

کاربرد مدل canESM2 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی حداکثر و امواج گرمایی شهرهای اهواز و ایلام

رقیه ملکی مرشت^۱، بهروز سبحانی^{۲*}

۱- دکترای آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

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

چکیده

امواج گرمایی از فرین‌های آب و هوایی بسیار آسیب‌زا و جزء مباحث مهم نوسانات اقلیمی می‌باشد که از پیامدهای تغییر اقلیم بوده و بر جوانب مختلف حیات بشر تأثیر گذاشته است. هدف از پژوهش حاضر، شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر و امواج گرمایی شهرهای اهواز و ایلام با استفاده از مدل (CanESM2) بود. بدین منظور ابتدا با اخذ داده‌های حداکثر دمای دو ایستگاه سینوپتیک اهواز و ایلام از سازمان هواشناسی کشور طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۶۱، با استفاده از نرم‌افزار ریزگردان SDSM و مدل CanESM2، حداکثر دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ با استفاده از سناریوهای RCP شبیه‌سازی و پیش‌بینی شد. سپس با برنامه نویسی در محیط نرم‌افزار متلب و اعمال شاخص به‌هنگار شده فومی‌کی بر داده‌های حداکثر دمای پیش‌بینی شده، روزهای که دمای آن‌ها ۲+ انحراف معیار بالاتر از میانگین بود و حداکثر ۲ روز تداوم داشتند به‌عنوان روزهای توأم با موج گرمایی شناسایی شدند. طبق نتایج حاصل، سناریوهای RCP 4.5 و RCP 2.6 به‌عنوان کم‌خطراتین سناریوها برای پیش‌بینی حداکثر دما به ترتیب برای اهواز و ایلام انتخاب شدند. براساس یافته‌های پژوهش حاضر، طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰، حداکثر دما در هر دو ایستگاه مورد مطالعه به‌عنوان ایستگاه‌های منتخب جنوب غربی ایران روند افزایشی خواهند داشت که روند افزایشی در شهر اهواز بیشتر از شهر ایلام خواهد بود. حداکثر تداوم امواج گرمایی پیش‌بینی شده در هر دو ایستگاه ۵ روزه و لذا کوتاه مدت خواهد بود. بیشترین فراوانی امواج گرمایی مربوط به امواج کوتاه مدت ۲ روزه خواهد بود که در اهواز روند افزایشی و در ایلام کاهش خواهد بود ولی امواج ۳، ۴، ۵ روزه در هیچ یک از ایستگاه‌ها روند خاصی نشان نداد. طی ۳۰ سال پیش‌بینی شده، وقوع امواج گرمایی با تداوم کم، فراوانی بیشتری خواهد داشت و این امواج گرمایی اغلب در ماه‌های مربوط به فصول سرد سال تجربه خواهد شد.

کلید واژه‌ها: CanESM2, Fumiyaki Index, RCP, SDSM.

مقدمه

داده است که همبستگی بالایی در مرگ و میر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال و دماهای بالا وجود دارد. در دمای متوسط مرگ و میر کمتر است ولی در دماهای بالا و بسیار بالا این مرگ و میرها به میزان ۲۰ تا ۳۵ درصد افزایش یافته است. ای. آنل و همکاران (A. Añel et al, 2017) به تحلیل آثار امواج گرمایی و سرمایی بر بخش تولید انرژی پرداختند. بررسی‌های آنان نشان داد که رخداد امواج سرمایی و گرمایی می‌تواند منجر به افزایش نیاز به تولید انرژی مصرفی شود. مویسیس و همکاران (Moises et al, 2018) با استفاده از دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 رخداد امواج گرمایی را در منطقه داخلی آمریکای شمالی برای اواخر قرن ۲۱ پیش-بینی نمودند. روهینی و همکاران (Rohini, 2019) به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداختند. نتایج پژوهش آنان افزایش امواج گرمایی بلند را طی دهه‌های آتی تأیید کرده است. فرون و همکاران (Feron et al, 2019) به مشاهده و بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند. آن‌ها از ۵ مدل (CMIP5) تحت دو سناریوی RCP 4.5 و 8.5 استفاده کردند و دریافتند که در دهه‌های اخیر روزهای بسیار گرم حداقل در دسامبر - ژانویه - فوریه دو برابر شده است. تامپسون و همکاران (Tompson et al, 2022) موج گرمایی ۲۰۲۱ غرب آمریکای شمالی را بررسی نمودند و طبق پیش‌بینی آنان، توزیع آماری فرین‌ها افزایش خواهد یافت و مناطقی که اخیر موج گرمای شدید نداشته‌اند، ممکن است آمادگی کمتری برای حوادث احتمالی قریب الوقوع داشته باشند. مولودی و همکاران (۱۳۹۵) با کمک شاخص فومیاکی و با استفاده از مدل CMIP5 به بررسی اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس پرداخته‌اند. نتایج نشان داده‌اند که امواج گرمایی کوتاه مدت، رخ داد بیشتری دارند و نیز فراوانی امواج گرمایی طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. الماسی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی رفتار و تغییرات بسامد رخ داد امواج گرمایی شهر اهواز پرداختند و طبق یافته‌ها، ایام کوتاه رخ داد بیشتری داشته است. امیدوار و همکاران (۱۳۹۵) احتمال وقوع امواج گرمایی استان کرمانشاه را تحلیل نمودند. نتایج حاصل نشان داده است که در استان کرمانشاه بیشترین امواج گرمایی در تیر و مرداد ماه بوده و روند افزایشی داشته است. عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶) به شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره

امواج گرمایی از جمله خطرناک‌ترین تهدیدات آب و هوایی مرتبط با گرمایش کره زمین می‌باشند که بر روی جامعه، اقتصاد و محیط زیست تأثیر می‌گذارند (Keggenhoff, 2015). می‌توان گفت که اولین گام برای کنترل یا دست کم کاهش آسیب‌های ناشی از مخاطرات اقلیمی از جمله امواج گرمایی، تعریف، تشخیص و شناسایی ویژگی‌های آن‌ها با روش‌های علمی می‌باشد (عباسنیا و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۵). امواج گرمایی می‌تواند در مقیاس محلی روی دهد و سبب از بین رفتن محصولات کشاورزی، مرگ و میر قابل توجه در اثر گرمادگی و دیگر مشکلات زیست محیطی و اجتماعی - اقتصادی شوند. این مخاطره اقلیمی، به دلیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مرگ و میر انسان‌ها، خسارات اقتصادی بالایی به بار می‌آورد (صلاحی و قدرتی، ۱۳۹۷). تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از واقعیت‌های طبیعی، چندی است که نمودهای آن با وضوح بیشتری قابل رویت می‌باشد. این رویداد به شکل ناهنجاری‌ها و نوساناتی در فراسنج‌های اقلیمی نظیر دما و بارش ایجاد می‌گردد (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

