



تحلیل و پیش‌بینی امواج گرمایی شهرهای منتخب شمال غرب ایران با استفاده از ریزگردان

SDSM و شاخص بالدی

مجید رضایی بنفشه

استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

رقیه ملکی مرشت

دانشجوی دکتری گروه جغرافیا و اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول)

Roghayeh.maleki1390@gmail.com

چکیده

امواج گرمایی از مهم‌ترین بلایای آب و هوایی است که آثار زیست محیطی مخرب آن، شناخت و پیش‌بینی آن را الزامی می‌نماید. هدف پژوهش حاضر، پیش‌بینی شرایط آبی امواج گرمایی شهرستان‌های اردبیل، تبریز و ارومیه طی سال‌های 2020-2050 با استفاده از ریزگردان SDSM و شاخص بالدی می‌باشد. بدین منظور داده‌های حداکثر دمای روزانه شهرهای منتخب از سال 1961-2005 پس از آماده‌سازی، وارد نرم افزار SDSM شده و با مدل CanESM2 تحت سناریوهای 2,6,8,5 و RCP 4,8 بررسی و با خروجی‌ها، روند حداکثر دمای سه ایستگاه مورد مطالعه طی 30 سال آتی بررسی و امواج گرمایی آن‌ها با استفاده از شاخص بالدی پیش‌بینی گردید. طبق نتایج حاصل از خطاسنجی مدل مورد مطالعه، شبیه‌سازی‌های صورت گرفته از دقت قابل قبولی برخوردار بودند. با توجه به این‌که هر کدام از شهرها، در یکی از سناریوها کم‌ترین خطا را نشان داد، لذا پیش‌بینی امواج گرمایی هر ایستگاه، با استفاده از کم‌خطاترین سناریو صورت گرفت. براساس نتایج، میانگین حداکثر دما از اواخر زمستان تا اواخر بهار نسبت به دوره‌ی پایه کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی خواهد داشت. در مجموع شاهد روند کاهشی در میانگین حداکثر دما در شهر اردبیل و روند افزایشی محسوس در شهرهای تبریز و ارومیه طی سال‌های 2020-2050 خواهیم بود. همچنین بررسی امواج گرمایی پیش‌بینی شده طی سی سال آینده نشان داد که امواج یک روزه در دو شهر اردبیل و ارومیه روند افزایشی جزئی و در شهر تبریز تقریباً بدون روند خواهد بود. امواج گرمایی دو روزه در شهر تبریز و ارومیه روند کاهشی و در اردبیل افزایشی خواهد داشت. روند امواج گرمایی سه روزه در اردبیل و ارومیه کاهشی و در تبریز افزایشی خواهد بود. بیشترین تداوم امواج گرمایی، چهار روزه بود که در ارومیه پیش‌بینی شد. بیشترین رخ داد امواج گرمایی دو و سه روزه در هر سه شهر در فصول سرد سال خواهد بود.

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی، موج گرمایی، شمال غرب ایران، شاخص بالدی، SDSM.



۱- مقدمه

موج‌های گرمایی از مهم‌ترین بلایای آب و هوایی بوده که هر ساله پیامدهای زیست‌محیطی مخربی را در طبیعت به‌جای می‌گذارند. کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی آینده در گرو شناسایی ساز و کار امواج گرما، سامانه‌های هواشناسی ایجاد گرما و پیش‌بینی آنها، کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزار دهنده‌ی آنها بر روی سلامت عمومی و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در ارتباط با امواج گرمایی باشد. کوآتس^۱ و کاپ^۲، ۲۰۰۵؛ به نقل از هوشیار و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۸۶). اندازه‌گیری گرمای هوا در رابطه با هوای معمول و دمای نرمال منطقه برای آن فصل انجام می‌شود. امواج گرمایی می‌تواند در مقیاس محلی روی دهند و سبب از بین رفتن محصولات کشاورزی، مرگ و میر قابل توجه در اثر گرمادگی، و دیگر مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی - اقتصادی شوند. امواج گرمایی به دلیل آتش‌سوزی و مرگ و میر انسان‌ها، خسارات اقتصادی بالایی به جنگل‌ها به بار می‌آورد. موج گرمایی یکی از بدترین فجایع آب و هوایی است که پیش‌بینی مناسب و به موقع آن می‌تواند، یک سیستم هشدار دهنده‌ی بسیار کارآمد و مطلوب باشد (بالدی، ۲۰۰۴؛ به نقل از صلاحی و قدرتی، ۱۳۹۷: ۳۶).

روهینی^۳ و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل^۴ CMIP پرداختند. نتایج پژوهش آنان افزایش امواج گرمایی بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرده است. فرون^۵ و همکاران (۲۰۱۹) به مشاهده و بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند. آن‌ها از مدل^۵ (CMIP۵) تحت دو سناریوی RCP ۴.۵ و ۸.۵ استفاده کردند و دریافتند که در دهه‌های اخیر سهم روزهای بسیار گرم حداقل در دسامبر - ژانویه - فوریه دو برابر شده است. سچرنی^۶ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی امواج گرمایی و سرمای 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 سرمای ایجاد نشده است. بومباکو^۷ و همکاران^۷ (۲۰۱۳) به بررسی تاریخی امواج گرمایی در شمال غربی اقیانوس آرام با استفاده از تحلیل روند و سینوپتیکی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که فراوانی امواج گرمایی در بیشتر نواحی ایالات متحده در حال افزایش است. تواردوز^۷ و کوزوفسکا^۷ (۲۰۱۳) به بررسی تابستان‌های بسیار داغ در مرکز و شرق اروپا از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ پرداختند و دریافتند که فراوانی تابستان گرم رو به افزایش است. نتایج بررسی‌های آنان نشان داد که رخداد امواج گرمایی به مناطق خاصی محدود نبوده و امکان رخداد آن در همه مکان‌ها وجود دارد. نوری و همکاران (۲۰۱۴) به مقایسه‌ی ژنراتورهای آب و هوایی SDSM و LARS-WG در مدل‌سازی تغییرات آب و هوا در استان گلستان پرداختند. هدف از این مقاله، پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی براساس مدل‌های گردش عمومی (GCM)، با

^۱. Kovats

^۲. Koppe

^۳. Rohini

^۴. Feron et al

^۵. Ceccherini et al

^۶. Bumbaco

^۷. Twardosz & Kossowska



استفاده از دو ژنراتور هواشناسی، یعنی SDSM و LARS-WG، در استان گلستان در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ است و مقایسه‌ی نتایج آن برای انواع مختلف آب و هوایی از داده‌های مشاهداتی و مصنوعی مانند طول سری‌های مرطوب و خشک، توزیع بارش و دما است.

ویی و همکاران^۸ (۲۰۱۴) جهت مطالعه‌ی امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گریت‌ر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداختند. طبق نتایج حاصل از پژوهش آنان، فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه داشته و آب‌های آزاد نیز تأثیری زیادی بر حداقل دمای روزانه دارند. بای و همکاران^۹ (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر درجه حرارت تابستانی و امواج گرمایی بر بیماری‌های مرتبط با گرما در یک شهر ساحلی در چین پرداخته‌اند. یافته‌های پژوهش آنان نشان داد است که حداکثر دما نسبت به شاخص گرما، بیماری‌های مرتبط با گرما را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد و بین این دو، همبستگی مثبت وجود دارد. عثمان و همکارانش (۲۰۱۷) به بررسی مدل تغییرات اقلیمی به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی برای مدیریت منابع آب در شمال عراق با مطالعه موردی رودخانه بزرگ زاب پرداختند که نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که جریان کل سالانه در حوضه آبریز در آینده به شدت کاهش می‌یابد. موئیس و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۸) به پیش‌بینی رخداد امواج گرمایی در منطقه داخلی آمریکای شمالی با استفاده از مدل چندجمله‌ای پرداختند. آنان در پژوهش خود با استفاده از دو سناریوی RCP ۴,۵ و RCP ۸,۵ رخداد امواج گرمایی فراوانی را برای اواخر قرن ۲۱ پیش‌بینی نمودند.

