بسامد، شدت و تداوم در حال افزایش هستند. یانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۲)، روند سری زمانی ۵۳ ساله دما در حوضه رودخانه‌ی ژانگ وینان را با آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی کرده‌اند. لاجو^۴ و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی امواج گرمایی و سرمای فلات مرکزی اسپانیا در طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ پرداختند و نتایج مطالعات نشان از کاهش تعداد امواج گرمایی و افزایش تعداد امواج گرمایی دارد. سچرنی^۵ و همکاران (۲۰۱۶)، امواج گرمایی و سرمای در آمریکای جنوبی را بررسی کرده‌اند و نتایج بیانگر افزایش شدت دوره‌های گرم به‌خصوص در ۱۰ سال اخیر است. موگومه^۶ و همکاران (۲۰۱۶)، به محاسبه ناهنجاری دمای

دما از عناصر بنیادین پیدایش اقلیم یک پهنه است که دگرگونی آن می‌تواند ساختمان آب و هوایی هر مکانی را متحول سازد، به همین دلیل مطالعه روند دما در قاعده‌های گوناگون زمانی و مکانی قسمت وسیعی از پژوهش‌های اقلیم‌شناسی را به خود اختصاص می‌دهد (عساکره، ۱۳۸۶: ۳۹؛ خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱). نوسانات آب و هوایی بسیار محسوس هستند. این نوسانات سبب ایجاد افت و خیزهایی بین دوره‌های سرما و گرما گردیده است (بابایی، ۱۳۹۱؛ دارند، ۱۳۹۳a). اساساً بیشترین بخش از آنچه که تحت عنوان گرمایش جهانی یا تغییر اقلیم یاد می‌شود، شامل تغییرات غالباً گرمایشی و روند صعودی مؤلفه‌های سه‌گانه (میانگین، حداقل و حداکثر) دمای هوا می‌باشد (قوبدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶). از آنجایی که خطر افزایش فراوانی، مدت و حساسیت آستانه‌های اقلیمی توسط افزایش گازهای گلخانه‌ای و هواویزها در اتمسفر رو به فزونی است لذا پدیده‌های حدی اقلیم نیز مورد توجه پژوهشگران واقع شده است (هوگتون^۱ و همکاران، ۱۹۹۶).

² -Perkins

³ - Yang

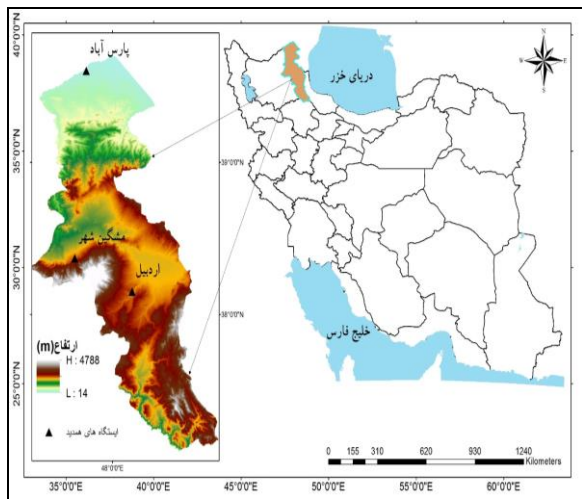
⁴ - Labajo

⁵ - Ceccherini

⁶ - Mugume

¹ -Houghton

درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی است و اقلیم آن از عوامل ارتفاع، عرض جغرافیایی، منابع آبی و توده‌های هوایی مهاجر، پوشش گیاهی و ... تأثیر می‌پذیرد. شکل ۱ جایگاه جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در استان اردبیل را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

• مواد و روش

در این پژوهش، به منظور دستیابی به هدف پژوهش، آمار بلندمدت میانگین‌های حداقل، حداکثر و روزانه دمای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان اردبیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این کار ابتدا شدت‌های مختلف ناهنجاری‌های دمایی ایستگاه‌ها بر اساس داده ۲۰۲۰-۱۹۸۰ با استفاده از شاخص Z محاسبه شد. سپس برای تولید داده‌های هر ایستگاه تحت شرایط تغییر اقلیم، پس از آماده‌سازی و کنترل کیفی داده‌ها، متغیرهای حداقل و حداکثر دما، بارش و ساعات آفتابی به صورت روزانه وارد مدل LARS-WG شد و متعاقب ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌شده در این ایستگاه‌ها، داده‌های دوره آینده (۲۰۲۱-۲۱۰۰) این ایستگاه‌ها تولید شد. مدل LARS-WG مدلی است که خروجی مدل‌های GCM را ریزمقیاس می‌کند. در این پژوهش، توانایی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده‌شده در ایستگاه‌های سینوپتیک استان اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت. این فرایند به سه مرحله تقسیم می‌شود که شامل تجزیه و تحلیل مکانی، اعتبارسنجی مدل و تولید داده‌های مصنوعی آب و هوا است. مدل مورد استفاده در این پژوهش CanESM2 تحت سناریوهای RCP است. پس از دریافت خروجی مدل، از داده‌های روزانه حداقل، حداکثر و متوسط دمای ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، پارس‌آباد و مشکین‌شهر طی دوره آماری گذشته (به ترتیب از سال ۱۹۸۰، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۲۰) برای ارزیابی تغییرات و ناهنجاری دمایی در دهه‌های آینده (۲۰۲۱-۲۱۰۰) استفاده گردید و فراوانی هر یک از دامنه‌های شدت‌های ناهنجاری‌های دمایی سه متغیر مورد مطالعه در ایستگاه‌ها شمارش و درصد آن‌ها محاسبه گردید. ناهنجاری‌های دمایی با استفاده از شاخص Z (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴) محاسبه و استخراج گردید:

$$z = \frac{(X - \bar{X})}{S}$$

میانگین در نواحی بیابانی و شهری شمال چین با آزمون روند من-کندال و تحلیل رگرسیون پرداخته‌اند و نتایج پژوهش آنان نشان داد که دامنه تغییرات شبانه‌روزی در فصل بهار در هر دو ناحیه کاهش و در فصل تابستان در شهرها کاهش و در مناطق بیابانی افزایش می‌یابد. لوئیس و کینگ^۱ (۲۰۱۷)، تغییرات تدریجی دمای حداقل و حداکثر در استرالیا، آسیا، اروپا و آمریکای شمالی را در قرن ۲۱ با استفاده از مدل CMIP5 و تحت سناریوی بدینانه RCP8.5 بررسی کرده و نتیجه گرفتند که دمای حداقل حساسیت کمتری نسبت به دمای حداکثر دارد. یو^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه خود به بررسی تغییرات دمایی در جهان پرداختند و نتایج نشان داد در اقیانوس‌ها و عرض‌های جنوبی ناهنجاری دمایی نسبت به خشکی و عرض‌های شمالی بیشتر است. هو و هوانگ^۳ (۲۰۲۰)، ناهنجاری دمایی بالا و ارتباط آن با گردش عمومی جو را بررسی نمودند و نتایج پژوهش آنان نشان داد که بیشترین ناهنجاری دمایی در محدوده شبه‌جزیره عربستان رخ داده است.