طی سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در ایران و سایر کشورهای جهان در خصوص امواج گرمایی صورت گرفته است. فریدونی و همکاران (۲۰۱۵) احتمال رخ داد امواج گرمایی را در نواحی شمالی ایران بررسی نمودند و نتایج نشان داده است که احتمال رخ داد امواج ۱ تا ۳ روز در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از بقیه است. سیسچرنی و همکاران (Ceccherini et al, 2016) به بررسی امواج گرمایی و سرمایی در سراسر آمریکای جنوبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بسامد و شدت دوره‌های گرم به ویژه طی ۱۰ سال اخیر افزایش یافته است؛ اما تغییرات قابل توجهی در امواج سرمایی ایجاد نشده است. یزدان پناه و همکاران (۲۰۱۷) در تحلیل امواج گرمایی شدید دریافتند که ایران طی سال‌های اخیر امواج گرمایی بیشتری را با حداکثر فراوانی در سال ۲۰۱۰ تجربه کرده است که بیشتر از میانگین بلند مدت آن است. پاراوانتیس و همکاران (Paravantis et al, 2017) آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیره حرارتی شهری را در مرگ و میر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آتن بررسی کرده‌اند و یافته‌های پژوهش آنان نشان

طی بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۰ پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که بیشترین فراوانی وقوع دوره‌های سرد، در نیمه اول دوره مطالعاتی و بیشترین فراوانی وقوع دوره‌های گرم در نیمه‌ی آخر دوره‌ی مطالعاتی به ویژه در دهه ۲۰۰۰ می‌باشد. کاشکی و همکاران (۱۳۹۸) به واکاوی آماری امواج گرمایی زایل پرداختند. طبق یافته‌های آنان، در این منطقه موج‌های گرمایی کم دوام رخداد بیشتر و امواج گرمایی پرتداوم رخ داده کمتر داشته‌اند. همچنین طبق نتایج، امواج گرمایی روند افزایشی داشته است. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی امواج گرمایی نیمه جنوبی ایران پرداخته‌اند و چنین نتیجه‌گیری کرده‌اند که امواج گرمایی در حال افزایش بوده و از عوامل اصلی تأثیرگذار بر رخداد امواج گرمایی در منطقه نیمه جنوبی ایران در سطح زمین وضعیت کم فشار و در سطوح فوقانی جو ارتفاع می‌باشد. همچنین وزش توده‌های هوایی بسیار گرم و سوزان از اطراف به این منطقه نیز تأثیر به‌سزایی در رخداد این فرین‌های اقلیمی داشته است. امیری و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر تغییر اقلیم بر تقویم زراعی گندم دیم را با کمک نرم افزار LARS-WG و مدل HADGCM2 مورد تحلیل قرار دادند و یافته‌های آنان نشان داده است که در دو دوره ۱۵ ساله ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ و ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۵ میلادی دماهای حداقل و حداکثر بر اساس تمام سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه روندی افزایشی خواهد داشت. اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۹) به شبیه‌سازی و پیش‌بینی مولفه‌های دما و بارش در مناطق خشک دشت میناب پرداختند. آنان در پژوهش خود از مدل CanESM2 و سه سناریو RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 و نرم افزار SDSM استفاده کردند و ضمن تایید کارایی ریزگردان SDSM، به این نتیجه دست یافته‌اند که مقادیر درجه حرارت در ابتدای قرن ۲۱ در دشت میناب افزایش پیدا خواهد کرد، در حالی که در میانه قرن (۲۰۷۴-۲۰۴۵) در ایستگاه سینوپتیک میناب و بندرعباس تنها در سناریو RCP2.6 شاهد کاهش دما در مقیاس سالانه خواهیم بود. احمدی و کمانگر (۱۴۰۱) به تحلیل آماری و پیش‌بینی دمای ماهانه ایستگاه سنندج با استفاده از مدل ساریما پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که دمای ماهانه سنندج تابعی است از متوسط دمای یک و دو ماه قبل و تابعی از پدیده تصادفی است و عدم وجود مقدار ثابت در مدل برازش یافته نشان دهنده عدم وجود قطعیت روند در میانگین ماهانه دمای

(۲۰۱۰-۲۰۱۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2 پرداختند. طبق نتایج حاصل، بارش در فصل زمستان افزایش و در بقیه فصول کاهش خواهد یافت. تغییرات میانگین حداقل دمای ایستگاه تبریز در کلیه ماه‌ها به‌غیر از ماه نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش داشته است. خوشید دوست و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی همدیدی امواج گرمایی در شمال غرب ایران پرداخته‌اند. براساس نتایج، با قرار گرفتن پشته حاصل از مراکز و اچرخندی بر روی نیمه غربی ایران در روز اوج گرفتن موج گرما و با همگرا شدن هوا، فرونشینی و نشست هوا و در نهایت گرم شدن آن به صورت آدیاباتیک رخ داده است. کرم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) به شناسایی و تحلیل سینوپتیکی امواج گرمایی غرب ایران پرداخته‌اند و نتایج حاصل از پژوهش آنان نشان داده است که بیشترین میزان وقوع امواج گرمایی در ماه فروردین بوده و امواج کوتاه رخ داد بیشتری داشته‌اند. عساکره و کیانی (۱۳۹۶) به ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش طول دوره پایه، پیش‌بینی مدل بهتر خواهد شد و هرچه طول دوره کمتر باشد برآورد مدل چندان مناسب نخواهد بود. اعتمادیان و دوستان (۱۳۹۶) به تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران پرداختند. طبق نتایج، بیشینه امواج گرمایی در نیمه غربی بوده که به سمت شرق کاهش داشته است. امواج گرمایی طی دهه‌های اخیر خصوصاً در فلات مرکزی ایران روند افزایشی داشته است که این روند افزایشی در ماه‌های سرد سال معنادارتر از ماه‌های گرم سال بوده است. افضل‌ی نیا و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی و تحلیل نقش تنش گرمایی بر شهروندان تهرانی از تحلیل عاملی و تحلیل خوشه-ای استفاده کردند. یافته‌های آنان نشان داده است که براساس تحلیل عاملی، تنش گرمایی بر آرامش روح و روان، عامل خستگی و گرمزدگی و کاهش فعالیت و افزایش تعرق بدن، گرفتگی عضلات، بیماری‌های ریوی و قلبی بیشترین تأثیر را دارد. این در حالی است که براساس تحلیل خوشه‌ای به ترتیب، بیشتر بر بیماری‌های قلبی ریوی و گرفتگی عضلانی، آرامش روح و روان و عامل خستگی، سرگیجه، گرمزدگی و کاهش فعالیت و افزایش تعرق بدن تأثیر گذاشته است. میریان و همکاران (۱۳۹۷) با روش کریجینگ و تحلیل آماری من‌کنندال به تحلیل روند دمای بلند مدت ایستگاه‌های همدیدی ایران

اقلیمی، شدیدتر و پرتداوم‌تر خواهد شد لذا پی بردن به زمان وقوع، روند، فراوانی و تداوم این مخاطره اقلیمی و پیش‌بینی رفتار آینده آن به ویژه در شهرهای جنوب غرب ایران که پیوسته در معرض نفوذ هوای گرم و خشک سرزمین‌های عربستان و عراق قرار دارند و گرمای طاقت فرسا و امواج گرمایی، آسایش زیستی ساکنین این شهرها را مختل می‌سازد، می‌تواند آگاهی‌ها، توصیه‌ها و راه‌کارهای لازم را به کشاورزان، باغ‌داران و مسئولان ستاد حوادث غیرمترقبه‌ی این شهرستان‌ها به منظور مدیریت بحران ارائه نماید.