مجرد و همکاران (۱۳۹۴) به تحلیل آماری - همیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه‌ی سلسیوس در غرب ایران پرداختند و دو الگوی کلی برای ایجاد امواج گرمایی را در منطقه تشخیص دادند. مولودی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس پرداخته‌اند. ایشان جهت پیش‌بینی امواج گرمایی در آینده، از مدل‌های (CMIP۵^{۱۱})، برای انجام ریزگردانی خروجی از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و برای شناسایی امواج گرمایی از شاخص فومیایکی استفاده کردند. نتایج حاصل، نشان داده است که امواج گرمایی کوتاه مدت، رخ داد بیشتری دارند و نیز فراوانی امواج گرمایی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. قاسمی‌فر و ناصرپور (۱۳۹۵) به تحلیل امواج گرمایی و سرمای سواحل جنوبی دریای خزر پرداختند. یافته‌های آنان نشان دهنده‌ی روند افزایشی دمای حداقل و روند کاهش دمای حداکثر در بسیاری از ایستگاه‌ها بود. عساکره و کیانی (۱۳۹۶) به ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه پرداختند. طبق نتایج بررسی‌های آنان با افزایش طول دوره‌ی پایه، پیش‌بینی مدل بهتر خواهد شد و هرچه طول دوره کمتر باشد برآورد مدل چندان مناسب نخواهد بود. کرم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) به شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران

^۸. Weihe et al

^۹. Bai et al

^{۱۰}. Moises et al

^{۱۱}. Coupled Model Intercomparison Project Phase ۵



پرداختند و نتایج حاصل از پژوهش آنان نشان داده است که ۷۰ موج در دوره ی گرم و ۷۳ موج در دوره ی سرد رخ داده است و بیشترین میزان وقوع امواج گرمایی در ماه فروردین بوده است. سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی عملکرد مدل های ریزگردان LARS-WG و SDSM در شبیه سازی بارش و دما در ایستگاه های روانسر و کرمانشاه پرداختند طبق نتایج حاصل، در هر دو مدل، حداقل و حداکثر دما در دو دهه ی آینده تحت سناریوی A۲ در هر یک از ایستگاه ها افزایش خواهد یافت. همچنین، طبق نتایج پژوهش آنان، در هر یک از دوره های کالیبراسیون و اعتبار سنجی، مدل SDSM از یک عملکرد مناسب ترنسبیت به LARS-WG در شبیه سازی حداقل روزانه و حداکثر درجه حرارت در دو ایستگاه بهره مند می شود. رحیمی و همکاران (۱۳۹۶) به تحلیل ساختار امواج گرمایی غرب و جنوب غرب ایران پرداختند. طبق نتایج حاصل، استقرار پرفشار آזור و ایجاد سیستم مانع، سبب تداوم امواج گرمایی به مدت پنج روز شده است.

عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶) به شبیه سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۰۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM۲ پرداختند. طبق نتایج حاصل، بارش به طور کلی در فصل زمستان افزایش و بقیه فصول با کاهش مواجه خواهد بود. تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه ها به غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره های آینده افزایش داشته است. حداقل دما در سه سناریوی RCP۴.۵، RCP۲.۶ و RCP۸.۵ و برای سه دوره ی مورد مطالعه، افزایش می یابد. همچنین حداقل دما به طور کلی در تمام فصول افزایش می یابد که در فصل تابستان تا ۸ درجه نیز افزایش دما مشاهده گردیده است. خوشید دوست و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی همبندی امواج گرمایی در شمال غرب ایران پرداخته اند. براساس نتایج به دست آمده از پژوهش آنان، با قرار گرفتن پشته حاصل از مراکز واچرخندی بر روی نیمه غربی ایران در روز اوج موج گرما و با همگرا شدن هوا، فرونشینی و نشست هوا و در نهایت گرم شدن آن به صورت آدیباتیک رخ داده است. صلاحی و قدرتی (۱۳۹۷) به پیش بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریزگردان LARS-WG و شاخص بالدی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در شهر زنجان بر اساس دو مدل BCM۲ و HadCM۳ موج کوتاه گرمایی در هر دو بازه روند افزایشی داشته است. بیشترین فراوانی موج کوتاه گرمایی در بازه زمانی اول در ماه های خرداد و تیر قرار دارد و در بازه زمانی دوم، فراوانی امواج کوتاه گرمایی در ماه های فروردین و اردیبهشت بیشتر شده و در نتیجه با توجه به پیش بینی انجام گرفته در هر دو مدل، بر تعداد روزهای گرم افزوده می شود. حاتمی زرنه و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از روش های همبستگی پیرسون و اسپیرمن، رگرسیون خطی و پلی نومیال و نیز آزمون ناپارامتری من-کندال به تحلیل نوسانات زمانی امواج گرمایی منطقه ی شمال غرب ایران و ارتباط آن ها با گازهای گلخانه ای و ناهنجاری های دمایی کره ی زمین پرداختند. نتایج بیانگر روند افزایشی و معنی دار شدت و فراوانی وقوع امواج گرمایی شمال غرب ایران بود. هدف از پژوهش حاضر تحلیل و پیش بینی امواج گرمایی شهرهای منتخب شمال غرب ایران به منظور ویژگی و تداوم آن ها و همچنین زمان رخ داد آن ها می باشد که نتایج آن می تواند در مطالعات و برنامه ریزی مدیریت



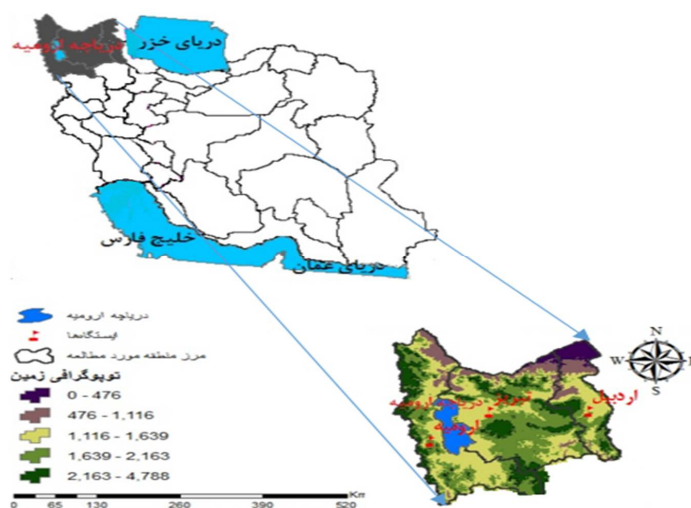
مجله علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، دوره 18 شماره 40، پاییز 1401، صص 76-89

بحران در بخش‌های مختلف از جمله منابع آب، کشاورزی و محیط زیست مفید واقع شود. جدول ۱، مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و شکل ۱- نقشه‌ی محدوده‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱ رومیه	۴۵/۰۵	۳۷/۶۵	۱۳۲۸
۲ بریز	۴۶/۲	۳۸/۱	۱۳۶۱
۱ ردبیل	۴۸/۳	۳۸/۲	۱۳۳۵/۲

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱- نقشه‌ی محدوده‌ی مورد

مطالعه

۲- مواد و روش‌ها

با شروع دهه‌ی ۲۰۱۰، CMIP سناریوهای جدید RCPs را پیشنهاد داد. سناریوهای پیشنهادی در چهار حالت ۲,۶، ۴,۵، ۶,۰، ۸,۵ هستند. RCP های مذکور، تا حدودی با سناریوهای A۱B، B۱ و A۲ مطابقت دارند (مویز و احمد^{۱۲} ۲۰۱۶). مدل (SDSM) یکی از پرکاربردترین ابزارهای

^{۱۲} . Muhire, and Ahmed



آماری ریزمقیاس گردانی است که در هواشناسی، هیدرولوژی، جغرافیا و زیست‌شناسی کاربرد زیادی دارد (ویلی و هاریس، ۱۳، ۲۰۰۶؛ به نقل از هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷) در مدل مذکور، از الگوی گردش روزانه-ی 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 (صمدی و مسباح بوانی، ۱۳۸۷؛ به نقل از هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به این که در مقالات مختلف که به بررسی توانمندی نرم افزار SDSM پرداخته و به این نتیجه دست یافته‌اند که SDSM توانایی مناسبتری در مقایسه با نرم افزار LARS-WG در کوچک مقیاس نمودن پارامترهای دما، تبخیر و بارش دارد، لذا در پژوهش حاضر نیز از نرم افزار مذکور جهت ریزمقیاس‌نمایی حداکثر دمای سه شهر مورد نظر انتخاب شد.