حاتمی زرنه و همکاران (۱۳۹۶)، ارتباط گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری دمایی کره زمین را با نوسان زمانی امواج گرمایی منطقه شمال غرب ایران در دوره آماری (۲۰۱۴-۱۸۵۱) با روش‌های همبستگی پیرسون، اسپیرمن، رگرسیون خطی، پلی‌نومیل و آزمون من-کندال بررسی کرده و نتیجه گرفتند که فراوانی امواج گرمایی روند افزایشی و معنی‌دار داشته و مقدار همبستگی نیز مثبت و معنی‌دار است. روجبخش سیگارودی و همکاران (۱۳۹۷)، ناهنجاری میانگین دمای حداقل و حداکثر دوره گرم سال ایران در دوره (۲۰۱۰-۱۹۵۱) را بررسی و نتیجه گرفتند که نیمه غربی کشور بیشترین کاهش در میانگین دمای حداقل و حداکثر را داشته‌اند. کرمی میرعزیزی و همکاران (۱۳۹۸)، الگوهای همدیدی که به ناهنجاری دمایی و تغییرات گرمایی در منطقه غرب و شمال غرب منجر می‌شود را در طول دوره آماری (۲۰۱۸-۱۹۸۹) بررسی کردند و از نرم‌افزار آشکارسازی تغییر اقلیم استفاده کردند که در نهایت به شناسایی ۱۳۹ روز دارای شرایط ناهنجار در دوره گرم سال منجر شد. روستا و دوستکامیان (۱۳۹۹)، اثر ناهنجاری دمای سطح دریای سیاه را بر تغییرات الگوی دما و بارش غرب و شمال غرب ایران از سال ۱۳۴۱ تا ۱۳۹۰ بررسی و تحلیل کردند و نتایج نشان داد که ناهنجاری‌های مثبت بیشتر دمای منطقه غرب را تحت تأثیر قرار داده است. ربایی سبزواری و همکاران (۱۴۰۱)، در غرب و شمال غرب ایران الگوهای همدیدی که به ناهنجاری دمایی منجر می‌شوند را برای سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸ مورد واکاوی قرار دادند و نتایج گویای وجود شارش نصف‌النهاری عرض‌های میانه به‌عنوان علت اصلی ناهنجاری دمایی است. در این پژوهش سعی شده است در راستای تکمیل کارهای پژوهشی انجام شده، به بررسی ناهنجاری دمایی در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل تحت شرایط تغییر اقلیم پرداخته شود.

۲- روش انجام تحقیق

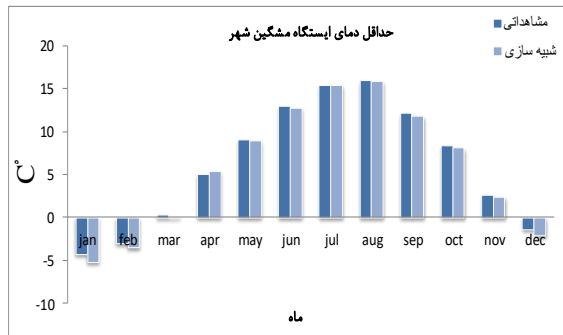
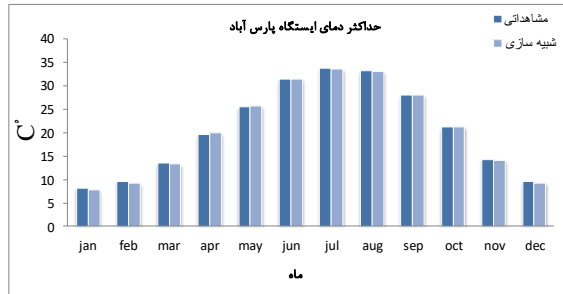
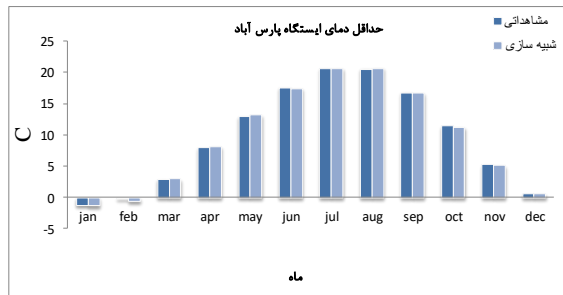
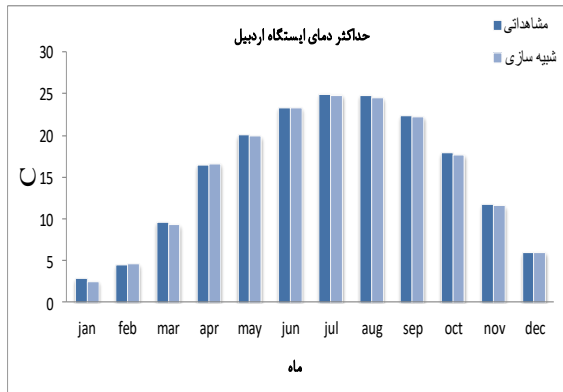
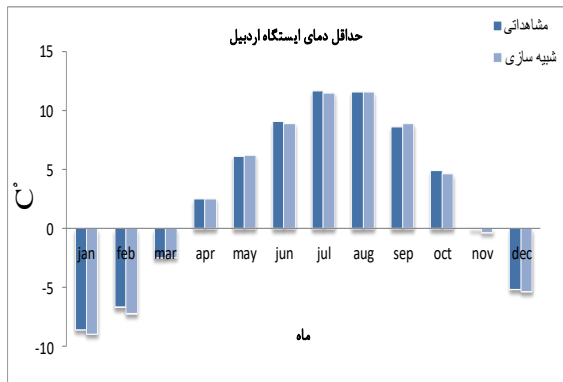
• محدوده مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال غرب فلات ایران با وسعت معادل ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع واقع شده است و دارای مختصات ۳۷ درجه و ۷ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه الی ۴۸

¹ - Lewis and King

² - Yu

³ - Hu and Huang



که Z : نمره استاندارد شده دما، \bar{X} : میانگین دمای هر ماه، X : دمای روز مورد نظر در طی دوره آماری و S : انحراف معیار ماه مدنظر است. دامنه‌های تعریف شده در طبقه‌بندی (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵) به‌عنوان معیار تعیین شدت‌های مختلف ناهنجاری‌های دمایی ملاک عمل قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- طبقات ناهنجاری‌های دمایی بر اساس شاخص استاندارد شده دما

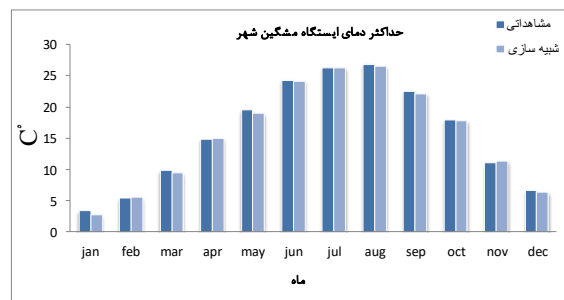
دامنه شاخص Z	شدت ناهنجاری دمایی
۳ و بیشتر	بی‌نهایت گرم
۲ تا ۲/۹۹	بسیار گرم
۱ تا ۱/۹۹	گرم متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	گرم ضعیف
۰/۵ تا -۰/۵	نرمال
-۰/۹۹ تا -۰/۵	سرد ضعیف
-۱ تا -۱/۹۹	سرد متوسط
-۲ تا -۲/۹۹	بسیار سرد
-۳ و کمتر	بی‌نهایت سرد