سناریوهای A1B، B1 و A2 مطابقت دارند (Muhire, and Ahmed, 2016). نظر به این که اکثر پژوهش‌گران در مقالات خود به بررسی توانمندی نرم افزار SDSM پرداخته و مناسب بودن SDSM در مقایسه با نرم افزار LARS-WG در کوچک مقیاس نمودن پارامترهای دما، تبخیر و بارش را تأیید کرده‌اند (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۸)، لذا در پژوهش حاضر نیز از نرم افزار مذکور جهت ریزمقیاس‌نمایی حداکثر دمای دو ایستگاه استفاده شده است. مدل CanESM2⁴ به عنوان یکی از مدل‌های جدید جهت واکاوی دمای حداکثر در ریزگردان SDSM استفاده می‌گردد. دلیل استفاده از مدل جهانی CanESM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی (2.6، 4.5 و RCP 8.5) این بود که در زمان انجام پژوهش حاضر، از مدل‌های گردش عمومی، داده‌های مدل و سناریوهای مذکور برای تحلیل در ریزگردان SDSM در دسترس بود. سه سناریوهای یاد شده، تفاوت بین انرژی دریافتی از خورشید و انرژی برگشتی به جو، توسط زمین است. واداشت مثبت (ورودی بیشتر انرژی تابشی خورشید) موجب افزایش و 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 (هیأت بین دول تغییر اقلیم ۵، ۲۰۰۵).

سندج است. هدف از پژوهش حاضر، شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر و امواج گرمایی در شهرهای اهواز و ایلام به عنوان نماینده سایر استان‌های جنوب غرب ایران با استفاده از مدل CanESM2 است. دلیل استفاده از مدل یاد شده، جدید و دقیق بودن مدل CanESM2 در مقایسه با مدل‌های مشابه بود. همچنین اکثر پژوهش‌گران، دقت و کارایی بهتر ریزگردان SDSM نسبت به LARS-WG را تأیید نموده‌اند (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷)، بنابراین در پژوهش حاضر مدل و ریزگردان مذکور مورد استفاده قرار گرفت. طبق یافته‌های اکثر پژوهش‌گران، موج گرمایی طی سال‌های آتی تحت تأثیر تغییرات

مبانی نظری تحقیق

از نظر آماری، امواج گرمایی به نوسان‌های مثبت یا فرین‌های بالای میانگین دماهای حداکثر روزانه گفته می‌شود که طی روزها (گاه هفته‌ها و ماه‌های متوالی) در فضاهای جغرافیایی خاصی استمرار زمانی دارند (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰: ۲۹۰). موج گرمایی به دوره شدید گرما اطلاق می‌شود که بیش از ۵ روز دوام داشته باشد و دما ۵ درجه از حالت نرمال بیشتر باشد و نیز برای انسان و محیط زیست، ایجاد بحران کند (مجرد و همکاران، ۱۳۹۴). امواج گرمایی به دلیل اهمیت فراوانی که دارد، مورد توجه و بررسی پژوهشگران قرار گرفته و به منظور شبیه‌سازی گذشته و پیش‌بینی این مخاطره برای سال‌های آتی، ریزگردان‌هایی مانند SDSM¹ و LARS-WG² استفاده شد. مدل SDSM یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس‌گردانی 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 (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۸).

با شروع دهه ۲۰۱۰، CMIP5³ سناریوهای جدید RCPs را پیشنهاد داد. سناریوهای پیشنهادی در چهار حالت 6.0، 2.6، 4.5 و 8.5 هستند. RCP های مذکور، تا حدودی با

³ . Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

⁴ . Canadian Earth System Model version 2

⁵ .IPCC

¹ . Statistical DownScaling Model

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

منطقه هستند. براساس برآورد جنگل داری استان، مساحت جنگل‌های این استان حدود ۵۰۰۰۰۰ هکتار است. همچنین پارک‌ها و بوستان‌هایی در غرب شهر ایلام واقع شده‌اند که نقش قابل توجهی در اکولوژی این شهر دارند (ناصری، ۱۳۹۳؛ آزادخانی و همکاران، ۱۳۹۷). شهر اهواز یکی از کلان‌شهرهای ایران است که در بخش مرکزی شهرستان اهواز قرار دارد و از سال ۱۳۰۳ تاکنون به عنوان مرکز استان خوزستان شناخته می‌شود. جمعیت این شهرستان طبق سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ حدود ۱۳۰۳۰۰۰ نفر است (که با احتساب ۴۰۰ هزار نفری حاشیه شهر، جمعیت این شهر به بالای ۱۷۰۰۰۰۰ نفر می‌رسد) که به‌عنوان هفتمین شهر پرجمعیت ایران به شمار می‌آید. (نظرصیدی و گندمکار، ۱۳۹۹). در پژوهش حاضر، مراکز دو استان خوزستان و ایلام، به عنوان شهرهای منتخب جنوب غرب ایران انتخاب و بررسی گردید. در جدول (۱)، موقعیت جغرافیایی و در شکل (۱) نقشه محدوده مورد مطالعه ارائه شده است.

شاخص‌هایی همچون فومیاکی^۱ یکی از شاخص‌هایی هست که به منظور شناسایی روزهای توأم با موج گرمایی استفاده می‌شود. شاخص فومیاکی یا انحراف دمای نرمال شده ($2NTD$) با برنامه نویسی در محیط نرم افزار متلب انجام می‌گیرد و هرگاه ضریب (NTD)، ۲ انحراف معیار بالاتر از میانگین باشد و حداقل ۲ روز تداوم داشته باشد به عنوان روز توأم با موج گرمایی معرفی می‌گردد (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). موج گرمایی به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی، با استفاده از شاخص‌هایی همچون؛ شاخص فومیاکی و بالدی و اکاوی شده و بدین ترتیب، دماهای فرین گرم شناسایی می‌گردد.

منطقه مورد مطالعه

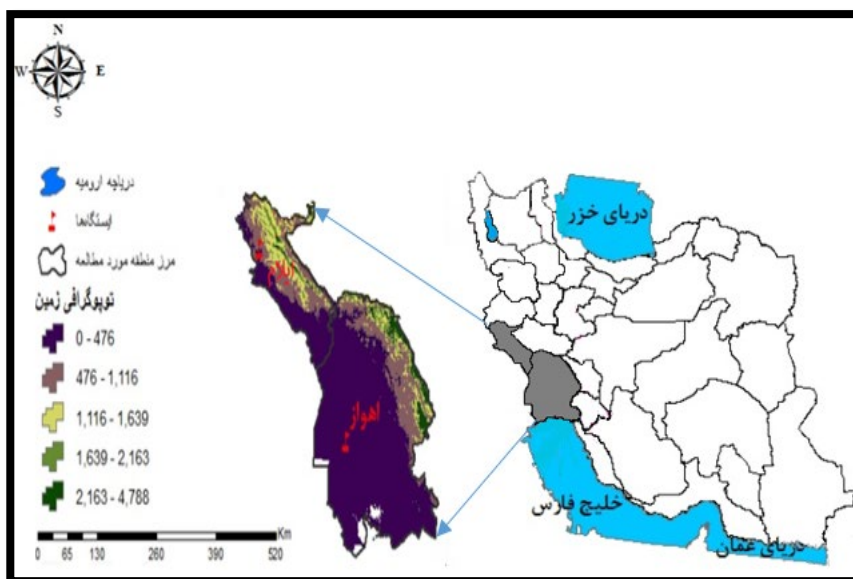
شهر ایلام واقع در جنوب غرب ایران، مرکز استان ایلام است که در حصار از کوه‌ها و ارتفاعات جنگلی استقرار یافته و آب و هوایی کوهستانی دارد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۶). جنگل‌های پیرامون این شهر از شاخص‌ترین عوامل اکولوژیکی

