

مطالعه آماری ویژگی‌های امواج گرمایی کلانشهر اصفهان

مریم قاسمی^۱، محمدباقر عقیده^{۲*}، علیرضا انتظاری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

۲- گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

ایمیل نویسنده مسئول: m.baaghdeh@hsu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۴

چکیده:

این پژوهش، با هدف شناسایی امواج گرمایی کلانشهر اصفهان و بررسی ویژگی‌های فراوانی، تداوم، شدت و بزرگی آن‌ها، انجام گرفته است. داده‌های دمای بیشینه ی روزانه ایستگاه سینوپتیک اصفهان، طی سال‌های (۲۰۲۱-۱۹۷۰) میلادی، از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده و با معیار قرار دادن صدک ۹۰ ام دمای بیشینه، برای فصل و ماه‌های مختلف سال، دوره‌هایی که حداقل سه روز متوالی دمای بیشینه بیشتر از آستانه مورد نظر بودند، به عنوان موج گرمایی شناسایی و ویژگی‌های اصلی آن‌ها بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد؛ دمای بیشینه برای شهر اصفهان، یک روند افزایشی معنادار با نرخ بیش از ۰/۵ درجه افزایش برای هر دهه داشته است. فراوانی رخداد امواج گرمایی در کل دوره آماری مورد مطالعه، روند افزایشی معنی‌دار داشته است و بالاترین فراوانی مربوط به فصل بهار با ۶۱ مورد، رخداد موج گرمایی بوده است. در تمامی فصول یک روند افزایشی معنادار در تداوم موج‌های گرمایی ثبت شده است. در بررسی شدت موج‌ها، به ازای هر دهه در فصل بهار، روند افزایشی معادل ۰/۱۴ درجه، فصل تابستان ۰/۴۶ درجه، فصل پاییز، معادل ۰/۲ درجه و فصل زمستان ۰/۳۵ درجه ثبت شده است، که بر اساس نتایج آزمون من‌کندال، این روند افزایشی برای تمامی فصول به جز تابستان، معنادار بوده است. میانگین بزرگی امواج ثبت شده برای فصل‌های بهار، تابستان و پاییز تفاوت معناداری را نشان نمی‌دهند و عدد بزرگی حدود ۱۰ بوده است. این شاخص برای فصل زمستان، کمترین مقدار خود (۷/۵) را داشته است. به طور کلی در سال‌های آماری مورد مطالعه، در تمامی فصول، شاخص میانگین بزرگی امواج گرمایی روند افزایشی داشته است.

کلمات کلیدی

"موج گرما"، "بزرگی"، "تداوم"، "اصفهان"

۱- مقدمه:

گرما را به عنوان نوسان‌های مثبت یا فرین‌های بالای میانگین دماهای بیشینه روزانه در نظر گرفت؛ که در طی روزها و گاه هفته‌های متوالی استمرار زمانی دارند (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۴). بیشتر تعاریف ارائه شده، موج‌های گرما را با توجه به روش‌های آماری و ریاضی مشخص می‌کنند (کاشکی و همکاران، ۱۳۹۸). به عنوان مثال موج گرما بر اساس انحراف از میانگین روزانه دما (Rafael et al., ۲۰۰۹)؛ افزایش دما همراه با کاهش بارش (Karel and Kovail, ۱۹۸۱) و روش صدک‌ها برای تمام مشاهدات (Kovats and Ebi, ۲۰۰۶) تعریف گردیده است. به نظر می‌رسد که در هر منطقه جغرافیایی بر اساس ویژگی‌های محیطی و اقلیمی آن، می‌توان آستانه‌های دمایی معینی را برای تعریف موج گرما لحاظ نمود (اسماعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). عموماً موج گرمایی به دوره‌های شدید گرما اطلاق می‌شود؛ که بیش