به منظور پیش‌بینی امواج گرمایی شهرهای منتخب شمال غرب ایران شامل: اردبیل، تبریز و ارومیه، طی سال‌های ۲۰۵۰ - ۲۰۲۰ از داده‌های حداکثر دمای ایستگاه سینوپتیک شهرهای مذکور از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵، استفاده گردید. پس از آماده‌سازی و کنترل کیفی داده‌ها، متغیرها به صورت روزانه وارد نرم افزار SDSM شدند و توانایی نرم افزار مذکور که خروجی مدل‌های GCM را ریزمقیاس می‌کند، در شبیه‌سازی داده‌های مشاهداتی در سه ایستگاه ارومیه، تبریز و اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفت این فرایند به سه مرحله تقسیم می‌شود که شامل تجزیه و تحلیل مکانی، اعتبار سنجی مدل و تولید داده‌های مصنوعی آب و هوا است. در این پژوهش، از مدل CanESM۲ تحت سه سناریوی RCP۲,۶، RCP۴,۵ و RCP۸,۵ استفاده گردید و پس از بازتولید و آنالیز داده‌های تولید شده توسط مدل ذکر شده، جهت ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در دوره مشاهداتی، از رسم نمودار پراکنش استفاده شد.

در گام بعدی به مدل‌سازی رفتار آینده‌ی حداکثر دما و موج گرمایی در دو بازه پرداخته شد. برای محاسبه شاخص موج گرمایی، ابتدا میانگین و انحراف معیار داده‌ها به کمک روابط ۱ و ۲ محاسبه گردید.

$$(۱)$$

$$m = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$(۲)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum (x_i - m)^2}}{n}$$

[WU Comment]: با توجه به سه سناریویی که در بکس NCEP دانلود شده بود پیش‌بینی صورت گرفت



در رابطه‌ی (۱) میانگین داده های x دمای حداکثر ایستگاه و n تعداد روز است. در رابطه‌ی (۲) σ انحراف معیار دمای حداکثر روزانه‌ی ایستگاه های مورد مطالعه است که برای کل روزهای آماری محاسبه شد. در نهایت برای تعیین آستانه‌ای به عنوان تعیین روزهایی که موج گرمایی رخ داده است، از شاخص موج گرمایی بالدی استفاده شد.

(۳)

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

در این رابطه m میانگین و σ انحراف معیار است. روزهایی که آمار دمای حداکثر آنها از شاخص مورد نظر بیشتر بود، به عنوان روز دارای موج گرم انتخاب شدند (بالدی، ۱۴، ۲۰۰۴؛ به نقل از صلاحی و قدرتی، ۱۳۹۷). برای شناسایی روزهای گرم در محیط نرم افزار Excel روزهایی که با توجه به شاخص بالدی، دمای بالاتری از دمای میانگین کل دوره‌ی آماری را در سه ایستگاه مورد مطالعه نشان دادند، به عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی شدند. جهت ارزیابی توانایی دو مدل در پیش‌بینی میانگین حداکثر دمای ۳۰ سال آتی، خروجی های هر دو مدل به کمک شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAD°)، میانگین مربع خطا (MSE°)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا ($RMSE^{\circ}$) بررسی و با هم مقایسه گردید تا دقت دو مدل به کار گرفته شده ارزیابی شود.

(۱)

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

(۲)

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

(۳)

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

در رابطه‌ی فوق، A_t مقدار مشاهده شده و F_t مقدار برآورد شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد (ویلکس، ۱۸، ۲۰۰۶).

۳- بحث

جهت بررسی تغییرات دمای حداکثر طی ۳۰ سال آتی در منطقه‌ی مورد مطالعه، روشی اتخاذ گردید تا بتوان به وسیله آن، تغییرات پارامتر مذکور و رخداد امواج گرمایی را برای آینده، تحت تأثیر تغییر اقلیم با حداقل خطای ممکن پیش‌بینی نمود. بدین منظور، پس از ارزیابی توانمندی نرم افزار آماری SDSM، مقادیر آینده‌ی

^{۱۴}. Baldi

^{۱۵}. Mean Absolut Deviation (MAD)

^{۱۶}. Mean squared Error(MSE)

^{۱۷}. Root Mean Square Error (RMSE)

^{۱۸}. Wilks



مجله علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، دوره 18 شماره 40، پاییز 1401، صص 76-89

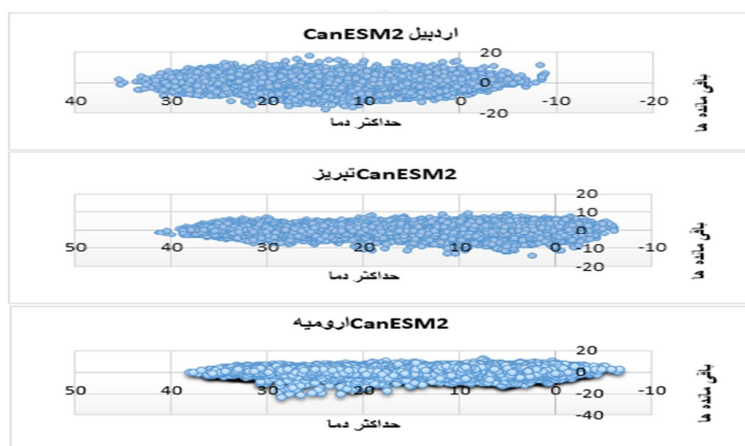
حداکثر دما، براساس خروجی‌های در دسترس از مدل بزرگ مقیاس CanESM2 در سه شهر ریزمقیاس نمایی شد. مهم‌ترین مرحله در استفاده از این مدل، انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها می‌باشد. در جدول ۱ پیش‌بینی کننده‌های مدل CanESM2 که بیشترین همبستگی را با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه مورد مطالعه داشتند انتخاب و میزان همبستگی جزئی بین آنها و دمای حداکثر دوره‌ی پایه در ایستگاه منتخب آب و هوایی نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر همبستگی جزئی بین پیش‌بینی کننده‌های منتخب مدل CanESM2 با دمای حداکثر مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه، طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱

متغیر	مدل	ایستگاه	ارومیه	تبریز	اردبیل
P500	CanESM2	ارتفاع ژئوتاسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۲۱
Temp	CanESM2	متوسط دما	۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۴۲

مأخذ: نگارندگان

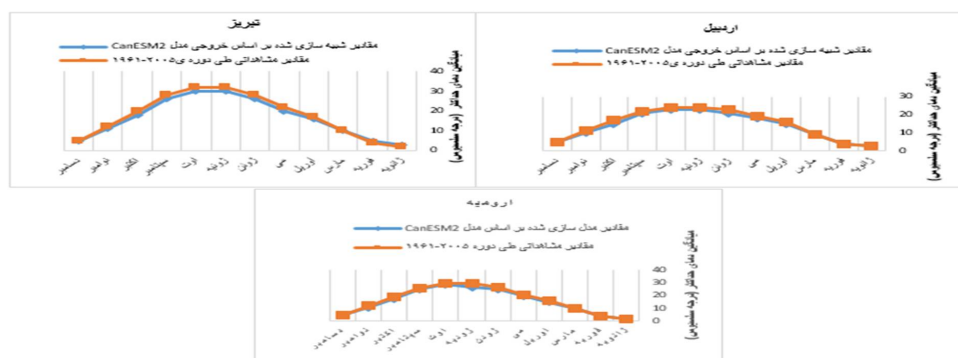
شکل ۲، پراکنش مانده‌های مدل CanESM2 در برابر حداکثر دمای دوره‌ی پایه را برای سه شهر مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس این نمودارها، مانده‌ها فاقد روند خاصی بوده و در اطراف محور X متمرکز شده‌اند؛ بنابراین خطا وجود نداشته است و نرم افزار SDSM با مدل انتخابی، کارایی خوبی در ریزمقیاس نمایی و پیش‌بینی داده‌های دمای بیشینه در سطح منطقه مورد مطالعه خواهد داشت.





شکل ۲- پراکنش مانده های مدل CanECM۲ در برابر حداکثر دما (مأخذ: نگارندگان)

طبق شکل ۳ در هر سه ایستگاه، و بر اساس مدل CanECM۲، منحنی های مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده در ماه های مربوط به فصل های پاییز و زمستان، انطباق بیشتری بر هم دارند و این امر نشان می دهد که این مدل، قادر هستند در فصول سرد سال، میانگین حداکثر دما را دقیق تر و با اختلاف اندکی نسبت به مقادیر واقعی پیش بینی نمایند.