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه (مأخذ: سازمان هواشناسی کشور)

شهر	عرض	طول	ارتفاع
ایلام	۶/۳۳	۴/۴۶	۱۳۳۷
اهواز	۳/۳۱	۷/۴۸	۵/۲۲

² . Normalized Thermal Deviation

¹ .Fumiyaki Index



شکل ۱- نقشه محدوده مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۰)

قرار گیرد. میانگین بلند مدت دماهای هر روز، با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید:

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

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

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

در این جا $\Delta T = (i, j, n)$ انحراف مطلق دما از میانگین بلند مدت در روز j ام از ماه i ام، در سال n ام نسبت به میانگین

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر جهت شناسایی و استخراج امواج گرم، داده‌های حداکثر دمای روزانه هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵، از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید و از نرم افزار SDSM و مدل CanESM2 تحت سه سناریوی واداشت تابشی (۲.۶، ۴.۵ و ۸.۵ RCP) استفاده شد. سپس با استفاده از شاخص‌های خطاسنجی کم خطاترین سناریو برای هر یک از شهرها انتخاب گردید و خطاترین سناریو بر اساس کم خطاترین سناریو انجام شد. سپس با کمک شاخص به‌هنجار شده دما فومیایی و از طریق برنامه نویسی در محیط نرم افزار متلب^۱، روزهایی دمای آن‌ها بالاتر از ۲+ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) بود و دست کم دو روز تداوم داشته، به عنوان روز توأم با موج گرمایی شناسایی و انتخاب گردید.

به منظور محاسبه نمایه فومیایی، نخست برای هر یک از روزهای سال محاسبه شد تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلند مدت مبنای داوری درباره گرمی آن روز

^۲ . Noise

^۱ . MATLAB

در ادامه، پس از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Matlab، روزهایی که ضریب NTD آن‌ها بالاتر از میانگین بود و حداقل ۲ روز تداوم داشت توسط این برنامه، روز توأم با موج گرمایی معرفی گردید. بنابراین تعریف موج گرم در این پژوهش این‌گونه بیان می‌شود که: هرگاه ضریب (NTD) برای P روز متوالی ۲ انحراف معیار بالاتر از میانگین باشد، یک موج گرمایی P روزه داریم: به عبارتی اگر (i) NTD معرف دمای بهنجار شده‌ی روز i آ باشد، طبق رابطه ۶:

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

$$\text{NTD}(i), \text{NTD}(i+1), \dots,$$

آنگاه یک موج گرمایی P روزه داریم (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). جهت ارزیابی توانایی سناریوهای مدل CanESM2 در پیش‌بینی میانگین حداکثر دمای ۳۰ سال آتی، خروجی‌های هریک از سناریوها به کمک شاخص‌های میانگین قدر مطلق خطاها (²MAD)، میانگین مربع خطا (³MSE)، ریشه میانگین مربعات خطا (⁴RMSE) بررسی و با هم مقایسه گردید تا دقیق‌ترین و کم‌خطاترین سناریو انتخاب شود (روابط ۷ و ۸).

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

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

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

مقادیر پارامتر مذکور برای ۳۰ سال آینده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) با استفاده از خروجی مدل CanESM2 که از مجموعه مدل‌های CMIP5 هست تحت کم‌خطاترین سناریوهای RCP برای اهواز و ایلام پیش‌بینی شد.

بلند مدت دمای همان روز تقویمی است. برای آن‌که مقادیر انحراف دمای زمان‌های مختلف در یک نقطه جغرافیایی و مکان‌های مختلف در یک‌زمان معین با یکدیگر قابل مقایسه باشند، لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما، استاندارد سازی شوند. همانند تغییرات روز به روز، پراش ΔT در ۳۱ روز برای هرروز تقویمی طبق رابطه ۳ به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد:

(۳)

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

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

(۴)

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

سرانجام نمایه فومیکی یا انحراف دمای نرمال شده (¹NTD) از رابطه ۵ زیر محاسبه گردید:

(۵)

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

که $\overline{\sigma(i,j)} = \sqrt{\overline{\sigma^2(i,j)}}$ می‌باشد.

در رابطه فوق، At مقدار مشاهده شده و Ft مقدار برآورد شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد (Wilks, 2011). در مرحله بعد به منظور پیش‌بینی امواج گرمایی، پس از شبیه‌سازی و ارزیابی داده‌های حداکثر دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱)، با استفاده از نرم افزار SDSM،

3. Mean squared Error(MSE)

4. Root Mean Square Error (RMSE)

1. Normalized Thermal Deviation

2. Mean Absolut Deviation (MAD)

نتایج و بحث

خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای

انتخابی

جهت بررسی تغییرات دمای حداکثر طی ۳۰ سال آتی در مناطق 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 آینده حداکثر دما، بر اساس خروجی‌های در دسترس از مدل بزرگ مقیاس CanESM2 در دو شهر منتخب جنوب غرب ایران

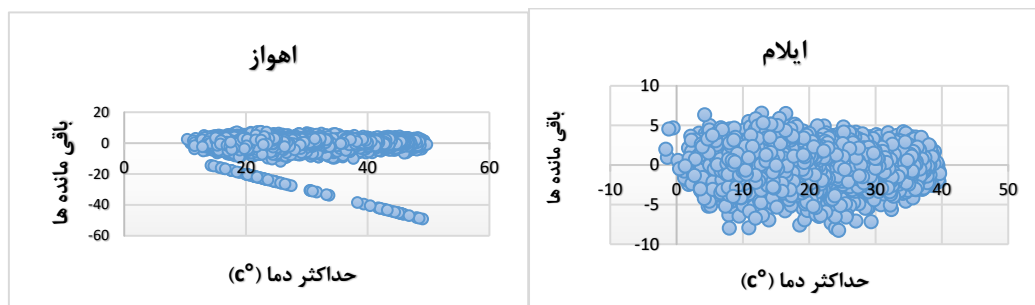
ریزمقیاس نمایی شدند. مهم‌ترین مرحله در استفاده از این مدل، انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها می‌باشد. در جدول (۲) پیش-بینی کننده‌های مدل CanESM2 که بیشترین همبستگی را با داده‌های مشاهداتی هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه داشتند انتخاب و میزان همبستگی جزئی بین آنها و دمای حداکثر طی دوره مشاهداتی بر روی ایستگاه‌های منتخب آب و هوایی نشان داده شده است که بیشترین همبستگی جزئی، با مقدار ۰/۸۰ بین متغیر متوسط دما (Temp) و حداکثر دمای ایستگاه ایلام و کمترین آن بین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسگال (P500) و پارامتر حداکثر دمای ایستگاه اهواز مشاهده گردید.