۳- نتایج

اعتبارسنجی مدل

نمودارهای مقایسه‌ای بین مقادیر داده‌های مشاهده‌ای حداقل و حداکثر دما و مقادیر تولیدشده آن‌ها توسط مدل LARS برای ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل در شکل ۲ آورده شده است. وجود اختلاف اندک بین این دو داده نشان‌دهنده کارایی بالای این مدل در شبیه‌سازی متغیرهای مورد مطالعه است. با دقت در این شکل می‌توان دریافت میانگین حداقل دمای مشاهده‌ای ایستگاه اردبیل در ماه‌های نوامبر تا ژانویه کمتر از حداقل دمای تولید شده توسط مدل بوده، در ژوئن تا سپتامبر بیشتر از آن و در می و آوریل مقادیر این دو داده تقریباً باهم برابر است. میانگین حداکثر دمای تولیدشده توسط مدل در این ایستگاه در ماه‌های می و ژوئن با داده مشاهده‌ای برابر، در ژانویه، آوریل و دسامبر بیشتر از حداکثر دمای مشاهده‌ای و در سایر ماه‌ها کمتر از آن است. در ایستگاه پارس‌آباد میانگین حداقل دمای تولیدشده توسط مدل در ماه‌های ژوئن و سپتامبر با داده مشاهده‌ای برابر بوده، در سایر ماه‌ها به‌جز ژانویه، فوریه، آوریل و آگوست کمتر از مقدار مشاهده‌ای است. میانگین حداکثر دمای تولید شده توسط مدل در این ایستگاه در ماه‌های می، ژوئن و سپتامبر با داده مشاهده‌ای تقریباً برابر، در آوریل و اکتبر از آن بیشتر و در سایر ماه‌ها کمتر از داده مشاهده‌ای است. میانگین حداقل دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل برای ایستگاه مشکین‌شهر در ژانویه، آوریل و دسامبر بیشتر از مقدار مشاهده‌ای، در ژوئن برابر با مشاهده‌ای و در سایر ماه‌ها کمتر از آن است. میانگین حداکثر دمای شبیه‌سازی شده در این ایستگاه در آوریل و نوامبر بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای، در فوریه برابر با آن و در سایر ماه‌ها کمتر از آن است. در کل می‌توان گفت مدل در شبیه‌سازی دمای ماه می، ژوئن و سپتامبر حداقل خطا و اختلاف را با داده مشاهده‌ای ایستگاه‌ها دارد و در سایر ماه‌ها اختلاف اندکی بین داده مدل و مشاهده‌ای ملاحظه می‌گردد که نشان از دقت بالای مدل در تولید داده‌های مصنوعی هوا دارد.

و پارس آباد تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۴۵، ۵۱ و ۶۳ درصد، تحت سناریوی RCP4.5 به ترتیب ۵۹، ۵۷ و ۵۹ درصد و تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۷۸، ۷۳ و ۸۰ درصد محاسبه گردید. بیشترین درصد شرایط بهنجار متوسط حداقل دمای پیش‌بینی شده مربوط به مشکین شهر و تحت سناریوی RCP8.5 است. بیشترین درصد فراوانی ناهنجاری گرم در ماه‌های گرم دوره آینده مربوط به پارس آباد (۶۴، ۶۴، ۷۱، ۸۳، ۷۷ و ۶۷ درصد) تحت سناریوی RCP8.5 است. کمترین درصد فراوانی ناهنجاری گرم در این ماه‌ها نیز متعلق به مشکین شهر تحت سناریوی RCP2.6 (به ترتیب ۴۶، ۴۸، ۵۰، ۵۰، ۵۲ و ۴۶ درصد) محاسبه شد. همچنین بیش‌ترین درصد فراوانی ناهنجاری‌های سرد محدوده مورد مطالعه در می و سپتامبر مربوط به مشکین شهر (۲۰ و ۱۸ درصد تحت سناریوی RCP2.6) و در ژوئن، ژوئیه، اگوست و اکتبر (به ترتیب ۱۸، ۱۵، ۱۵ و ۱۸ درصد تحت سناریوی RCP2.6) متعلق به اردبیل است. کمترین درصد فراوانی ناهنجاری سرد استان مربوط به پارس آباد (۹، ۵، ۳، ۶ و ۸ درصد) تحت سناریوی RCP8.5 است. از جدول درصد فراوانی شرایط نرمال و ناهنجاری‌های منفی و مثبت متوسط حداکثر دمای ایستگاه‌های استان در طول ماه‌های گرم می‌توان دریافت ناهنجاری گرم و سرد بیشتر از شرایط بهنجار پیش‌بینی شده است و شرایط نرمال در این ماه‌ها حوالی ۳۰ درصد (بین ۱۶ تا ۳۷ درصد) برقرار بوده در حالی که ناهنجاری گرم در بیش از ۵۰ درصد و حداکثر تا ۷۹ درصد مواقع غلبه دارد در مقابل رخداد ناهنجاری سرد بین ۹ تا ۲۲ درصد مشاهده می‌شود. فراوانی ناهنجاری‌های دمای پیش‌بینی شده برای این متغیر تحت سناریوی RCP8.5 به مراتب بیشتر از دو سناریوی دیگر است. اختلاف برآورد دو سناریوی RCP8.5 و RCP2.6 و نیز تفاضل درصد فراوانی ناهنجاری گرم و سرد در ماه اگوست به حداکثر خود می‌رسد. تفاضل این دو ناهنجاری دمای در مشکین شهر، اردبیل و پارس آباد تحت سناریوی RCP2.6 به ترتیب ۳۲، ۲۵ و ۴۹ درصد، تحت RCP4.5 به ترتیب ۴۱، ۳۲ و ۵۷ درصد و تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۵۶، ۴۸ و ۷۴ درصد به دست آمد. همانند حداقل دما، بالاترین درصد شرایط بهنجار حداکثر دمای استان در مشکین شهر و تحت سناریوی RCP8.5 پیش‌بینی شده است.



شکل ۲- نمودارهای مقایسه‌ای میانگین حداقل و حداکثر دمای مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل توسط مدل LARS-WG در دوره گذشته

در جدول (۲) درصد فراوانی شرایط نرمال و ناهنجاری منفی و مثبت متوسط حداقل و حداکثر دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه طی ماه‌های گرم سال (می تا اکتبر) تحت شرایط تغییر اقلیم و بر اساس ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP برای دوره آینده و در جدول (۳) درصد این فراوانی‌ها برای میانگین دمای آن‌ها آورده شده است. با توجه به جدول (۲) و ارقام مربوط به درصد شرایط نرمال متوسط حداقل دمای ایستگاه‌ها، بروز ناهنجاری دمای گرم و سرد در تمامی ماه‌های گرم تحت هر سه سناریو به میزان چشمگیری پیش‌بینی شده است. در حالی که شرایط بهنجار حدود ۳۱ درصد (متغیر بین کمینه ۱۴ و بیشینه تا ۳۹ درصد) را به خود اختصاص داده، درصد فراوانی ناهنجاری گرم در تمامی ماه‌ها بر ناهنجاری سرد و شرایط نرمال غلبه داشته و بیش از ۵۰ درصد و حداکثر تا ۸۳ درصد برآورد شد. ناهنجاری سرد بین ۳ تا ۲۰ درصد متغیر است. در تمامی ایستگاه‌ها و ماه‌های گرم، درصد فراوانی ناهنجاری‌های گرم و سرد و شرایط بهنجار پیش‌بینی شده به‌واسطه خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP4.5 بیشتر از RCP2.6، تحت سناریوی RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 است. برآورد صورت گرفته توسط سناریوی RCP8.5 در مقایسه با RCP2.6 در خصوص ناهنجاری گرم، گاه تا ۱۰ درصد تفاوت دارد. اختلاف بین ناهنجاری گرم و سرد ایستگاه‌ها در اگوست به بیشترین مقدار خود می‌رسد که بیشترین تفاضل آن‌ها تحت سناریوی RCP8.5 برآورد شده است. مقدار این تفاضل در مشکین شهر، اردبیل