امواج گرمایی، یکی از پدیده‌های طبیعی اقلیم در مناطق مختلف جهان می‌باشند، که در نتیجه نوسانات آب و هوایی کره زمین در سال‌های اخیر افزایش یافته است؛ که اثرات منفی بر روی کشاورزی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، منابع آبی، مصارف انرژی و سلامت انسان دارد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). تعریف جامع و روشنی از موج گرما در سطح جهان وجود ندارد (McMichael et al., ۲۰۰۳ and Robinson, ۲۰۰۱) به گونه‌ای که حتی سازمان جهانی هواشناسی نتوانسته است؛ تعریف جامعی از امواج گرما ارائه دهد. (Kysely, ۲۰۰۲). موج گرمایی در موقعیت‌های مختلف متغیر بوده و معیار مشخصی برای آن تعریف نشده است (Souch and Grimmond, ۲۰۰۴). از طرفی ویژگی‌ها و شدت امواج گرمایی نیز در هر مکان متغیرند (Rafael et al., ۲۰۰۹). اما به صورت کلی می‌توان موج

مجرد و همکاران (۱۳۹۴)، به بررسی دماهای بالای ۴۰ درجه سلسیوس و شناسایی الگوهای همدید ایجاد کننده آن‌ها در غرب کشور پرداخته و دو الگوی کلی برای ایجاد امواج گرمایی در منطقه تشخیص دادند. الماسی و همکاران (۱۳۹۵)، در پژوهشی با واکاوی موج‌های گرمایی شهر اهواز دریافتند؛ که امواج گرمایی کوتاه مدت بسامد رخداد بیشتری داشته و بیشتر امواج تداوم سه و چهار روزه داشتند. کاشکی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی به بررسی ویژگی‌ها ی آماری، (تداوم، شدت و فراوانی) موج‌های گرمایی شهرستان زابل پرداختند. با استفاده از آستانه دمایی صدک ۹۵ ام بلند مدت هر روز اقلیمی سال، روزهایی که حداقل ۳ روز یا بیشتر دمای متوسط روزانه آن از صدک ۹۵ آن بیشتر بود؛ موج گرمایی تلقی شد. طبق نتایج، فراوانی فرین‌های گرم و امواج گرمایی این شهرستان در سال‌های اخیر همزمان با گرمایش زمین رو به افزایش است. رضایی و همکاران (۱۳۹۸)، برای شبیه سازی آستانه دمایی موج گرما طی دوره گرم سال، در مطالعات خود بر اساس ۳ شاخص جهانی صدک ۹۵ بالدی سازمان هواشناسی جهانی، آستانه دمایی موج گرما در مناطق مختلف استفاده کردند. طبق نتایج؛ طی سال‌های آتی حد پایین آستانه دمایی در فصل بهار، نسبت به وضع موجود تقریباً ۵ درجه افزایش یافته است. مرز پهنه‌های آستانه دمایی نیز تغییر محسوسی می‌یابد. در شرایط حاضر، در تابستان قسمت زیادی از کشور دارای آستانه بین ۴۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس می‌باشد و ولی در ۳۰ ساله آینده با توجه به افزایش دما، این رنج به ۴۰-۴۵ می‌رسد و تقریباً ۷۰ درصد کشور، آستانه بالای ۴۰ درجه را تجربه می‌کند. بهاروندی و همکاران (۱۳۹۹)، با استفاده از شاخص روزانه بزرگی موج گرما دریافتند؛ که تعداد و بزرگی امواج گرمایی در کشور به شکل معنی‌داری در حال افزایش است. بیش‌ترین افزایش تعداد متعلق به تابستان و افزایش بزرگی متعلق به زمستان است. خسروی و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به بررسی آماری هم‌دید موج‌های گرمایی کم تداوم ایران پرداختند. یافته‌ها نشان داد؛ که بسامد رخداد امواج گرمایی در ایران زمین رو به افزایش است. علاوه بر افزایش بسامد، ماندگاری و شدت امواج گرمایی نیز افزایش یافته است. از لحاظ پراکنش مکانی، نوع و نرخ روند بر روی مناطق مختلف هم اندازه و یکسان نیست.