جدول ۲- مقادیر همبستگی جزئی بین پیش‌بینی کننده‌های منتخب با دمای حداکثر ایستگاه‌ها، طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵

مدل	متغیر	توصیفات	ایستگاه	اهواز	ایلام
CanESM2	P500	ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسگال		۰/۲۲	۰/۶۶
	Temp	متوسط دما		۰/۷۸	۰/۸۰

خوبی در ریزمقیاس نمایی و پیش‌بینی داده‌های دمای بیشینه در سطح منطقه مورد مطالعه خواهد داشت. جدول (۳) تغییرات ماهانه و فصلی میانگین حداکثر دمای آینده براساس مدل CanESM2 در دو ایستگاه منتخب در مقایسه با داده‌های مشاهداتی نشان داده شده است.

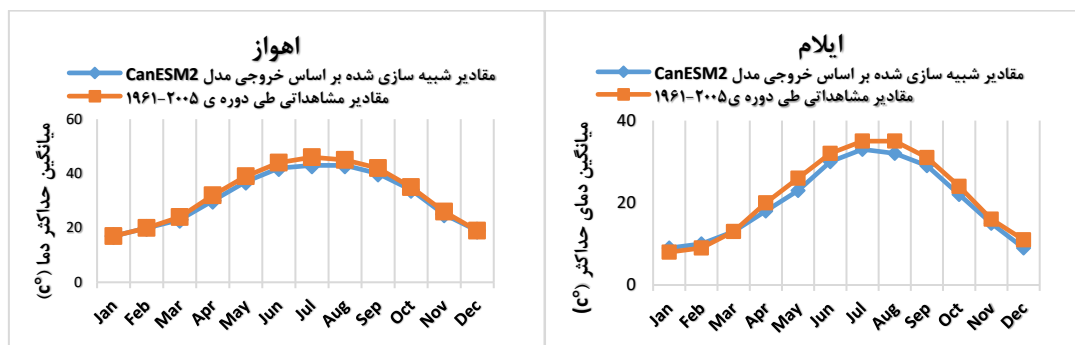
شکل (۲) پراکنش مانده‌های مدل CanESM2 در برابر حداکثر دمای دو شهر منتخب را نشان می‌دهد. براساس این نمودارها، مانده‌ها در هر دو ایستگاه فاقد روند خاصی بوده و در اطراف محور X تمرکز پیدا کرده‌اند؛ بنابراین خطا وجود نداشته است و نرم افزار SDSM با مدل مذکور، کارآیی



شکل ۲- پراکنش مانده‌های مدل CanESM2 در برابر حداکثر دما

مربوط به فصل‌های پاییز و زمستان، انطباق بیشتری بر هم دارند و این امر نشان می‌دهد که مدل انتخابی، قادر هست در فصول سرد سال، میانگین حداکثر دما را دقیق‌تر و با اختلاف کمتری نسبت به مقادیر واقعی پیش‌بینی نماید.

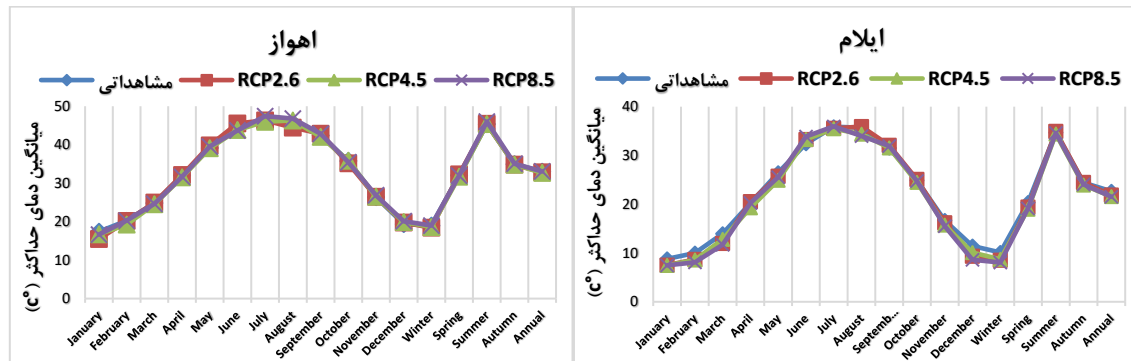
شکل (۳) نمودار مقایسه‌ای مقادیر شبیه‌سازی شده، با مقادیر واقعی میانگین دمای حداکثر را نشان می‌دهد. طبق این نمودارها، در هر دو ایستگاه منتخب با مدل CanESM2، منحنی‌های مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ماه‌های



شکل ۳- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده براساس مدل CanESM2 با مقادیر واقعی دمای حداکثر ایستگاه‌های منتخب

مورد مطالعه، میانگین حداکثر دما از اواخر زمستان تا اواخر بهار نسبت به دوره پایه کاهش و در اواسط تابستان افزایش جزئی خواهد داشت. شهر اهواز نسبت به ایلام تغییرات در میانگین حداکثر دما تجربه خواهد کرد (شکل ۴).

نمودار مقایسه‌ای مقادیر دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) (بازه زمانی تعیین شده توسط نرم افزار SDSM برای مدل CanESM2 با مقادیر پیش‌بینی شده براساس سناریوهای (RCP2.6) و (RCP4.5) و (RCP8.5) طی دوره ۳۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۵۰) در ایستگاه‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد که در هر دو شهر



شکل ۴- مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر با سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5

خطاهای بین سری مشاهداتی و سری تولید شده مدل ریز مقیاس‌سازی مذکور، با کمک شاخص‌های (MAD)، (MSE)، (RMSE) محاسبه گردید. طبق جدول (۳) میزان خطا در هر دو شهر با هر سه سناریو کم بود و قابل اغماض بود.

پس از شبیه‌سازی حداکثر دما، با استفاده از نرم افزار SDSM برای دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵)، مقادیر پارامتر مذکور برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ با استفاده از مدل CanESM2 تحت سه سناریوی ۲.6 Rcp، 4.5 و 8.5 پیش‌بینی شد. جهت ارزیابی دقت مدل و انتخاب مناسب‌ترین سناریو،