شکل ۳- نمودار داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده ی دمای حداکثر با مدل CanECM۲ (ترسیم: نگارندگان)

شکل ۴ و جدول ۲ مقایسه مقادیر دوره ی پایه ی ۴۴ ساله (۱۹۶۱-۲۰۰۵) با مقادیر شبیه سازی شده بر اساس سناریوهای (RCP۲.۶)، (RCP۴.۵) و (RCP۸.۵) مدل CanESM۲، نشان می دهد که در هر سه شهر میانگین حداکثر دما از اواخر زمستان تا اواخر بهار نسبت به دوره ی پایه کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی خواهد داشت.

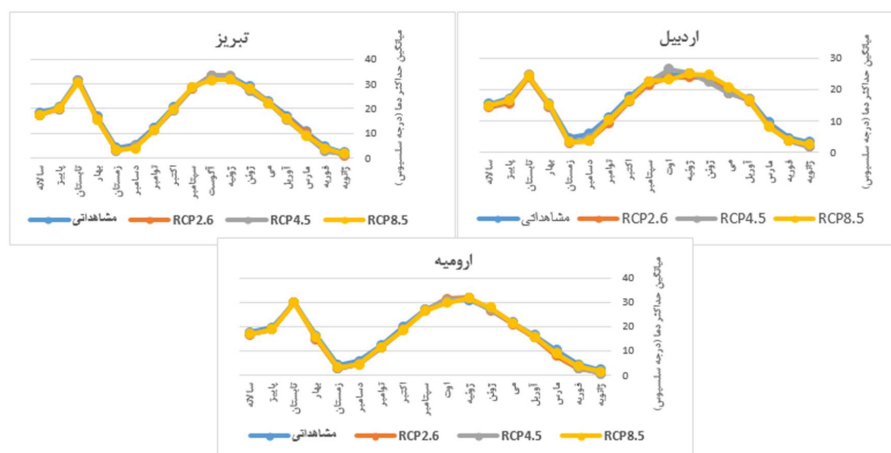
جدول ۲- مقایسه ی مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده ی میانگین دمای حداکثر بر اساس سناریوهای مدل CanESM۲

ماه و فصل	اردبیل				تبریز				ارومیه			
	مشاهداتی	RCP ۲.۶	RCP ۴.۵	RCP ۸.۵	مشاهداتی	RCP ۲.۶	RCP ۴.۵	RCP ۸.۵	مشاهداتی	RCP ۲.۶	RCP ۴.۵	RCP ۸.۵
ژانویه	۲۴/۳	۲	۷۲/۱	۴۹/۲	۶۱/۲	۰۶/۱	۵۷/۱	۶۵/۱۸	۳۶/۲	۹۷/۰	۶۵/۰	۵۸/۱
فوریه	۲۴/۴	۳/۶۱	۷۱/۳	۷۸/۳	۶۱/۴	۶۸/۳	۷۴/۳	۸۸/۳	۴۳/۴	۶۴/۲	۹۷/۲	۷۳/۳
مارس	۵۷/۹	۸/۵۴	۴۰/۸	۱۵/۸	۵۹/۱۰	۱۵/۱۰	۳۱/۹	۱۰/۹	۴۲/۱۰	۰/۸	۴۷/۹	۹۸/۸
آوریل	۱۷/۱۶	۳۴/۱۶	۸۲/۱۶	۷۸/۱۶	۰۲/۱۷	۱۶/۱۷	۳۴/۱۵	۸۳/۱۵	۴۹/۱۶	۶۲/۱۶	۰۷/۱۶	۸۶/۱۵
می	۹۱/۱۹	۸۹/۱۸	۷۰/۱۸	۸۳/۲۰	۷۵/۲۲	۱۷/۲۲	۴۳/۲۲	۰۴/۲۲	۷۳/۲۱	۹۶/۲۰	۴۶/۲۱	۴۴/۲۱
ژوئن	۲۴/۲۳	۷۵/۲۳	۳۷/۲۲	۷۰/۲۴	۸۷/۲۸	۲۵/۲۸	۱۶/۲۷	۲۱/۲۸	۱۲/۲۷	۷۸/۲۶	۹۳/۲۶	۸۱/۲۷
جولای	۹۶/۲۴	۸۹/۲۳	۱۱/۲۵	۹۴/۲۴	۹۱/۳۲	۶۷/۳۱	۳۴/۳۳	۷۷/۳۱	۹۵/۳۰	۹۹/۳۱	۷۷/۳۱	۷۳/۳۱
آگوست	۷۰/۲۴	۸۰/۲۳	۵۵/۲۵	۲۱/۲۴	۶۸/۳۲	۰۷/۳۱	۳۴/۳۳	۴۴/۳۱	۷۲/۳۰	۴۰/۳۱	۹۰/۳۱	۸۴/۳۱



ت	۲۴	۲۳	۲۶	۲۳	۳۲	۳۷	۳۳	۳۱	۳۰	۳۱	۳۰	۲۹
سپتا میر	/۶۶ ۲۲	/۵۶ ۲۱	/۳۵ ۲۲	/۶۲ ۲۲	/۳۲ ۲۸	/۳۳ ۲۸	/۶۱ ۲۸	/۶۴ ۲۸	/۸۴ ۲۶	/۵۲ ۲۶	/۸۵ ۲۶	/۴۷ ۲۶
اکتد ر	/۵۸ ۱۷	/۱۲ ۱۶	/۶۳ ۱۶	/۴۸ ۱۶	/۵۹ ۲۰	/۶۴ ۱۹	/۳۸ ۱۹	/۷۸ ۱۹	/۸۲ ۱۹	/۸۴ ۱۸	/۸۳ ۱۸	/۴۷ ۱۸
نوام بر	/۶ ۱۱	۹/۳۷ ۱۱	/۴۹ ۱۰	/۳۶ ۱۰	/۳۲ ۱۲	/۲۸ ۱۱	/۳۶ ۱۱	/۴۲ ۱۱	/۳۰ ۱۲	/۱۷ ۱۱	/۲۴ ۱۱	/۵۰ ۱۱
دسام بر	/۸۰ ۵	۳/۵۸ ۵	/۴۹ ۴	/۶۶ ۳	۵/۲۷ ۳	/۵۶ ۴	۴/۴۹ ۳	۳/۹۴ ۳	۵/۸۱ ۴	/۵۵ ۴	/۵۵ ۴	/۳۷ ۴
زمنست ان	/۵۶ ۴	۳/۰۵ ۴	/۲۸ ۳	/۳۰ ۳	۳/۹۷ ۳	/۰۸ ۳	۲/۹۴ ۳	۳/۱۳ ۳	۴/۲۲ ۳	/۷۲ ۲	/۷۲ ۲	/۲۱ ۳
بهار	/۵۰ ۱۵	/۵۷ ۱۴	/۶۲ ۱۴	/۲۴ ۱۶	/۸۰ ۱۶	/۱۱ ۱۶	/۷۰ ۱۵	/۶۶ ۱۶	/۲۷ ۱۶	/۸۷ ۱۴	/۶۶ ۱۵	/۴۲ ۱۵
تایس تان	/۳۲ ۲۴	/۸۱ ۲۳	/۷۰ ۲۴	/۲۸ ۲۴	/۵۲ ۳۱	/۰۲ ۳۱	/۳۲ ۳۱	/۵۰ ۳۰	/۶۴ ۲۹	/۰۹ ۳۰	/۹۰ ۲۹	/۸۲ ۲۹
پایید ز	/۱۷ ۱۷	/۶۹ ۱۵	/۷۰ ۱۶	/۴۷ ۱۶	/۵۱ ۲۰	/۷۵ ۱۹	/۷۶ ۱۹	/۹۴ ۱۹	/۶۶ ۱۹	/۸۴ ۱۸	/۹۷ ۱۸	/۸۱ ۱۸
سالان ه	/۵۱ ۱۵	/۳۲ ۱۴	/۸۲ ۱۴	/۸۷ ۱۴	/۴۰ ۱۸	/۵۵ ۱۷	/۴۹ ۱۷	/۳۷ ۱۷	/۶۳ ۱۷	/۶۹ ۱۶	/۸۷ ۱۶	/۸۷ ۱۶

مأخذ: نگارندگان



شکل ۴- نمودار مقایسه‌ای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده‌ی بر اساس سناریوهای مدل CanESM۲ (مأخذ: نگارندگان)

پس از ارزیابی و شبیه‌سازی داده‌های حداکثر دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه، با استفاده از نرم افزار SDSM برای دوره‌ی پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) و براساس داده‌های NCEP، مقادیر پارامتر مذکور برای ۳۰ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) با استفاده از خروجی مدل‌های CanESM۲ تحت سه سناریوی Rcp ۲.۶، Rcp ۴.۵ و Rcp ۸.۵ پیش‌بینی شد. در نهایت جهت ارزیابی دقت مدل و انتخاب مناسب‌ترین سناریو، خطاهای بین سری مشاهداتی و تولید شده در مدل ریزمقیاس سازی، با کمک شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (MAD)، میانگین مربع خطا (MSE)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید (جدول ۲). طبق جدول مذکور، کم‌ترین خطا در شهر ارومیه مربوط به سناریوی Rcp ۸.۵، در شهر تبریز Rcp ۲.۶ و در اردبیل Rcp ۴.۵ بود که به عنوان دقیق‌ترین



مجله علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، دوره 18 شماره 40، پاییز 1401، صص 76-89

سناریو انتخاب شد. نتایج در جدول ۴ و شکل ۵ حاکی از روند افزایشی میانگین حداکثر دما در ارومیه و تبریز و روند کاهشی در اردبیل طی ۳۰ سال آتی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) می‌باشد.