جدول ۲- درصد فراوانی ناهنجاری‌های دمای و شرایط بهنجار حداقل و حداکثر دما در مقیاس ماهانه در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل (۲۰۲۱-)

۲۰۲۱) بر اساس مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP

ایستگاه	سناریو	ناهنجاری	متوسط حداقل دما					متوسط حداکثر دما						
			می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر
اردبیل	RCP2.6	سرد	۱۷	۱۸	۱۵	۱۲	۱۵	۱۷	۱۸	۱۵	۱۲	۱۵	۱۷	۱۸
		گرم	۵۱	۵۱	۵۶	۶۳	۵۵	۴۹	۴۹	۵۵	۶۳	۵۵	۴۹	۴۹
		نرمال	۳۲	۳۱	۲۹	۲۵	۳۰	۳۳	۳۳	۳۰	۲۵	۲۹	۳۰	۳۳
اردبیل	RCP4.5	سرد	۱۵	۱۷	۱۴	۱۰	۱۲	۱۶	۱۲	۱۰	۱۴	۱۰	۱۲	۱۶
		گرم	۵۴	۵۳	۵۹	۶۷	۶۰	۵۳	۵۳	۶۰	۶۷	۵۹	۶۰	۵۳
		نرمال	۳۱	۳۰	۲۷	۲۳	۲۸	۳۱	۳۱	۲۸	۲۳	۲۷	۲۸	۳۱
اردبیل	RCP8.5	سرد	۱۱	۱۳	۹	۵	۷	۱۱	۷	۵	۹	۷	۱۱	۱۳
		گرم	۶۱	۶۱	۶۷	۷۸	۶۹	۶۲	۶۲	۶۹	۷۸	۶۷	۶۲	۶۲
		نرمال	۲۸	۲۶	۲۴	۱۷	۲۴	۲۷	۲۷	۲۴	۱۷	۲۴	۲۷	۲۸
پارس آباد	RCP2.6	سرد	۱۳	۱۳	۱۰	۶	۱۳	۱۷	۱۳	۶	۱۰	۱۳	۱۳	۱۷
		گرم	۵۵	۵۴	۶۱	۶۹	۶۰	۵۲	۵۲	۶۰	۶۹	۶۱	۵۲	۵۲
		نرمال	۳۲	۳۳	۲۹	۲۵	۲۷	۳۱	۳۱	۲۷	۲۵	۲۹	۳۲	۳۲

۱۷	۱۵	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۴	۱۰	۵	۹	۱۲	۱۱	سرد	RCP4.5	مشکین شهر
۵۱	۵۷	۶۶	۶۳	۵۹	۵۸	۵۷	۶۶	۷۳	۶۴	۵۶	۵۸	گرم		
۳۳	۲۸	۲۵	۲۷	۳۰	۳۰	۲۹	۲۴	۲۲	۲۷	۳۲	۳۱	نرمال		
۱۰	۱۱	۵	۷	۹	۱۱	۸	۶	۳	۵	۹	۹	سرد	RCP8.5	
۶۲	۶۸	۷۹	۷۲	۶۷	۶۲	۶۷	۷۷	۸۳	۷۱	۶۴	۶۴	گرم		
۲۸	۲۱	۱۶	۲۱	۲۴	۲۷	۲۵	۱۷	۱۴	۲۴	۲۷	۲۷	نرمال		
۱۶	۱۹	۱۵	۱۶	۱۶	۱۷	۱۴	۱۸	۱۰	۱۳	۱۸	۲۰	سرد	RCP2.6	
۵۲	۴۹	۴۷	۴۱	۴۷	۴۷	۴۶	۵۲	۵۵	۵۰	۴۸	۴۶	گرم		
۳۲	۳۲	۲۸	۴۳	۳۴	۳۶	۳۹	۳۰	۳۵	۳۷	۳۴	۳۵	نرمال		
۱۵	۱۹	۱۲	۱۴	۱۲	۱۳	۱۱	۱۵	۷	۱۲	۱۶	۱۷	سرد	RCP4.5	
۵۳	۵۰	۵۳	۴۹	۵۵	۵۵	۵۰	۵۶	۶۶	۵۴	۵۰	۴۸	گرم		
۳۲	۳۱	۳۵	۳۷	۳۳	۳۲	۳۹	۲۹	۲۷	۳۴	۳۴	۳۵	نرمال		
۱۰	۱۳	۹	۹	۹	۱۱	۹	۱۱	۴	۸	۱۳	۱۴	سرد	RCP8.5	
۶۲	۶۰	۶۵	۶۱	۶۰	۵۸	۵۹	۶۶	۸۲	۷۰	۵۸	۵۴	گرم		
۲۸	۲۷	۲۶	۳۰	۳۱	۳۱	۳۲	۲۳	۱۴	۲۲	۲۹	۳۲	نرمال		

گرم و بی‌نهایت سرد کمترین درصد فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. در سطح استان به‌طور متوسط ناهنجاری‌های گرم ضعیف بین ۱۹ تا ۲۳ درصد و گرم متوسط بین ۲۶ تا ۳۳ درصد محاسبه شد و ۴/۵ تا ۸ درصد ناهنجاری سرد استان از نوع ضعیف و ۲/۹ تا ۵/۲ درصد آن از نوع متوسط می‌باشد. بیشترین درصد فراوانی ناهنجاری گرم متوسط در ماه آگوست و کمترین آن در ماه می مشاهده می‌شود با این حال این نوع ناهنجاری دارای تفاوت زمانی زیادی است و از ۴۷ درصد در متوسط دمای روزانه آگوست در پارس‌آباد تا ۱۸ درصد در دمای روزانه ماه ژوئیه در مشکین‌شهر متغیر است. این ناهنجاری در تقابل با نمودار شرایط بهنجار است که در آن آگوست کمترین درصد را در بین ماه‌ها دارد. در واقع کم بودن درصد شرایط بهنجار ماه آگوست به نفع افزایش درصد ناهنجاری گرم متوسط بوده است. ناهنجاری گرم ضعیف در ژوئیه به بیشینه خود (۲۳/۵ درصد) می‌رسد و در حالت کلی می‌توان گفت هر چه از ماه می به اکتبر پیش می‌رویم، درصد این ناهنجاری کمتر می‌شود. ناهنجاری سرد ضعیف که به‌طور متوسط ۶/۱ درصد فراوانی‌ها را به خود اختصاص داده، فراوانی وقوع بیشتری در اکتبر (۸ درصد) دارد و از نظر مکانی در پارس‌آباد (۲ درصد در حداقل دمای آگوست) کمترین درصد و در اردبیل (۱۳ درصد در حداکثر دمای اکتبر) بیشترین درصد این نوع ناهنجاری مشاهده می‌شود. توزیع زمانی درصد فراوانی ناهنجاری سرد متوسط (۴/۲ درصد) نشان می‌دهد در اغلب ایستگاه‌ها سپتامبر و ژوئن دارای بیشترین درصد فراوانی (به‌طور میانگین ۵/۳ و ۴/۴ درصد) و آگوست دارای کمترین درصد فراوانی (۲/۹ درصد) است. ناهنجاری‌های بسیار سرد و بسیار گرم به‌ترتیب ۰/۶ و ۶/۵ درصد فراوانی رخدادها را به خود اختصاص داده‌اند. بیشتر ناهنجاری بسیار سرد از نظر زمانی در ماه‌های ژوئیه و سپتامبر و از نظر مکانی در مشکین‌شهر و بیشتر ناهنجاری بسیار گرم در ماه‌های آگوست و سپتامبر و از نظر مکانی در پارس‌آباد پیش‌بینی شده است.