جدول ۳- صحت سنجی حداکثر دمای شبیه‌سازی شده با مدل CanEsm2 در شهرهای منتخب

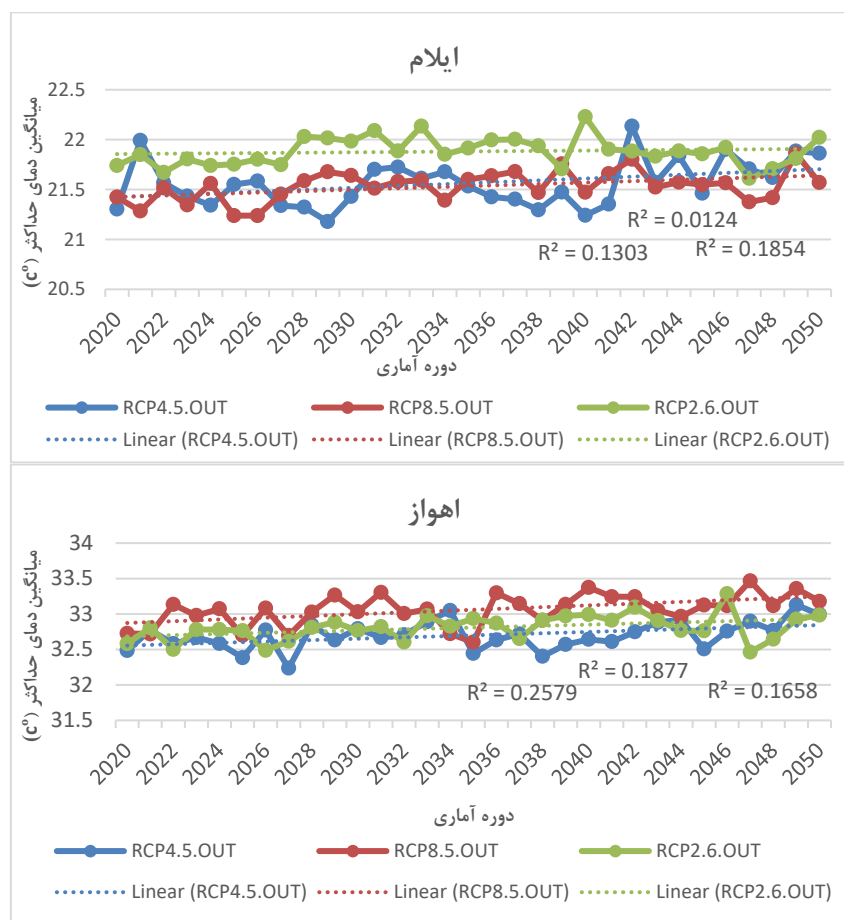
شهر	مدل	سناریو	MAD	MSE	RMSE
ایلام	CanEsm2	Rcp ۲/۶	۰/۸۷	۱/۱۵	۱/۰۷
		Rcp ۴/۵	۰/۹۸	۱/۱۶	۱/۰۸
		Rcp ۸/۵	۱/۱۸	۲/۱۶	۱/۴۷
Rcp ۲/۶		۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۷۱	
Rcp ۴/۵		۰/۳۹	۰/۲۳	۰/۴۸	
Rcp ۸/۵		۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۶۶	
اهواز					

جدول ۴- مناسب‌ترین سناریوی انتخابی بر اساس مدل CanEsm2 برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

سناریوی انتخابی	مدل	ایستگاه
۴/۵Rcp	CanEsm2	اهواز
۲/۶Rcp		ایلام

نمودار مذکور حاکی از روند غیر معنادار میانگین حداکثر دما در هر دو ایستگاه اهواز و ایلام طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ می‌باشد.

در شکل (۵) نمودار روند خطی میانگین حداکثر دمای دو ایستگاه مورد مطالعه، طی ۳۰ سال آینده با سه سناریو (خوشبینانه، بدبینانه، متوسط) ترسیم گردیده است. بررسی



شکل ۵- نمودار روند خطی میانگین دمای حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه با سه سناریو (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

پیش‌بینی شده است. نمودارهای مقایسه فراوانی امواج گرمایی دو، سه و چهار و پنج روزه پیش‌بینی شده براساس ماه، در شهرهای منتخب (۲۰۲۰-۲۰۵۰) در شکل (۶) نشان داده شده‌اند. بیشترین فراوانی امواج گرمایی ۲ روزه در شهرهای اهواز در ماه‌های مربوط به فصل بهار، در ایلام در تابستان پیش‌بینی شد. امواج گرمایی ۳ روزه در هر دو شهر، در فصل پاییز خواهد بود. امواج گرم ۴ روزه اهواز در فصل پاییز، در ایلام فصل تابستان پیش‌بینی شد. امواج گرمایی پنج روزه که در هر دو ایستگاه یک مورد در فصل پاییز پیش‌بینی شد. بیشترین فراوانی این مخاطره در هر دو ایستگاه، مربوط به موج‌های گرم ۲ روزه بود که در شهر اهواز بیشتر از ایلام پیش‌بینی شد و از نظر زمان وقوع نیز در اهواز اواخر زمستان و اوایل بهار و در ایلام اواخر تابستان و اوایل پاییز بیشترین امواج گرمایی تجربه خواهند شد. در مجموع وقوع امواج گرمایی در دوره پیش‌بینی شده در هر دو شهر اغلب در فصول سرد سال اتفاق خواهد افتاد.

امواج گرمایی شناسایی شده براساس شاخص فومیکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

براساس نتایج به‌دست آمده از اعمال شاخص فومیکی بر داده‌های حداکثر دمای پیش‌بینی شده دو ایستگاه منتخب اهواز و ایلام طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ امواج گرمایی این دو شهر شناسایی و به دو دسته امواج کوتاه و امواج بلند تقسیم شد (امواج گرمایی با تداوم بین ۲ تا ۵ روزه با عنوان امواج گرمایی کوتاه مدت و امواج با تداوم ۶ روزه یا بیشتر، امواج گرمایی بلند مدت). در جداول (۵) فراوانی و تداوم امواج گرمایی پیش‌بینی شده براساس کم‌خطاترین سناریوی انتخابی نشان داده شده است. طبق جدول مذکور در هر دو شهر امواج گرمایی ۲ روزه، بیشترین فراوانی را خواهد داشت که در اهواز بیشتر از ایلام پیش‌بینی شده ولی امواج سه روزه در ایلام بیشتر از اهواز و موج گرم ۴ روزه در اهواز بیشتر و موج گرمایی ۵ روزه نیز در هر دو شهر اهواز و ایلام تنها یک مورد

جدول ۵- فراوانی و تداوم امواج گرمایی پیش‌بینی شده براساس ماه، با سناریوی انتخابی در شهرهای منتخب (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

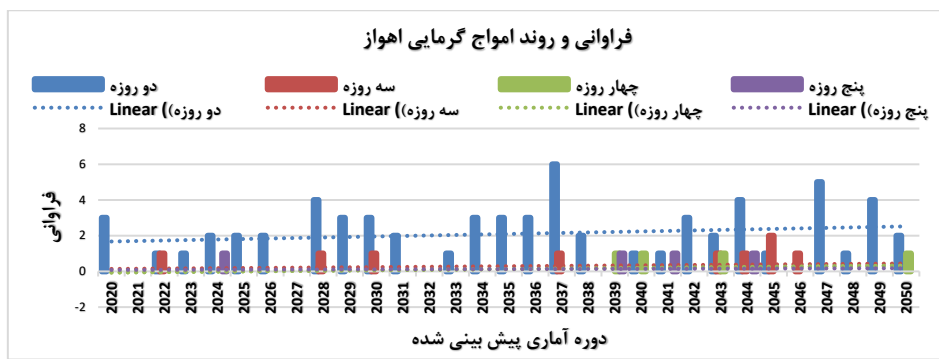
مجموعه	ماه												تداوم	سناریوها	شهر	مدل	
	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	جولای	ژوئن	م	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه					
	فراوانی ماهانه																
	۷۱	۴	۶	۹	۶	۱۱	۶	۴	۷	۳	۳	۹	۳	دو روزه	Rep ۲/۶	ایلام	CanEsm2
	۲۲	-	۶	۱	۴	۲	۱	۱	-	۱	۵	-	سه روزه				
	۱	-	-	-	-	-	۱	-	-	-	-	-	چهارروزه				
	۱	-	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	پنج روزه				
	۷۸	۵	۸	۶	۷	۴	۴	۵	۱۱	۱۳	۳	۱۰	۲	دو روزه	Rep ۴/۵	اهواز	
	۵	-	۳	۲	-	-	-	-	-	۲	-	-	سه روزه				
	۴	-	۱	۳	-	-	-	۱	-	-	-	-	چهارروزه				
	۱	-	-	۱	-	-	-	-	-	-	-	-	پنج روزه				