از ۵ روز دوام داشته باشد و دما ۵ درجه از حالت نرمال بیشتر باشد و نیز برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها ایجاد بحران کند (Tosic and Unkasevic, ۲۰۰۹) به عبارتی دیگر گرمایش شدید هوا یا حاکمیت و تهاجم هوای بسیار گرم در ناحیه‌ای وسیع را موج گرما می‌نامند (Kotlyakov and Komarov, ۲۰۰۷). با نگاهی به تعاریفی که توسط پژوهشگران، مؤسسات و مراکز پژوهشی از موج گرما ارائه شده است؛ متوجه می‌شویم که اختلاف اساسی آن‌ها بر سر تعریف دو واژه‌ی موج و گرما بوده است. واژه‌ی موج به نوعی بیانگر دوام پدیده است که با عدد بیان شده است. دوام، یکی از ویژگی‌های اصلی و ذاتی موج گرماست که در تمام تعاریف موج گرما آشکار است. گرما نیز یا به صورت عدد (آستانه‌ی عددی) یا به صورت صدک (آستانه‌ی صدکی) که در نهایت بر پایه‌ی عدد نمود پیدا کرده، بیان شده است (دارند، ۱۳۹۳). مطالعات با محور بررسی امواج گرما در ایران بسیار متنوع بوده است. تقوی (۱۳۸۹)، در مطالعه‌ی آماری رویدادهای فرین اقلیمی مثل خشکسالی یا دماهای فرین که امواج گرمایی را نیز شامل می‌شود؛ مورد تحلیل قرار داده و افزایش فراوانی رویدادهای حدی اقلیمی مانند خشکسالی و طولانی شدن امواج گرما در اکثر نواحی اقلیمی ایران را به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم مورد تأیید قرار داده است. نتایج پژوهش قویدل رحیمی (۱۳۹۰)، نشان داد؛ وجود یک کم فشار حرارتی بر روی شبه جزیره عربستان و اثرات ناشی از تسری و فعالیت و مهاجرت کم‌فشار مذکور به سمت ایران، عامل اصلی گرمایش و گسیل موج ابر گرم در دوره‌ی زمانی تیر ماه ۱۳۸۹ بوده است. یزدان‌پناه (۱۳۹۰)، در پژوهشی به بررسی وقوع امواج گرمایی با تداوم‌های مختلف در استان کرمان پرداخته و نتیجه گرفته که بیشترین موج گرمایی رخ داده در ماه آوریل و می بوده است؛ که این تغییرات روندی افزایشی در طول دوره آماری داشته‌اند. عزیزی و همکاران و یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۹۱)، با تحلیل زمانی - مکانی امواج گرمایی در ایران نشان دادند؛ نه تنها تعداد امواج گرمایی افزایش یافته، بلکه ماندگاری آن‌ها نیز روند مثبتی را نشان می‌دهد. اسمعیل‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)، در پژوهشی به شناسایی موج‌های گرمایی ایران پرداختند. نتایج نشان داد؛ که امواج گرمایی کوتاه تداوم بیشتری دارند و کانون بیشینه امواج ماهانه پایان زمستان است.

طبق مطالعات قبلی، وجود تعداد زیاد امواج گرمایی در فصل سرد سال در شهر اصفهان، بیانگر کاهش فصل سرد و افزایش دوره گرم سال است، که هشدار برای کشاورزان و باغداران منطقه می‌باشد؛ زیرا گرمای زودرس از مهم‌ترین مخاطرات آب و هوایی برای آنها می‌باشد (پنجه‌پور، ۱۳۹۳). طبق توضیحات ارائه شده و با توجه به پیامدهای زیست محیطی ناگواری که رخدادهای فرین‌های اقلیمی همچون موج گرمایی به دنبال دارند، ضرورت پژوهش در این زمینه محسوس‌تر می‌شود. بخصوص اینکه پژوهش‌های پیشین در این رابطه، اکثراً نگاه تک بعدی داشته و همه ویژگی‌های امواج گرما را در کنار هم بررسی نکرده‌اند. در پژوهش حاضر، تلاش شده است؛ ضمن شناسایی امواج گرمایی کلانشهر اصفهان ویژگی‌های فراوانی، روند، شدت، بزرگی و تداوم موج‌های گرمایی در بازه‌های فصلی و ماهانه بررسی گردند.