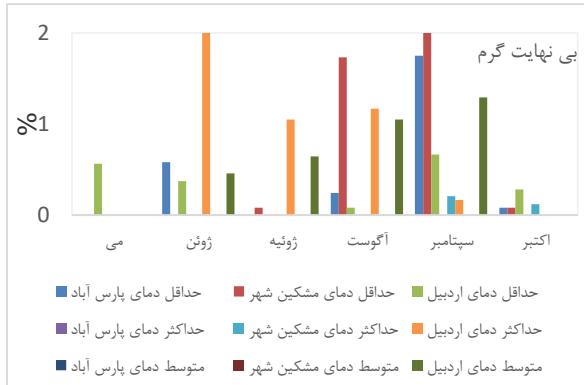
بیشترین درصد فراوانی ناهنجاری گرم حداکثر دمای دوره آینده طی ماه‌های می تا اکتبر مربوط به پارس‌آباد (به‌ترتیب ۶۲، ۶۷، ۷۲، ۷۹، ۶۸ و ۶۲ درصد) تحت سناریوی RCP8.5 است. کمترین درصد فراوانی این ناهنجاری در ماه‌های می تا آگوست مربوط به مشکین‌شهر (۴۷، ۴۷، ۴۱ و ۴۷ درصد) و در سپتامبر و اکتبر مربوط به اردبیل (۴۵ و ۴۸ درصد) تحت سناریوی RCP2.6 است. همچنین بیشترین درصد فراوانی ناهنجاری سرد استان در اردبیل (۱۷، ۱۷، ۱۸، ۱۸، ۱۹ و ۲۲ درصد) تحت سناریوی RCP2.6 و کمترین مقدار آن در پارس‌آباد (۱۱، ۹، ۷، ۵، ۱۱ و ۱۰ درصد) برآورد شد. ناهنجاری میانگین دمای استان در ماه‌های می تا اکتبر دوره آینده تحت شرایط تغییر اقلیم (جدول ۳) نشان می‌دهد همانند دو متغیر قبلی، درصد ناهنجاری گرم در مرتبه اول، شرایط بهنجار در مرتبه دوم و ناهنجاری سرد در مرتبه سوم قرار دارند. درصد ناهنجاری‌های میانگین دمای استان از نظر تعلق داشتن بیشترین و کمترین درصد ناهنجاری گرم و سرد به ایستگاه‌ها مشابه حداکثر دما است با این تفاوت که مقدار درصدی ناهنجاری گرم، بیشتر و درصد ناهنجاری سرد کمتر از مقادیر مشابه آن‌ها در حداکثر دما کمتر شده است و به‌عنوان مثال در آگوست ایستگاه پارس‌آباد تحت سناریوی RCP8.5 حتی تا ۹۰ درصد این ماه را به خود اختصاص داده است. از بین سناریوهای مورد مطالعه، نمودار شدت‌های مختلف ناهنجاری دمایی ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل طی ماه‌های می تا اکتبر تحت سناریوی RCP4.5 به‌عنوان نمونه در شکل (۳) آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ناهنجاری گرم بر ناهنجاری سرد و شرایط بهنجار غلبه دارد و در این بین بیشترین درصد فراوانی شدت‌های ناهنجاری دمایی این ماه‌ها از نوع گرم متوسط و گرم ضعیف بوده و فراوانی ناهنجاری بسیار گرم، سرد ضعیف و متوسط در مراتب بعدی قرار دارند. ناهنجاری‌های بسیار سرد، بی‌نهایت

جدول ۳- درصد فراوانی ناهنجاری‌های دمایی و شرایط بهنجار متوسط دمای روزانه در مقیاس ماهانه در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل (۲۱۰۰-)

CanESM2 مدل تحت سناریوهای RCP (۲۰۲۱) بر اساس

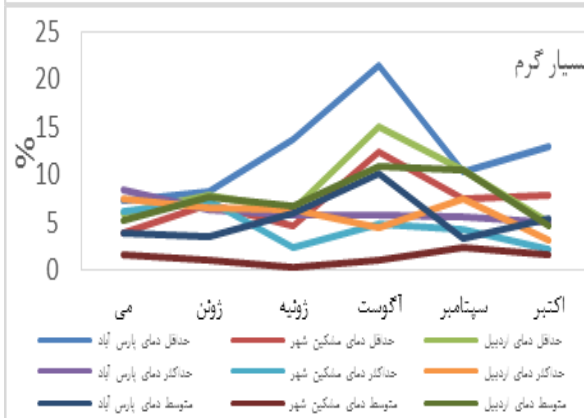
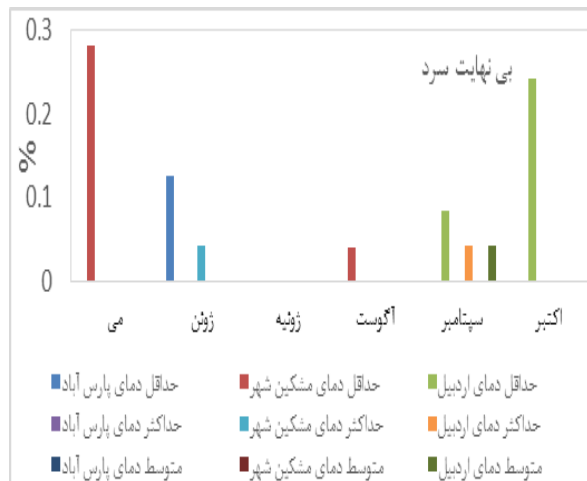
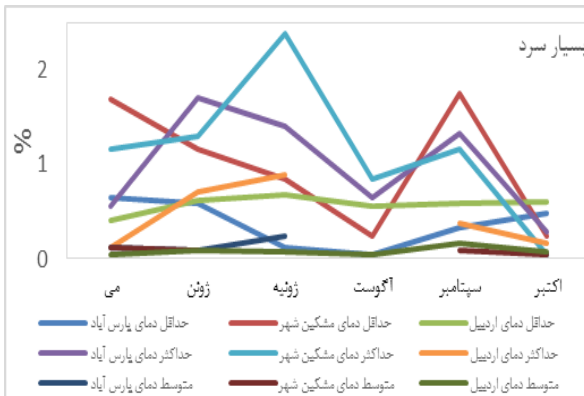
پارس‌آباد			اردبیل					ناهنجاری		سناریو		
اکتبر	سپتامبر	آگوست	ژوئیه	ژوئن	می	اکتبر	سپتامبر	آگوست	ژوئیه		ژوئن	
۹	۸	۳	۶	۶	۸	۱۱	۱۱	۸	۱۱	۱۱	سرد	RCP2.6
۵۷	۶۰	۷۴	۶۴	۶۱	۶۲	۵۱	۵۸	۶۰	۵۵	۵۵	گرم	
۳۴	۳۲	۲۳	۳۰	۳۳	۳۰	۳۸	۳۱	۳۲	۳۴	۳۴	نرمال	