جدول ۳- صحت سنجی حداکثر دمای شبیه‌سازی شده با سناریوهای مدل CanEsm۲ در ایستگاه‌های منتخب

شهر	سناریو	مدل	MAD	MSE	RMSE
تبریز	Rcp ۲, ۶	CanEsm۲	۰/۷۴	۰/۶۷	۰/۸۲
	Rcp ۴, ۵		۰/۹۸	۱/۲۵	۱/۱۱
	Rcp ۸, ۵		۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۰
اردبیل	Rcp ۲, ۶	CanEsm۲	۱/۱۶	۱/۵۵	۱/۲۴
	Rcp ۴, ۵		۰/۹۲	۱/۱۰	۱/۰۵
	Rcp ۸, ۵		۰/۹۲	۱/۲	۱/۱
ارومیه	Rcp ۲, ۶	CanEsm۲	۱/۰۷	۱/۴۷	۱/۲۱
	Rcp ۴, ۵		۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۹۴
	Rcp ۸, ۵		۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۹۲

(مأخذ: نگارندگان)

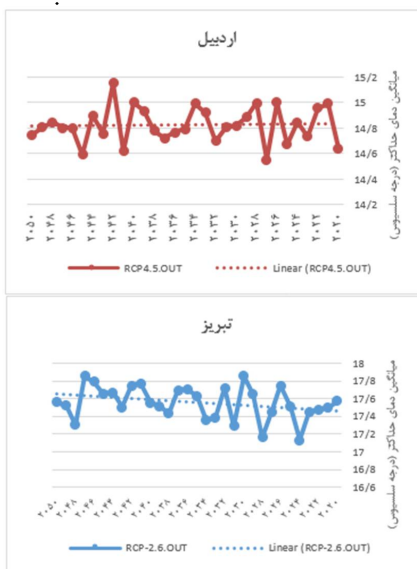
جدول ۴-

میانگین حداکثر دمای ایستگاه‌های منتخب،

طی ۳۰ سال آینده

با سناریوی انتخابی

دما	ارومیه Rcp ۸, ۵	تبریز Rcp ۲, ۶	اردبیل Rcp ۴, ۵	۲۰۲۰-۲۰۵۰
۲۰۲۰	۱۶/۵۵	۱۷/۵۷	۱۴/۶۴	۲۰۲۰
۲۰۲۱	۱۷/۰۴	۱۷/۵۰	۱۴/۹۹	۲۰۲۱
۲۰۲۲	۱۷/۰۸	۱۷/۴۸	۱۴/۹۶	۲۰۲۲
۲۰۲۳	۱۶/۶۷	۱۷/۴۵	۱۴/۷۳	۲۰۲۳
۲۰۲۴	۱۶/۷۰	۱۷/۱۳	۱۴/۸۵	۲۰۲۴
۲۰۲۵	۱۶/۸۴	۱۷/۵۱	۱۴/۶۷	۲۰۲۵
۲۰۲۶	۱۶/۷۲	۱۷/۷۵	۱۵	۲۰۲۶
۲۰۲۷	۱۶/۸۶	۱۷/۴۵	۱۴/۵۵	۲۰۲۷
۲۰۲۸	۱۶/۸۲	۱۷/۱۷	۱۵	۲۰۲۸
۲۰۲۹	۱۷/۰۷	۱۷/۶۵	۱۴/۸۸	۲۰۲۹
۲۰۳۰	۱۶/۷۵	۱۷/۸۶	۱۴/۸۲	۲۰۳۰
۲۰۳۱	۱۶/۵۲	۱۷/۲۹	۱۴/۸۱	۲۰۳۱
۲۰۳۲	۱۶/۹۸	۱۷/۷۲	۱۴/۷۰	۲۰۳۲
۲۰۳۳	۱۶/۷۸	۱۷/۳۹	۱۴/۹۲	۲۰۳۳
۲۰۳۴	۱۶/۷۳	۱۷/۳۶	۱۴/۹۹	۲۰۳۴
۲۰۳۵	۱۶/۷۴	۱۷/۶۲	۱۴/۷۹	۲۰۳۵
۲۰۳۶	۱۷/۰۴	۱۷/۷۱	۱۴/۷۷	۲۰۳۶
۲۰۳۷	۱۷/۰۱	۱۷/۷۰	۱۴/۷۲	۲۰۳۷
۲۰۳۸	۱۶/۸۳	۱۷/۴۴	۱۴/۷۸	۲۰۳۸
۲۰۳۹	۱۷	۱۷/۵۲	۱۴/۹۳	۲۰۳۹
۲۰۴۰	۱۶/۹۶	۱۷/۵۵	۱۵	۲۰۴۰
۲۰۴۱	۱۶/۹۱	۱۷/۷۸	۱۴/۶۲	۲۰۴۱
۲۰۴۲	۱۷/۱۲	۱۷/۷۵	۱۵/۱۵	۲۰۴۲
۲۰۴۳	۱۶/۵۹	۱۷/۵۰	۱۴/۷۶	۲۰۴۳
۲۰۴۴	۱۶/۷۸	۱۷/۶۷	۱۴/۹۰	۲۰۴۴
۲۰۴۵	۱۶/۹۳	۱۷/۶۵	۱۴/۵۹	۲۰۴۵
۲۰۴۶	۱۷/۱۱	۱۷/۷۹	۱۴/۸۰	۲۰۴۶
۲۰۴۷	۱۶/۹۲	۱۷/۸۵	۱۴/۸۰	۲۰۴۷
۲۰۴۸	۱۶/۷۸	۱۷/۳۱	۱۴/۸۴	۲۰۴۸
۲۰۴۹	۱۷/۰۸	۱۷/۵۳	۱۴/۸۱	۲۰۴۹
۲۰۵۰	۱۷/۲۰	۱۷/۵۶	۱۴/۷۵	۲۰۵۰



شکل- روند خطی میانگین حداکثر ایستگاه‌های منتخب، طی ۳۰ سال آینده با سناریوی انتخابی



(مأخذ: نگارندگان)

۳-۱- پیش‌بینی امواج گرمایی بر اساس سناریوی انتخابی

بر اساس تعریف بالدی (۲۰۰۴) روزهایی که تداوم امواج گرمایی در آنها بین ۶ تا ۶ روز باشد موج گرمایی کوتاه مدت و روزهای بالاتر از ۶ روز موج گرمایی بلند مدت نام گرفته است. در پژوهش حاضر، روزهایی که با توجه به شاخص بالدی، دمای بالاتری از دمای میانگین کل دوره آماری را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان دادند، به عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی شدند. نتایج حاصل از پیش‌بینی موج گرمایی بر اساس مدل و سناریوی انتخابی برای هر سه شهر در جدول ۵ ارائه شده است. طبق جدول مذکور رخ داد امواج گرمایی طی سی سال آینده در هر سه شهر کوتاه مدت خواهد بود. بیشترین فراوانی مربوط به موج گرم ۱ روزه است. لذا برای هیچ کدام از شهرها طی سال‌های آتی موج گرمایی بلند مدت پیش‌بینی نشده است. در دو شهر اردبیل و ارومیه حداکثر تداوم موج گرمایی ۴ روزه و در تبریز ۳ روزه خواهد بود.