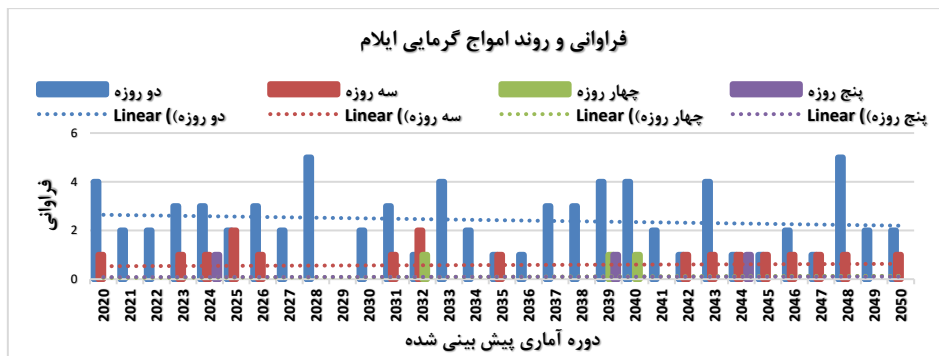
شکل ۶- نمودارهای مقایسه فراوانی ماهانه‌ی امواج گرمایی پیش‌بینی شده در شهرهای منتخب (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

شهر ایلام روند کاهشی جزئی تجربه خواهد کرد. امواج گرمایی سه روزه، چهار روزه و پنج روزه در هیچ کدام از شهرها روند خاصی نخواهد داشت.

بررسی نمودار روند امواج گرمایی در شهرهای مورد مطالعه طی سال‌های آینده، با سناریوهای انتخابی در شکل (۷) و (۸) نشان داد که امواج دو روزه در شهر اهواز روند افزایشی و در



شکل ۷- روند و فراوانی سالانه امواج گرمایی پیش‌بینی شده در شهرا اهواز (۲۰۲۰-۲۰۵۰)



شکل ۸- روند و فراوانی سالانه امواج گرمایی پیش‌بینی شده در شهر ایلام (۲۰۲۰-۲۰۵۰)

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، استفاده از مدل (CanESM2) در شبیه‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر و امواج گرمایی شهرهای اهواز و ایلام به عنوان ایستگاه‌های منتخب جنوب غرب ایران بود. طی دهه‌های اخیر با مطرح شدن بحث تغییر اقلیم فرین-های اقلیمی از جمله مخاطره موج گرما به وفور رخ می‌دهند، براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی دمای حداکثر و پیش‌بینی امواج گرمایی طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰، حداکثر دما در هر دو ایستگاه روند افزایشی خواهند داشت که بیشترین روند افزایشی در اهواز خواهد بود. حداکثر تداوم امواج گرمایی در هر دو ایستگاه ۵ روزه و لذا کوتاه مدت خواهد بود و موج گرمایی ۲ روزه بیشترین فراوانی را خواهد داشت. روند امواج گرمایی دو روزه در اهواز افزایشی و در ایلام کاهش‌ی خواهد بود ولی امواج ۳، ۴، ۵ روزه در هیچ یک از ایستگاه‌ها روند خاصی نشان نداد. طی ۳۰ سال آتی امواج گرمایی کم تداوم‌تر و اغلب در ماه‌های سرد سال رخ خواهد داد. براساس توضیحات ارائه شده و با توجه به این که بیشترین فراوانی وقوع امواج گرمایی در هر دو ایستگاه منتخب در ماه‌های سرد سال خواهد بود و از آنجا که حداکثر دما نیز در هر دو ایستگاه روند افزایشی نشان داد، بنابراین می‌توان اظهار داشت که در اثر رخ داد مکرر و مداوم امواج گرمایی و افزایش دما به ویژه در ماه‌های سرد سال ممکن است شکوفه دهی و جوانه زنی زود هنگام محصولات زراعی و باغی حادث شود که در نتیجه وقوع متعاقب سرمای دیر رس بهاره بعد از یک موج گرمایی، در صورت عدم مدیریت بحران و اطلاعات ناکافی کشاورزان و باغداران، شاهد خسارت سنگین به اقتصاد کشاورزی در منطقه مورد مطالعه خواهیم بود. علاوه بر آن، به دلیل گرمسیر بودن شهرهای مورد مطالعه، افزایش دما قطعاً آسایش زیستی ساکنین را برهم خواهد زد. بنابراین ضروری است جهت مقابله با آثار سوء ناشی از افزایش دما تمهیدات لازم اندیشیده شود. یافته‌های پژوهش حاضر، از این لحاظ که امواج گرمایی طی سال‌های آتی روند افزایش خواهد داشت و بیشترین فراوانی رخ داد امواج گرمایی مربوط به امواج دو و سه روزه خواهد بود و اغلب در فصول سرد سال فراوانی بیشتری خواهد داشت، با یافته‌های اکثر پژوهش‌گران از جمله کاشکی

و همکاران (۱۳۹۶)، کرم پور و همکاران (۱۳۹۶) قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) الماسی و همکاران (۱۳۹۵) که هم‌خوانی داشت. ولی با یافته‌های روهینی و همکاران (۲۰۱۹) که افزایش فراوانی وقوع امواج گرمایی بلند مدت را طی سال‌های آتی تأیید کرده بودند، هم‌سو نبود.

سپاس‌گزاری

ضمن تشکر از سازمان هواشناسی کشور و سپاس از اساتید محترم راهنما و مشاور، مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

منابع

1. Anel, J., Fernandez-Gonzalez, M., Labandeira, X., Lopez-Otero, X. and L, De la Torre. 2017. Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere*, No. 10. pp. 1-13.
2. Abbasnia, M., Tavousi, T., Khosravi, M., Toros, H. 2016. Spatial-Temporal Analysis of Heat Waves in Iran over the Last Three Decades, *Natural Environment Change*, No. 1. Pp. 25- 33.
3. Afzalnia, F., Mohammadi, H. and Farajzadeh, M. 2016. Analysis of the effects of heat stress on the citizens of Tehran, *Geography (Scientific-Research Quarterly and International Quarterly of the Geographical Association of Iran)*. No. 53. pp. 91-111.
4. Ahmadi, M., Kamangar, M. 2022. Statistical analysis and prediction of monthly temperature of Sanandaj synoptic station using SARIMA model, *water and soil modeling and management*, No. 1. pp. 1-13.
5. Almasi, F., Tawoosi, T. and Hosseinabadi, N. 2015. Analysis of Behavior and Frequency Changes in the Occurrence of Heat Waves in Ahvaz, *Journal of Spatial Planning*. No. 19. pp. 137-150.
6. Amiri, F., Lashkari, H., Ghorbaniyan, J. and Morshedi, J. 2019. The effect of climate change on rainfed wheat crop calendar (Chamran cultivar) Case study of Dezful, *Geography (Iranian Journal of the Geographical Association)*. No. 65. pp. 5-14.
7. Asakereh, H. and Akbarzadeh, Y. 2016. Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station during the period (2010-2011) using statistical exponential microscale (SDSM) and model