۸	۷	۳	۵	۶	۷	۹	۹	۶	۹	۹	۶	سرد	RCP4.5
۶۰	۶۴	۷۹	۶۹	۶۳	۶۶	۵۴	۶۲	۶۶	۶۱	۶۰	۶۱	گرم	
۳۲	۲۹	۱۸	۲۶	۳۱	۲۷	۳۷	۲۹	۲۸	۳۰	۳۱	۳۳	نرمال	
۴	۴	۱	۳	۴	۵	۴	۴	۲	۴	۶	۴	سرد	RCP8.5
۷۲	۷۷	۹۰	۸۰	۷۱	۷۱	۶۸	۷۶	۸۱	۷۴	۶۹	۶۸	گرم	
۲۴	۱۹	۹	۱۷	۲۵	۲۴	۲۸	۲۰	۱۷	۲۲	۲۵	۲۸	نرمال	



جدول ۴- درصد فراوانی ناهنجاری های دمایی و شرایط بهنجار متوسط دما در مقیاس ماهانه در ایستگاه مشکین شهر

سناریو	ناهنجاری	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر
RCP 2.6	سرد	۸	۶	۷	۴	۱۰	۹
	گرم	۵۱	۴۶	۴۹	۵۱	۵۲	۵۷
	نرمال	۴۰	۴۸	۴۳	۴۵	۳۸	۳۴
RCP 4.5	سرد	۶	۵	۵	۳	۹	۸
	گرم	۵۸	۵۳	۵۶	۵۸	۵۷	۶۰
	نرمال	۳۶	۴۲	۳۹	۳۹	۳۴	۳۲
RCP 8.5	سرد	۴	۴	۴	۱	۵	۴
	گرم	۶۵	۶۱	۶۸	۷۳	۶۷	۷۰
	نرمال	۸	۶	۷	۴	۱۰	۹



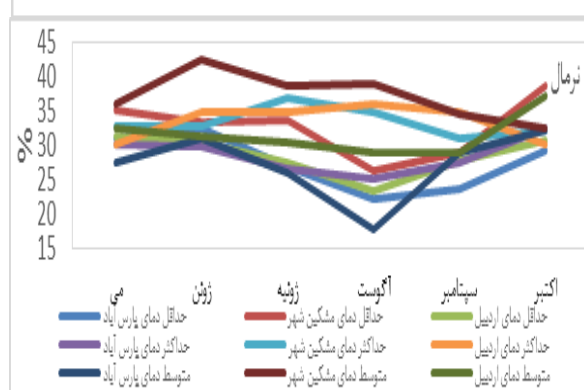
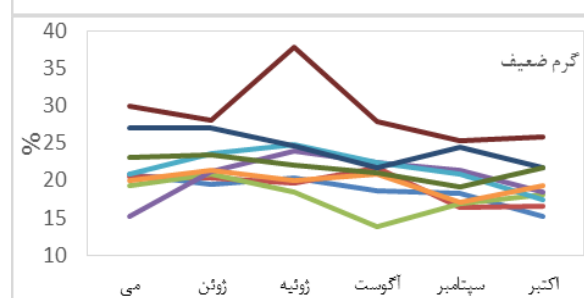
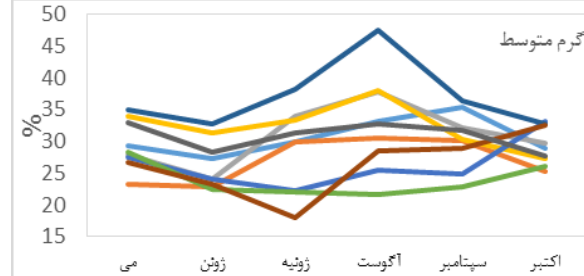
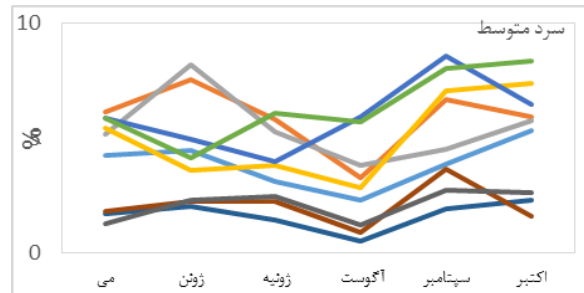
منظم‌تری را نشان می‌دهد و در هر سه مؤلفه دمایی اردبیل و مشکین‌شهر و تنها در حداقل دمای پارس‌آباد مقادیری را به خود اختصاص داده است. از نظر زمانی نیز در آگوست و سپتامبر تکرار بیشتری نسبت به سایر ماه‌های گرم دارد. در دو سناریوی دیگر نیز درصد ناهنجاری گرم بر شرایط بهنجار و ناهنجاری سرد غلبه دارد. در سناریوی RCP2.6 ناهنجاری گرم در آگوست بیشترین و در اکتبر کمترین فراوانی و ناهنجاری سرد در آگوست کمترین و در سپتامبر بیشترین فراوانی را دارد. در سناریوی RCP8.5 ناهنجاری گرم در آگوست و ژوئیه و ناهنجاری سرد در ماه‌های می و ژوئن تکرار بیشتری دارد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، ناهنجاری‌های مؤلفه‌های سه‌گانه دمای ماه‌های می تا اکتبر در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل تحت شرایط تغییر اقلیم بررسی شد و برای این منظور از خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP توسط ریزگردان LARS استفاده گردید و آمار بلندمدت (۲۰۲۱-۲۱۰۰) میانگین‌های حداقل، حداکثر و روزانه دما ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان اردبیل (پارس‌آباد، اردبیل و مشکین‌شهر) با استفاده از شاخص Z به‌دست‌آمده از آمار مشاهداتی ایستگاه‌ها طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۸۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