جدول ۵- تداوم موج گرمایی پیش‌بینی شده طبق سناریوی انتخابی در ایستگاه‌های منتخب (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

سال آما ری	تداوم امواج گرمایی در هرکدام از ایستگاه‌ها بر اساس مدل و سناریوی انتخابی											
	یک روزه			دو روزه			سه روزه			چهار روزه		
	ارد بیل	تبر یز	ارو میه	ارد بیل	تبر یز	ارو میه	ارد بیل	تبر یز	ارو میه	ارد بیل	تبر یز	ارو میه
۲۰۲۰	۲۱	۱۰	۱۷	-	-	-	-	-	-	-	-	-
۲۰۲۱	۱۶	۱۵	۱۸	۲	-	۳	۱	-	-	-	-	۲
۲۰۲۲	۲۰	۱۳	۱۸	۱	-	۲	-	-	-	-	-	-
۲۰۲۳	۱۶	۱۷	۱۷	۲	۳	۳	-	-	-	-	-	-
۲۰۲۴	۲۶	۱۰	۱۹	-	-	۲	-	-	-	-	-	-
۲۰۲۵	۱۲	۹	۱۸	۳	۱	۱	-	-	-	-	-	۱
۲۰۲۶	۱۵	۱۱	۱۴	۱	-	۳	-	-	-	-	-	-
۲۰۲۷	۱۵	۱۹	۱۴	۴	۳	۱	-	-	-	-	-	۱
۲۰۲۸	۲۱	۱۳	۹	-	-	۵	-	-	-	-	-	-
۲۰۲۹	۱۷	۹	۱۹	۲	-	۴	-	-	-	-	-	-
۲۰۳۰	۲۱	۱۲	۱۰	۲	۱	۶	-	-	-	-	-	-
۲۰۳۱	۲۵	۱۶	۷	-	-	۳	۴	-	-	-	-	۱
۲۰۳۲	۲۵	۱۴	۲۰	-	-	۲	-	-	-	-	-	-
۲۰۳۳	۱۸	۹	۲۱	۲	۱	۳	-	-	-	-	-	-
۲۰۳۴	۱۸	۱۲	۱۲	۱	۱	۵	۱	۱	-	-	-	-
۲۰۳۵	۲۱	۱۷	۱۹	۲	۳	۲	-	-	-	-	-	-
۲۰۳۶	۱۴	۱۱	۱۷	۱	۱	۲	۱	۱	-	-	-	-
۲۰۳۷	۲۲	۱۰	۱۵	۲	-	۲	-	-	-	-	-	-
۲۰۳۸	۱۷	۱۰	۱۷	۲	-	۳	-	-	-	-	-	-
۲۰۳۹	۲۱	۱۳	۱۴	۱	۳	۵	-	-	-	-	-	-
۲۰۴۰	۲۲	۱۳	۱۴	۲	۱	۳	-	-	-	-	-	-
۲۰۴۱	۱۸	۱۱	۱۴	۳	-	۱	-	-	-	-	-	۱
۲۰۴۲	۱۹	۱۰	۹	-	-	۳	۱	-	-	-	-	-
۲۰۴۳	۱۸	۱۹	۱۹	۳	۱	۱	۱	۱	-	-	-	۱
۲۰۴۴	۲۰	۹	۱۷	۱	-	۱	-	-	-	-	-	-
۲۰۴۵	۱۶	۱۳	۱۸	۱	-	۳	-	-	-	-	-	-
۲۰۴۶	۲۲	۱۲	۱۵	-	-	۲	-	-	-	-	-	-
۲۰۴۷	۲۰	۱۶	۱۸	۳	۱	۲	۱	۳	-	-	-	۱
۲۰۴۸	۲۲	۱۳	۱۹	۲	-	۴	-	-	-	-	-	-
۲۰۴۹	۱۴	۱۲	۱۷	۴	-	۲	-	-	-	-	-	-



-	-	-	-	-	-	۱	-	۲	۱۸	۱۰	۲۰	۲۰۵۰
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	------

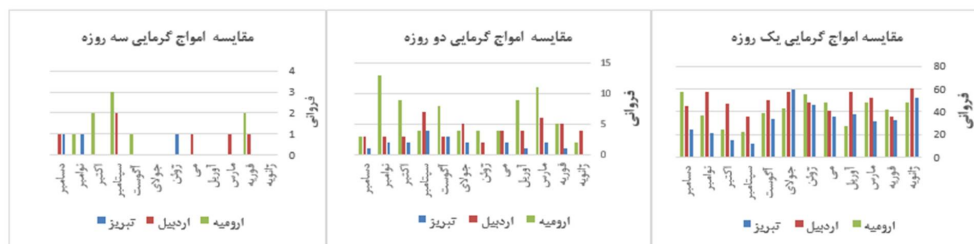
(مأخذ: نگارندگان)

جدول ۶ و شکل ۶ به ترتیب، فراوانی امواج گرمایی و نمودار مقایسه‌ای امواج گرمایی یک و دو روزه آینده سه ایستگاه را طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه نشان می‌دهند. براساس جدول و شکل مذکور، در مجموع بیشترین فراوانی امواج گرمایی یک روزه مربوط به شهر اردبیل و کمترین آن متعلق به شهر تبریز است. بیشترین رخداد امواج دو و سه روزه در شهر ارومیه و کمترین آن مربوط به تبریز است. در شهر تبریز بیشترین فراوانی امواج گرمایی یک روزه در ماه جولای، در ارومیه ماه ژانویه و در اردبیل ماه دسامبر پیش‌بینی شد. امواج گرمایی دو روزه نیز در شهر ارومیه در ماه دسامبر و در دو شهر اردبیل و تبریز ماه سپتامبر پیش‌بینی شد. در کل چنین به نظر می‌رسد که طی ۳۰ سال آینده امواج گرمایی دو و سه روزه در فصول سرد سال رخ داد بیشتری خواهند داشت.

جدول ۶- فراوانی امواج گرمایی پیش‌بینی شده براساس ماه، با سناریوی انتخابی در ایستگاه‌های منتخب (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

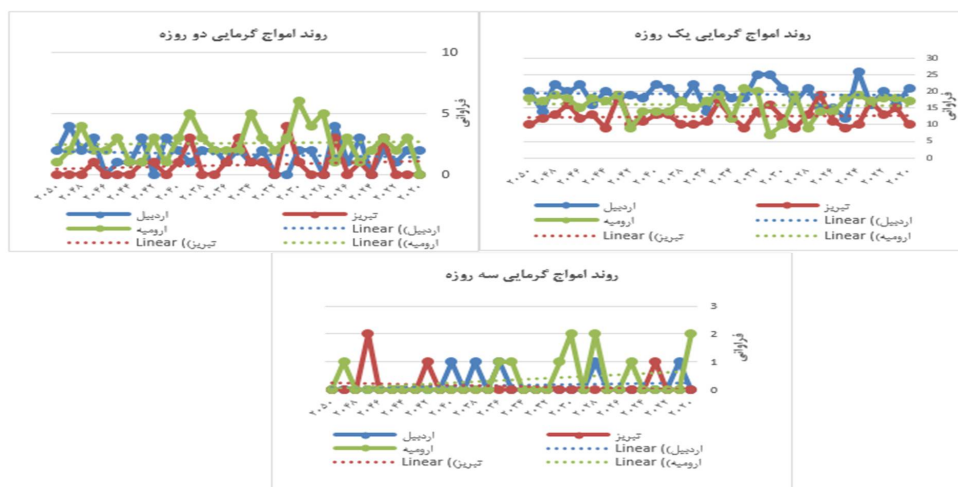
ایستگاه	روزه	ماه												
		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	مجموع
اردبیل	یک روزه	۶۱	۳۶	۵۲	۵۸	۴۱	۴۸	۵۸	۵۰	۳۶	۴۷	۵۷	۴۵	۵۸۹
	دو روزه	۴	۵	۶	۴	۴	۲	۵	۳	۷	۳	۳	۳	۴۹
	سه روزه	-	۱	۱	-	۱	-	-	-	۲	-	-	۱	۶
ارومیه	یک روزه	۴۸	۴۲	۴۸	۲۸	۴۸	۵۵	۴۳	۳۹	۲۳	۲۵	۳۷	۵۷	۴۹۳
	دو روزه	۲	۵	۱۱	۹	۴	۴	۴	۸	۴	۹	۱۳	۳	۷۶
	سه روزه	-	۲	-	-	-	-	-	۱	۳	۲	۱	-	۹
	چهارروزه	-	-	-	-	۱	-	-	-	-	۱	۱	-	۷
تبریز	یک روزه	۵۲	۳۳	۳۲	۳۸	۳۶	۴۶	۶۰	۳۴	۱۲	۱۵	۲۱	۲۵	۴۰۴
	دو روزه	-	۱	۲	۱	۲	-	۲	۳	۴	۲	۲	۱	۲۰
	سه روزه	-	-	-	-	-	۱	-	-	-	-	۱	۱	۳