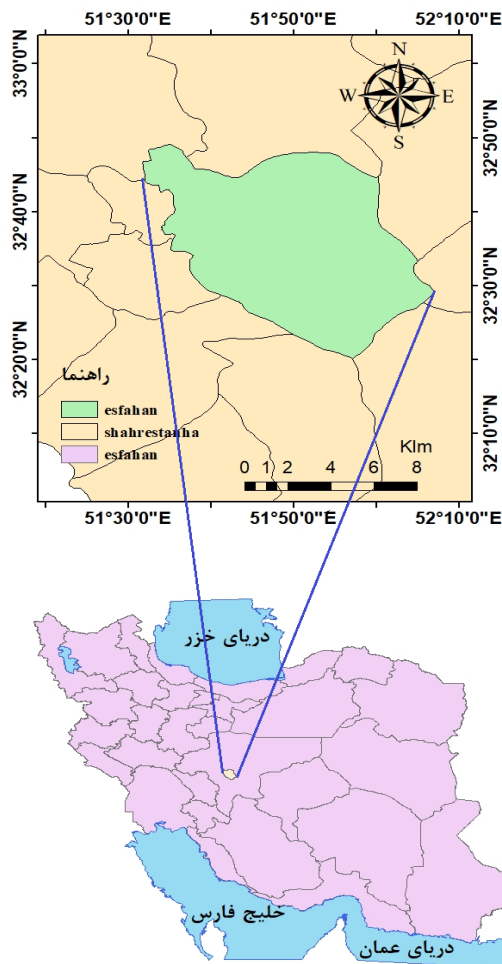
۲- روش انجام تحقیق:

در این پژوهش، برای شناسایی امواج گرمایی اصفهان، از داده‌های اقلیمی، دمای بیشینه‌ی روزانه ایستگاه سینوپتیک اصفهان، استفاده شد؛ که برای یک بازه‌ی زمانی ۵۲ ساله، طی سال‌های (۲۰۲۱-۱۹۷۰) میلادی، از سایت هواشناسی کشور اخذ گردید. شناسایی موج‌های گرمایی مبتنی بر صدک نودام، انجام گرفت. به این ترتیب که با لحاظ کردن آستانه‌های مربوط به هر فصل و ماه، دوره‌هایی که حداقل سه روز متوالی دمای بیشینه بیشتر از آستانه مورد نظر (صدک نودام) بود، به عنوان موج گرمایی در نظر گرفته شدند. در گام بعد، فراوانی امواج گرمایی برای فصل‌ها و ماه‌های مختلف بررسی شدند و با در نظر گرفتن اختلاف آستانه صدک ۹۰ و میانگین دمای موج گرمایی، شدت هر یک از امواج گرمایی نیز محاسبه شد و روند تغییرات آن در مقیاس ماه و فصل بررسی گردید. در مرحله بعد، تداوم هر یک از امواج شناسایی شده، برای ماه‌ها و فصول مختلف بررسی شدند؛ در این مسیر میانگین تداوم و بالاترین تداوم امواج گرمایی و روند تغییرات آن‌ها در طول دوره آماری ارزیابی شدند. در این تحقیق، از شاخص روزانه بزرگی موج گرما (HWMI)، استفاده شده است؛ که در آن علاوه بر شدت موج گرما، طول موج نیز در نظر گرفته می‌شود. محاسبه HWMI، برای یک سال خاص، یک