ارزیابی فراوانی ناهنجاری‌های مؤلفه‌های سه‌گانه دما در این استان تحت سه سناریوی RCP نشان داد که در ماه‌های گرم دوره آینده غلبه با ناهنجاری‌های گرم (بیش از ۵۰ درصد) است و شرایط بهنجار در مرتبه دوم (۳۰ درصد) قرار دارد و ناهنجاری‌های سرد کمترین درصد را دارند. این یافته نشان‌دهنده احتمال زیاد وقوع گرمایش و تغییر اقلیم آینده در این محدوده است و بر تداوم و تشدید رخداد ناهنجاری‌های گرم دوره گذشته (بر اساس داده مشاهداتی) در دوره آینده (بر اساس برون‌داد مدل CanESM2) دلالت دارد. چرا که حاتمی زرنه و همکاران (۱۳۹۸) در تحلیل زمانی امواج گرمایی شمال‌غرب ایران به این نتیجه رسیدند روند این رخدادها در این منطقه افزایشی و از نظر شدت معنی‌دار است. نتایج پژوهش علیچانی و همکاران (۱۳۹۳)، اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۱) و دارند (۱۳۹۳b) نیز بیانگر افزایش این نوع ناهنجاری دمایی در ایران است. درصد فراوانی پیش‌بینی‌شده ناهنجاری‌های دمایی با استفاده از ریزگردانی مدل CanESM2 تحت سناریوی متوسط (RCP4.5) بیشتر از سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6) و تحت سناریوی بدبینانه (RCP8.5) بیشتر از سناریوی متوسط است. اختلاف برآورد دو سناریوی RCP8.5 و RCP2.6 و بیشترین مقدار تفاضل دو ناهنجاری گرم و سرد در آگوست به حداکثر خود می‌رسد. بیشترین و کمترین درصد فراوانی ناهنجاری گرم متوسط به‌ترتیب متعلق به پارس‌آباد و مشکین‌شهر است. بیشترین درصد ناهنجاری سرد در اردبیل و کمترین آن در پارس‌آباد محاسبه شد. ملاحظه می‌شود بین رخداد ناهنجاری گرم در ماه‌های گرم رابطه مستقیمی با دمای آن دارد و هرچه دمای ایستگاهی کمتر می‌شود، رخداد ناهنجاری گرم در آن ایستگاه طی ماه‌های گرم کمتر می‌شود.

ترتیب شدت‌های مختلف ناهنجاری‌های دمایی سه مؤلفه مورد مطالعه در استان اردبیل تحت سناریوی RCP4.5، از بیشترین به کمترین درصد عبارت است از: شرایط بهنجار (۳۱ درصد)، گرم متوسط (۲۹/۴ درصد)، گرم ضعیف (۲۱/۴ درصد)، بسیار گرم (۶/۵ درصد)، سرد ضعیف



شکل ۳- نمودار توزیع فراوانی شدت‌های مختلف ناهنجاری‌های دمایی در ایستگاه‌های مورد مطالعه بر حسب درصد (۲۱۰۰-۲۰۲۱) تحت شرایط تغییر اقلیم بر اساس خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوی RCP4.5

بیشترین فراوانی ناهنجاری بی‌نهایت سرد که به‌طور متوسط ۰/۲ درصد را در سطح استان به خود اختصاص داده از نظر زمانی در می و اکتبر در اردبیل و مشکین‌شهر (حداقل دما) تکرار بیشتری دارد و در ژوئیه اصلاً مشاهده نمی‌شود. ناهنجاری بی‌نهایت گرم هرچند حدود ۰/۶ درصد فراوانی وقوع دارد اما در مقایسه با ناهنجاری بی‌نهایت سرد نمود

(۶/۱ درصد)، سرد متوسط (۴/۲ درصد)، بسیار سرد، بی‌نهایت گرم و بی‌نهایت سرد (حدود ۱/۵ درصد). ملاحظه می‌گردد در بین انواع شدت‌های ناهنجاری دمایی غلبه با گرم متوسط و گرم ضعیف است و ناهنجاری‌های بی‌نهایت گرم و بی‌نهایت سرد به‌ندرت و حدود ۱ درصد را شامل می‌شوند و این مطلب همسو با نتایج ربابی سبزواری و همکاران (۱۴۰۱) است.

منابع

- اسماعیل‌نژاد، م.، ۱۳۹۱. شناسایی امواج گرمایی ایران و ارتباط آن با الگوهای همدید: رساله دکتری تخصصی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- بابایی، م.، ۱۳۹۱. هواشناسی نوین، تهران، انتشارات آبیژ.
- حاتمی زرنه، د.، حجازی‌زاده، ز.، ناصرزاده، م. ح.، ۱۳۹۸، تحلیل نوسانات زمانی امواج گرمایی منطقه شمال غرب ایران و ارتباط آن‌ها با گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری‌های دمایی کره زمین، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۹، شماره ۵۲، ص ۳۵-۵۶.
- خوش اخلاق، ف.، داوودی، م.، روستا، ا.، حقیقی، ا.، ۱۳۹۱. تحلیل همدیدی سرماهای شدید شمال خراسان، مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۳، شماره ۹، ص ۱-۱۲.
- دارند، م.، ۱۳۹۳a. شناسایی و تحلیل زمانی - مکانی امواج گرمایی ایران زمین، جغرافیا و توسعه، سال ۱۲، شماره ۳۵، ص ۱۶۷-۱۸۰.
- دارند، م.، ۱۳۹۳b. واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به‌عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال ۲۱، شماره ۲، ص ۱-۳۰.
- ربابی سبزواری، آ.، کرمی میر عزیز، آ.، عزیز، ق.، ۱۴۰۱. الگوهای همدیدی منجر به ناهنجاری‌های دمایی سه دهه اخیر در غرب و شمال غرب ایران، نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۱۳، شماره ۵۰، ص ۲۳-۴۰.
- روحبخش سیگارودی، ح. ع.، کرم‌پور، م.، قائمی، ه.، مرادی، م.، آزادی، م.، ۱۳۹۷. بررسی بی‌هنجاری‌های میانگین دمای کمینه و بیشینه ایران در دوره گرم سال به منظور شناسایی دوره گرم و سرد، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۷، ص ۱۶۱-۱۸۷.
- روستا، ا.، دوستکامیان، م.، ۱۳۹۹. بررسی و تحلیل اثرات ناهنجاری دمای سطح دریای سیاه بر تغییرات الگوی رخداد دما و بارش غرب و شمال غرب ایران، نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، سال ۱، شماره ۱، ص ۸۳-۹۶.
- عزیز، ق.، میری، م.، رحیمی، م.، ۱۳۹۴. شناسایی الگوهای همدید مؤثر در شکل‌گیری ناهنجاری‌های دمایی ایران و اروپا، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، ص ۹۱-۱۰۴.
- عساکره، ح.، ۱۳۸۶. تغییر اقلیم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه زنجان.
- علیجانی، ب.، روشنی، ا.، پرک، ف.، حیدری، ر. ا.، ۱۳۹۱. روند تغییرپذیری فرین‌های دما با استفاده از شاخص‌های تغییر اقلیم در ایران. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۱ شماره ۲، ص ۱۷-۲۸.
- قویدل رحیمی، ی.، فرج زاده اصل، م.، مطلبی زاد، س.، ۱۳۹۵. تحلیل آماری و سینوپتیک امواج سرمایی منطقه شمال غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۶، شماره ۴۰، ص ۲۹-۴۶.
- قویدل رحیمی، ی.، فرج زاده اصل، م.، عالی جهان، م.، ۱۳۹۶. ارزیابی اثر ناهنجاری‌های کره زمین بر دماهای متوسط ماهانه و فصلی ایران، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال ۱۷، شماره ۵۸، ص ۲۵-۴۷.
- کرمی میر عزیز، آ.، ربابی سبزواری، آ.، عزیز، ق.، ۱۳۹۸. تحلیل الگوهای همدیدی منجر به ناهنجاری دمایی و تغییرات دمایی دوره گرم در سه دهه اخیر در منطقه غرب و شمال غرب ایران، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۶، ص ۹۱-۱۱۰.
- 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 Syst, 16, P. 821-831.
- Houghton J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K., 1996. Climate Change, the Science of Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hu, L., Huang, G., 2020. The Changes Of High-Temperature Extremes And Their Links With Atmospheric Circulation Over The Northern Hemisphere, Theor Appl Climatol 139, P. 261-274.
- Labajo, Á. L., Egido, M., Martín, Q., Labajo, J., Labajo, J. L., 2014. Definition and temporal evolution of the heat and cold waves over the Spanish Central Plateau from 1961 to 2010. Atmósfera, Vol. 27(3), P. 273-286.
- Lewis, S.C., King, A.D., 2017. Evolution of mean variance and extremes in 21st century temperatures, Vol. 15, P. 1-10.
- Mugume, I., Shuanghe, S.H., Tao Sulin, T., Mujuni, G., 2016. Analysis of Temperature Variability over Desert and Urban Areas of Northern China, Journal of Climatology & Weather Forecasting 2-9.