(مأخذ: نگارندگان)



شکل ۶- نمودار مقایسه‌ای امواج گرمایی یک، دو و سه روزه‌ی پیش‌بینی شده با سناریوی انتخابی برای هر شهر (۲۰۲۰-۲۰۵۰) (مأخذ: نگارندگان)

شکل ۷، روند امواج گرمایی یک روزه، دو و سه روزه را ارائه می‌دهد. طبق نمودارهای مذکور، طی سال‌های آتی امواج یک روزه در شهر اردبیل و ارومیه روند افزایشی نامحسوس و جزئی و در شهر تبریز تقریباً بدون روند خواهد بود. امواج گرمایی دو روزه در دو شهر تبریز و ارومیه روند کاهشی و در اردبیل روند افزایشی خواهد داشت. روند امواج گرمایی سه روزه در هر شهر اردبیل و ارومیه کاهشی و در تبریز افزایشی خواهد بود.



(مأخذ: نگارندگان)

شکل ۷- نمودار روند خطی امواج گرمایی یک، دو و سه روزه‌ی ایستگاه‌های منتخب، طی دوره آماری مورد مطالعه براساس سناریوی انتخابی

۲-۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج، شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در ایستگاه‌های مورد مطالعه از دقت قابل قبولی برخوردار است. در هر سه ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده مطابقت وجود داشت ولی در ماه‌های گرم، اختلاف اندکی بین داده‌های مدل‌سازی شده و داده‌های پایه مشاهده شد. طبق نتایج حاصل از خط‌اسنجی مدل CanESM۲ تحت سناریوهای ۲،۶، ۸،۵، ۸،۸ و RCP۴،۸ با کمک شاخص-



های میانگین قدر مطلق خطاها (MAD)، میانگین مربع خطا (MSE)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، مدل مورد بررسی تحت سناریوهای انتخابی، خطاهای کم و قابل چشم پوشی داشتند ولی با توجه به این-که کمترین خطا در مدل مورد مطالعه مربوط به سناریوی RCP ۸,۵ در شهر ارومیه، RCP ۲,۶ در شهر تبریز و RCP ۴,۸ در اردبیل بود، لذا سناریوهای مذکور، جهت پیش‌بینی امواج گرمایی در هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه، انتخاب گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد که میانگین حداکثر دما از اواخر زمستان تا اواخر بهار نسبت به دوره‌ی پایه کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی خواهد داشت. در مجموع شاهد روند کاهش میانگین حداکثر دما در شهر اردبیل روند افزایشی پارامتر مذکور در شهرهای تبریز و ارومیه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ خواهیم بود که این کاهش و افزایش در پارامتر مورد بررسی، کمتر از ۰/۵ درجه سلیوس خواهد است. لازم به ذکر است که وقوع چنین بی‌نظمی‌های اقلیمی از جمله؛ افزایش متوسط دما در برخی شهرها و کاهش آن در برخی دیگر، جزء پدیده‌های «ترین» بوده و از نشانه‌های تغییر اقلیم یا تغییرات آب و هوایی هستند. همچنین بر اساس پیش‌بینی انجام شده با مدل CanEsm^۲، در سه ایستگاه مورد مطالعه برای ۳۰ سال آینده، امواج کوتاه گرمایی در شهرهای مورد مطالعه طی سال‌های آتی افت و خیزهای زیادی را تجربه خواهد کرد ولی در مجموع، طی سال‌های آتی امواج یک روزه در شهر اردبیل و ارومیه روند افزایشی نامحسوس و جزئی و در شهر تبریز تقریباً بدون روند خواهد بود. امواج گرمایی دو روزه در دو شهر تبریز و ارومیه روند کاهش و در اردبیل روند افزایشی خواهد داشت. روند امواج گرمایی سه روزه در دو شهر اردبیل و ارومیه کاهش و در تبریز افزایشی خواهد بود. لازم به توضیح است که بر اساس تعریف بالدی امواج بیش از ۶ روزه که موج بلند نامیده شده‌اند؛ در هیچ کدام از سه ایستگاه موج ۶ روزه متوالی مشاهده نشد و مدل مورد بررسی، امواج بلند را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه پیش‌بینی نکرد. بیشترین فراوانی رخ داد امواج گرمایی دو و سه روزه در هر سه شهر در ماه‌های منتهی به فصول سرد سال خواهد بود ولی امواج گرم یک روزه در هر سه شهر هم در تابستان و هم در زمستان رخ داد بیشتری نسبت به پاییز و بهار خواهد داشت این امر به ویژه در تبریز محسوس‌تر بود.

لازم به ذکر است که این افزایش ناگهانی دما به مدت چند روز در ماه‌های سرد سال که گیاهان در خواب زمستانی به سر می‌برند یا در مرحله‌ی گل دهی (بهار) هستند و با دمای پایین سازگاری بیشتری دارند، می‌تواند بر بخش کشاورزی و باغداری که مهم‌ترین بخش اقتصاد این منطقه از کشور است بسیار آسیب‌زا باشد. در فصل تابستان نیز افزایش ناگهانی و چند روزه‌ی دما می‌تواند مشکلاتی از جمله گرمزدگی، افزایش نیاز به وسایل سرمایشی و در نتیجه افزایش مصرف آب و برق را به دنبال داشته باشد. لذا آمادگی ارگان‌های مربوطه جهت کاهش پیامدهای حاصل از افزایش ناگهانی دما امری ضروری به نظر می‌رسد. یافته‌های پژوهش حاضر، با مطالعات فرون و همکاران (۲۰۱۹)، روهینی و همکاران (۲۰۱۹)، بومباکو و همکاران (۲۰۱۳)، مجرد و همکاران (۱۳۹۴)، عساکره و کیانی (۱۳۹۶)، کرم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) مولوی و همکاران (۱۳۹۴)، قاسمی‌فر و ناصرپور (۱۳۹۵)، صلاحی و قدرتی (۱۳۹۷)، حاتمی زرنه و همکاران (۱۳۹۸)، هم-



مجله علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، دوره 18 شماره 40، پاییز 1401، صص 76-89

راستا است. از نظر اکثر پژوهش‌گران، از جمله سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶) نرم افزار SDSM توانایی خوبی در شبیه سازی و پیش‌بینی حداکثر دما دارد. نگارندگان این تحقیق نیز عملکرد مناسب ریزگردان SDSM را تأیید می‌نمایند. همخوانی داشت.

۳-۳- پیشنهادات

با توجه به اینکه استان‌های آذربایجان شرقی و غربی و اردبیل، همچون اکثر نقاط کشورمان در معرض پدیده‌های فرین حاصل از تغییر اقلیم قرار دارند و این امر به نوبه خود باعث مشکلات جدی مانند بحران‌های آبی و خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه شده است و با عنایت به اینکه کشاورزی و باغداری از مشاغل اصلی ساکنین این استان‌ها می‌باشد که تحت تأثیر امواج گرمایی و اثرات مخرب آن قرار دارد و با توجه به اینکه هنوز روش اصولی برای شناخت عوامل تشدید کننده‌ی آثار تغییر اقلیم وجود ندارد، لذا نتایج پژوهش‌هایی مانند پژوهش حاضر، می‌تواند جهت مدیریت بحران راه‌گشا باشد.