- Hazards. No. 2. pp. 1-20.
19. Hejazizadeh, Z., Asakereh, H. and Sayadi, F. 2016. Climate change and spatio-temporal distribution of rainfall in Iran, *Geography (Iranian Journal of Geographical Association)*. No. 50, pp. 33-54.
 20. Hoshyar, M., Sobhani, B. and Hosseini, S A. 2018. Outlook Changes Maxes Maximum Perspective Changes Maximum Temperatiour Urmia Using Disposition Statistics Contact CanESM2 Model, *Journal of Geography and Planning*, No. 63. Pp. 305-325.
 21. IPCC. 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Chen, M., Marquis, K.B
 22. Ismail Nejad, M., Khosravi, M., Alijani, B. and Masoudian, S A. 2013. Identification of Iranian heat waves, *geography and development*. No. 3. pp. 39 - 54.
 23. Karampour, M., Raffei, J. and Jafari, A. 2017. Synoptic identification and analysis of heat waves in western Iran (Ilam, Khuzestan, Lorestan, Kermanshah), *environmental hazard management (former hazard knowledge)*. No. 3. pp. 263-279.
 24. Kashki, A R., Karami, M., Baaghideh, M. and Ali Moradi, M R. 2019. Statistical analysis of Zabul heat waves, *changes and weather hazards*. No. 1. pp. 40-55.
 25. Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M. and King, L. 2015. Heat Wave Events over Georgia since 1961: Climatology, Changes and Severity, *Climate*, No. 2. Pp. 308-328.
 26. Khorshid Doost, A M., Zanganeh Shahraki, S., Zarei, Y. and Mahmoudi, S. 2016. Synoptic analysis of heat wave risk in northwest Iran. *Natural Geography*, 10(3 (37th issue), 1-14.
 27. Mirian, M., Karampour, M., Moradi, M., Ghaemi, H and Nasiri, B. 2018. Analysis of long-term temperature trend of synoptic stations in Iran (period 2010-1960). *Geography (Scientific-Research Quarterly and International Quarterly of the Geographical Society of Iran)*. No. 58. pp. 49-63.
 28. Moloudi, G., Khorani, A. and Moradi, A. 2015. The effect of climate change on heat waves on the northern shores of the Persian Gulf, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, No. 1. pp. 1-14.
 29. Muhire, I. and Ahmed, F. 2016. Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda. *Theoretical and Applied Climatology*. No. 123. Pp. 399-414.
 30. National Meteorological Organization. <http://www.irimo.ir>
 8. output: CanESM2, *Geography and environmental hazards*. No. 21. pp. 153-174.
 9. Azadkhani, P; Azami, H. and Chehreh, M. 2017. Application of thermal comfort indicators in sustainable housing design (case study of Ilam city), *Quarterly Journal of Urban Development Studies*, N0. 7. pp. 4-24.
 10. Ceccherini, G., Russo, S., Ameztoy, I., Patricia Romero, C., Carmona-Moreno, C. 2016. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. *Nat. Hazards Earth System*. No. 16. Pp. 821-831.
 11. Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, Gh. Khosravi, H., Azarnivand, H. and Barati, A A. 2019. Simulation and Prediction of Temperature and Rainfall Components in Arid Areas (Case Study: Minab Plain), *Geography (Iranian Journal of the Geographical Association)*. No. 66, pp. 110-127.
 12. Etemadian, G. and Doustan, R. 2016. Spatial analysis of Iranian heat waves, *spatial analysis of environmental hazards*. No. pp. 17-32.
 13. Feridoni, F., Attai, H. and Shahriar, F. 2015. Estimating the Occurrence Probability of Heat Wave Periods Using the Markov Chain Model, *Journal of Sustainable Development*, No. 2. pp. 26-45.
 14. Feridoni, F., H. Attai and F. Shahriar. 2015. Estimating the Occurrence Probability of Heat Wave Periods Using the Markov Chain Model, *Journal of Sustainable Development*. No. 2. 26-45.
 15. Feron, Sarah, R., Cordero, R., Alessdro Damiani, P., Llanillo, J., Jorquera, J., Edgardo sepulveda, V., Asencio, D., Laroze, F., Labbe, J., Carrasco & torres, G. 2019. Observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific reports*. Pp. 1-15.
 16. Fumiaki, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K. and Nakamigawa, H. 2007. Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, *papers in Meterology and Geophysics*, 58.
 17. Ghasemifar, E. and Naserpour, S. 2016. Synoptic analysis of heat and cold waves on the southern shores of the Caspian Sea, *Quarterly Journal of Geographical Information (Sepehr)*. No. 103. pp. 137-146.
 18. Ghavidel Rahimi, Y., Farajzadeh, M., & Ghahremani, B. 2019. Application of Farin values analysis method in climatic hazard of heat waves in the southern half of Iran. *Journal of Spatial Analysis of Environmental*

31. Nazar Seidi, A., Gandhamkar, A. 2019. Investigating the climate changes of Ahvaz city in relation to regional development and urban planning, the journal of new attitudes in human geography. No. 2. pp. 151-170.
32. Omidvar, k., Mahmoud Abadi, M., Olfati, s. and Moradi, Kh. 2016. Investigation of the possibility of heat waves in selected stations of Kermanshah province, Journal of Natural Environment Hazards. No. 10. pp. 1-20.
33. Paravantis, J., Santamouris, M., Constantinou, C., Efthymiou, Ch. and Kontoulis, N. 2017. Mortality Associated with High Ambient Temperatures Heat waves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece, June 2013, *Sustainability*. Pp. 1-22.
34. Rahimi, D. Mir Hashemi, H. and Alizadeh, T. 2016. Analysis of the structure of heat waves in the west and northwest of Iran, *Geography and Environmental Planning*, No. 3, pp. 69-80.
35. Ramamurthy, P. and 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.
36. 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.
37. Salehi, B. and Ghodrati, Z. 2017. Prediction and analysis of heat waves in Zanzan using LARS-WG fine dust and baldness index. *Quarterly Journal of Natural Geography*: No. 40. pp. 35-48.
38. Salehi, B., Qanbaran, A and Ferdowsian, S. 2016. Examining the current situation and compiling climate-compatible design criteria in residential buildings in Ilam city, *Farhang Ilam scientific-promotional quarterly*, No. 56. Pp. 110-117.
39. Thompson, V., Kennedy-Asser, A T, Vosper, E., Eunice Lo, Y. T. Huntingford, Ch., Oliver Andrews, M, Hegerl, G., & Mitchell, D. 2022. The 2021 western North America heat wave among the most extreme events ever recorded globally, *Science Advances*. Pp. 1-10.
40. 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.
41. Yazdanpanah, H. Alizadeh, T. 2012. Estimating the Possibility of Heat Waves with Different Continuity Periods in Kerman Province Using Mark Chains, *Geographical Research Quarterly*. No. 3. pp. 17300-17322.