- Perkins, S. E., Alexander, L. V., Nairn, J. R., 2012. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, Vol. 39, L20714.
- Yang, X. L., Xu, L. R., Liu, K., Li, C. H., Hu, J., Xia, X. H., 2012. "Trend in temperature and precipitation in the Zhangweinan river basin during the last 53 Years", *Procedia Environmental Sciences*, 13, P. 1966-1974
- Yu, M., Ruggieri, E., 2019. Change point analysis of global temperature records, *International Journal of Climatology*, Vol. 39(8), P. 3679-3688.

Evaluation of temperature anomalies in the warm period of the year in selected stations of Ardabil province under the conditions of climate change

Bromand Salahi*¹; Mahnaz Saber²; Fatemeh Vatanparast³

*1-Professor, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- Ph.D of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3- Ph.D student of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*Email Address: bromand416@yahoo.com

Abstract

Introduction

Temperature is one of the fundamental elements of the climate of an area, whose transformation can transform the climate structure of any place, for this reason, the study of the temperature trend in different temporal and spatial rules occupies a large part of climatology researches. Most of what is referred to as global warming or climate change includes mostly warming changes and the upward trend of the three components (average, minimum and maximum) of air temperature. Currently, climate threshold phenomena are in the center of researchers' attention because the risk of increasing the frequency, duration and sensitivity of climate thresholds has increased due to the increase of greenhouse gases and aerosols in the atmosphere. The LARS-WG model is a model that downscales the output of GCM models. Researches that focus on the temperature parameter; It is increasing day by day, among them is the research related to the increase in frequency, intensity, recorded global warm periods and the continuity of heat waves, which was done by Perkins et al. (2012). Yu et al. (2019), in their study investigated the temperature changes in the world and the results showed that the temperature anomaly is higher in the oceans and southern latitudes compared to the land and northern latitudes. Hu and Huang (2020) investigated the high temperature anomaly and its relationship with the general circulation of the atmosphere, and the results of their research showed that the highest temperature anomaly occurred in the Arabian Peninsula. Rohbakhsh Sigaroudi et al. (2017) investigated the anomaly of the average minimum and maximum temperature of the warm period of Iran in the period (1951-2010) and concluded that the western half of the country had the largest decrease in the average minimum and maximum temperature. Karmi-Mirazizi et al. (2018) investigated the synoptic patterns that lead to temperature anomalies and thermal changes in the western and northwestern regions during the statistical period (1989-2018). Rababi Sabzevari et al. (1401), in the west and northwest of Iran, analyzed the synoptic patterns that lead to temperature anomalies for 1989 to 2018, and the results indicate the existence of the mid-latitude meridional current as the main cause of temperature anomalies.

Methodology

Ardabil province is located in the northwest of the Iranian plateau with an area of 17,953 square kilometers and has the coordinates of 37 degrees 7 minutes to 39 degrees 43 minutes north latitude and 47 degrees 19 minutes to 48 degrees 55 minutes east longitude. In this research, in order to achieve the goal of the research, the long-term statistics of the minimum, maximum and daily temperature averages of the selected synoptic stations of Ardabil province (Ardabil, Pars Abad and Meshginshahr) were analyzed. For this purpose, first, the different intensities of the temperature anomalies of the stations were calculated based on the data of 1980-2020 using the Z index. Then, to generate the data of each station under the conditions of climate change, after the preparation and quality control of the data, the variables of minimum and maximum temperature, precipitation and sunny hours were entered into the LARS-WG model on a daily basis and following the evaluation of the ability of the LARS-WG model in simulating the data observed in these stations, the data of the future period (2021-2021) of these stations was produced, and the ability of the LARS-WG model in simulating the data observed in the synoptic stations of Ardabil province was evaluated. This process is divided into three stages, which include spatial analysis, model validation, and generation of synthetic weather data. The model used is CanESM2 under RCP scenarios. The daily minimum, maximum and average temperature data of synoptic stations during the past statistical period (from 1980, 1985 and 1995 to 2020, respectively) were used to evaluate temperature changes and anomalies in the coming decades (2021-2100) And the frequency of each of the temperature anomaly intensity

ranges of the three studied variables was counted and their percentage was calculated. Temperature anomalies were calculated using Z index.

Conclusion

The comparative graphs between minimum and maximum temperature observation data values and their values produced by LARS-WG model for selected stations of Ardabil province confirm the existence of a small difference between these two data and show the high efficiency of this model in simulating the studied variables and producing synthetic air data. The evaluation of the frequency of anomalies of the three components of temperature in this province under three RCP scenarios showed that in the hot months of the coming period, warm anomalies are predominant (more than 50%) and normal conditions are second (30 percent) and cold anomalies have the lowest percentage. The predicted frequency of temperature anomalies using the CanESM2 model fine-tuning under the average scenario (RCP4.5) is higher than the optimistic scenario (RCP2.6) and under the pessimistic scenario (RCP8.5) is higher than the average scenario. The difference between the estimates of the RCP8.5 and RCP2.6 scenarios and the maximum difference between the two hot and cold anomalies reaches its maximum in August. The highest and the lowest percentage of average warm anomaly frequency belong to Pars-Abad and Meshkin-Shahr, respectively. The highest percentage of cold anomaly was calculated in Ardabil and the lowest in Pars-Abad. The order of the different intensities of the temperature anomalies of the three studied components in Ardabil province under the RCP4.5 scenario, from the highest to the lowest percentage, is: normal conditions (31%), moderate heat (29.4%), weak heat (21.4 percent), very hot (6.5 percent), slightly cold (6.1 percent), moderately cold (4.2 percent), very cold, extremely hot and extremely cold (about 1.5 percent)). It can be observed that among the types of temperature anomaly intensities, there is a predominance of moderate heat and weak heat, and extremely hot and extremely cold anomalies are rare and include about 1%. In the other two scenarios, the percentage of warm anomaly prevails over normal conditions and cold anomaly. In the RCP2.6 scenario, the warm anomaly has the highest frequency in August and the lowest frequency in October, and the cold anomaly has the lowest frequency in August and the highest frequency in September. In the RCP8.5 scenario, the warm anomaly is more frequent in August and July and the cold anomaly is more frequent in May and June.

Keywords

"Temperature Anomaly"; "Ardebil Province"; "Climate Change"; "LARS-WG Model"