Analysis and forecasting of heat waves in selected cities in Northwest of Iran

Abstract

Heat waves are one of the most important weather disasters, and their destructive environmental effects require knowledge and forecast. The purpose of this study is to forecast the future conditions of heat waves in Ardabil, Tabriz and Urmia during the years ۲۰۲۰-۲۰۵۰ using SDSM downscaler and Baldy index. For this purpose, the maximum daily temperature data of selected cities from ۱۹۶۱ to ۲۰۰۵ after preparation were entered into SDSM software and analyzed with CanESM۲ model with ۲,۶, ۸, ۵ and RCP ۴,۸ scenarios and with the output of the model, the maximum temperature trend of the three stations during the next ۳۰ years was investigated and their heat waves were Forecasted using the Baldy index. According to the results of the error measurement of the model, the simulations performed had acceptable accuracy. Due to the fact that each of the cities showed the least error in one scenario, so the heat wave prediction of each station was done using the least error scenario. Based on the results the average maximum temperature will decrease from late winter to late spring compared to the base period and will increase slightly in mid-summer. In general, we will see a decrease in the average maximum temperature in Ardabil and an increasing trend of the mentioned parameter in Tabriz and Urmia cities during the years ۲۰۲۰-۲۰۵۰. Also, the study of the predicted heat waves in the next thirty years showed that one-day waves in Ardabil and Urmia will be a slight increase and in Tabriz will be almost without trend. Two-day heat waves will decrease in Tabriz and Urmia and will increase in Ardabil. The trend of three-day heat waves in Ardabil and Urmia will be decreasing and increasing in Tabriz the highest continuity of heat waves was four days, which was forecast in Urmia. The highest frequency of two- and three-day heat waves in all three cities will be in the cold seasons of the year.

Keywords: Forecasting, Heat wave, Northwest of Iran, Baldi Index, SDSM.



۴- منابع

- ۱- حاتمی زرنه، داریوش، حجازی زاده، زهرا، ناصرزاده، محمد حسین، ۱۳۹۸، تحلیل نوسانات زمانی امواج گرمایی منطقه‌ی شمالغرب ایران و ارتباط آنها با گازهای گلخانه‌ای و ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال نوزدهم، شماره‌ی ۵۲، صص ۳۵-۵۶.
- ۲- خورشید دوست، علی محمد، زنگنه‌ی شهرکی، سعید، زارعی، یوسف، محمودی، سعید، ۱۳۹۶، تحلیل همبندی مخاطره امواج گرما در شمال غرب ایران، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۳۷، صص ۱۴-۱.
- ۳- رحیمی، داریوش، میر هاشمی، حمید، علیزاده، تیمور، ۱۳۹۶، تحلیل ساختار امواج گرمایی غرب و جنوب غرب ایران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره‌ی ۳، صص ۸۰-۶۹.
- ۴- سازمان هواشناسی کشور. <http://www.irimo.ir>.
- ۵- سلاجقه، علی، رفیعی ساردوئی، الهام، مقدم نیا، علیرضا، ملکیان، آرش، عراقی نژاد، شهاب، خلیقی سیگارودی، شهرام، صالح پور جم، امین، ۱۳۹۶، بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری WG-LARS و SDSM در شبیه‌سازی دما و بارش، تحقیقات آب و خاک ایران، شماره‌ی ۲، صص ۲۶۲-۲۵۳.
- ۶- صلاحی، برومند، قدرتی، زینب، ۱۳۹۷، پیش‌بینی و تحلیل امواج گرمایی شهر زنجان با استفاده از ریزگردان LARS-WG و شاخص بالدی. فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۴۰، صص ۴۸-۳۵.
- ۷- عساکره، حسین، کیانی، حدیث، ۱۳۹۶، ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، شماره‌ی ۱۰۵، صص ۶۲-۴۹.
- ۸- عساکره، حسین، یونس، اکبر زاده، ۱۳۹۶، شبیه‌سازی 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، شماره‌ی ۲۱، صص ۱۷۴-۱۵۳.
- ۹- قاسمی فر، الهام، ناصرپور، سمیه، ۱۳۹۵، تحلیل سینوپتیکی امواج گرما و سرما در سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، شماره ۲۶، صص ۱۴۶-۱۳۷.
- ۱۰- کرم‌پور، مصطفی، رفیعی، جعفر، جعفری، ایوب، ۱۳۹۶، شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران (ایلام، خوزستان، لرستان، کرمانشاه)، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، شماره‌ی ۳، صص ۲۷۹-۲۶۳.
- ۱۱- مبارکی، امید، عبدلی، اصغر، ۱۳۹۲، تحلیل سلسله مراتب مناطق شهر ارومیه بر پایه شاخص‌های توسعه پایدار شهری، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال سیزدهم، شماره‌ی ۳۰، صص ۶۵-۴۹.
- ۱۲- مجرد، فیروز، معصوم‌پور، جعفر، رستمی، طیبه، ۱۳۹۴، تحلیل آماری - همبندی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات طبیعی، شماره‌ی ۱۳، صص ۵۷-۴۱.



مجله علوم جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، دوره 18 شماره 40، پاییز 1401، صص 76-89

- ۱۳- مولودی، گلله، خورانی، اسدالله، مرادی، عباس، ۱۳۹۴، اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۱، صص ۱۴-۱.
- ۱۴- هوشیار، محمود، سبحانی، بهروز، ذ پروین، نادر، ۱۳۹۸، تحلیل آماری سینوپتیکی امواج گرمایی زودرس در شمال غرب ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۴، صص ۲۰۳-۱۸۵.
- ۱۵- Baldi, Massimiliano, Francesco, Giovanna De, Marina, Pasqui, Cesar One, Chiara. (۲۰۰۴): Heat Wave In The Mediterranean Region Analysis and Model Results, Institute of Biometeorology, CNR.ROM.ITALY ۱۰(۵).
- ۱۶- Bumbaco, Kathie, Nicholas, Karrin, Dello, Bond. (۲۰۱۳): History of Pacific Northwest Heat Waves, Synoptic Pattern and Trends, J. Appl. Meteor. Climatol, ۵۲.
- ۱۷- Ceccherini, Guido, Russo, Simone, Ameztoy, Iban, Patricia Romero, Claudia, Carmona-Moreno, Cesar, ۲۰۱۶. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. Nat. Hazards Earth Syst, ۱۶, ۸۲۱-۸۳۱.
- ۱۸- Feron, Sarah, R, R, Cordero, Alessdro, Damiani, P, J, Llanillo, J, Jorquera, Edgardo. sepulveda, V, Asencio, David, Laroze, Frederic, Labbe, J, Carrasco & G. torres. (۲۰۱۹): observations and projections of Heat Waves in south Americas. Scientific reports. ۱-۱۵.
- ۱۹- Moises Angeles, Jorge E, Nazario Ramirez, Malaspina, González-Cruz, Beltran. (۲۰۱۸): Projections of Heat Waves Events in the Intra-Americas Region Using Multimodel Ensemble. Advances in Meteorology.
- ۲۰- Muhire, I., & Ahmed, F. ۲۰۱۶. Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda. Theoretical and Applied Climatology, ۱۲۳(۱-۲), ۳۹۹-۴۱۴.
- ۲۱- Noori, Sharifi, Heydari, Mohammad, Mohammad Bagher, Mohammad. (۲۰۱۴): ۸th National Congress on Civil Engineering, Noshirvani University of Technology, Babol, Iran. ۷-۸ May.
- ۲۲- Osman, Yassin. Nadhir Al-Ansari and Mawada Abdellatif and Sadeq B. Aljawad and Sven Twardosz, Ursezula, Robert. Kossowska- Cezak. (۲۰۱۳): Exceptionally Hot Summers in Central and Eastern Europe (۱۹۵۱-۲۰۱۰). Theron. Appl. Climatology, Vol ۱۱۲.
- ۲۳- P. Rohini, m. Pajeevan, P. Mukhopahay. (۲۰۱۹): Future projections of heat waves over India from CMIP^۵ models, Scientific reportes, ۹۷۵-۹۸۸.
- ۲۴- Twardosz, U., Kossowska – Cezak, R. ۲۰۱۲. Exceptionally Hot Summers in Central and Eastern Europe (۱۹۵۱-۲۰۱۰). Theron. Appl. Climatol, Vol ۱۱۲.
- ۲۵- Weihe, Zhou, Shuang, Ji, Tsun-Hsuan, Chen, Yi, Hou, Kai, Zhang. (۲۰۱۴): The ۲۰۱۱ heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. Environmental Research (۱۳۵), pp. ۸۱-۸۷.
- ۲۶- Wilks D.S. (۲۰۰۶): Statistical Methods in the Atmospheric Sciences, Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, Cornell University, USA.
- ۲۷- Yassin Osman, Nadhir Al-Ansari, Mawada Abdellatif, Sadeq B. Aljawad, Sven Knutsson (۲۰۱۴): Expected Future Precipitation in Central Iraq Using LARS-WG Stochastic c Weather Generator, Scintific Research, ۹۴۸-۹۵۹.

۲۸-