پژوهش‌های بسیار زیادی بر روی امواج گرمایی در سراسر مناطق جهان انجام شده است. باروس، اولین کسی بود، که مطالعات خود را از اواخر قرن ۱۹ در زمینه‌ی امواج گرمایی شروع کرد. وی بیان داشت؛ موج گرما دوره‌ای است که دمای هوا ۹۰ درجه فارنهایت بوده و دستکم سه روز تداوم داشته باشد، همچنین توزیع رطوبت در اتمسفر شرایط ناخوشایندی را ایجاد نماید. در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در مناطق مختلف جهان درباره‌ی امواج گرمایی صورت گرفته است. Pongracz et al., ۲۰۱۳، در تجزیه و تحلیل تغییرات پیش‌بینی شده در بروز موج گرما در مجارستان، Cowan et al., ۲۰۱۴ در استرالیا؛ Russo et al., ۲۰۱۴ در آفریقا، با استفاده از شاخص روزانه بزرگی موج گرما HWMI و Yan et al., ۲۰۱۷ در بررسی زمانی- مکانی امواج گرما در چین، همگی به این نتیجه رسیدند؛ که دماهای بیشینه در دهه‌های اخیر افزایش پیدا کرده و امواج گرمایی، شدیدتر، طولانی‌تر و بیشتر شده‌اند و نیز امواج گرمایی شدیدتری در آینده اتفاق خواهد افتاد.

Cowan et al., ۲۰۱۴ با مدل‌های اقلیمی به کارگرفته در استرالیا نشان دادند؛ که فراوانی و دوره‌ی تداوم موج‌های گرمایی زمستانه نسبت به موج‌های گرمایی تابستانه بیشتر خواهد بود؛ همچنین در اواخر قرن بیست و یکم، میزان ناهنجاری‌های دمایی گرم‌ترین رخدادها در هر دو فصل تابستان و زمستان افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهند داشت. Russo et al., ۲۰۱۴، در مطالعه بزرگی امواج گرمای شدید در شرایط آب و هوایی کنونی و طرح‌ریزی آن‌ها برای یک جهان در حال گرم شدن شاخص جدیدی را به نام شاخص شدت موج گرما (HWMI) معرفی کردند؛ که می‌تواند کار مقایسه را در مکان‌ها و زمان‌های مختلف انجام دهد. Zampieri et al., ۲۰۱۶، در ارزیابی و برآورد جهانی بزرگی امواج گرما و پیامدهای آن بر روی آبدهی رودخانه‌ها در رشته کوه‌های آلپ، دریافتند که در دهه‌های اخیر درصد مساحت جهانی تحت پوشش امواج گرما نسبت به اوایل قرن بیستم تقریباً سه برابر شده است. نتایج کار Dosio, ۲۰۱۷ نشان داد که دما در مناطق مختلف آفریقا در آینده ۵/۳ تا ۶ درجه گرم‌تر خواهد شد و تعداد روزهای گرم افزایش خواهد یافت. یکی از مخاطرات آب و هوایی که در دهه‌های اخیر، در شهر اصفهان شایع شده است؛ نفوذ امواج گرمایی می‌باشد.

شهرضا و از غرب به شهرستان های خمینی شهر، مبارکه و فلاورجان محدود می شود (اداره کل هواشناسی استان اصفهان، ۱۳۹۴). شهر اصفهان، در نیمه بیابانی و در مرکز ایران قرار گرفته است. اقلیم آن در شرق و شمال از مناطق کویری تاثیر پذیرفته، ولی در جنوب به علت وجود کوه صفا هوای خنک تری دارد. (پنجه پور، ۱۳۹۳).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

۳- نتایج:

بررسی تغییرات پارامترهای آب و هوایی در طول دوره آماری، با استفاده از مدل رگرسیون خطی انجام شد. نتیجه این بررسی نشان داد؛ دمای بیشینه برای شهر اصفهان یک روند افزایشی معنادار با نرخ بیش از ۰/۵ درجه افزایش برای هر دهه داشته است (شکل ۲).

فرایند چند مرحله ای است؛ در ابتدا با استفاده از صدک نود ام داده ها، آستانه دمایی روزانه برای دوره مرجع، که در این پژوهش سال های (۱۹۷۰-۲۰۲۱ م) می باشد، تعیین و سپس، بزرگی شاخص HWMI با استفاده از مجموع بزرگی روزهای متوالی تشکیل دهنده یک موج گرمایی محاسبه می شود. مقدار بزرگی در هر روز با رابطه (۱) محاسبه می شود:

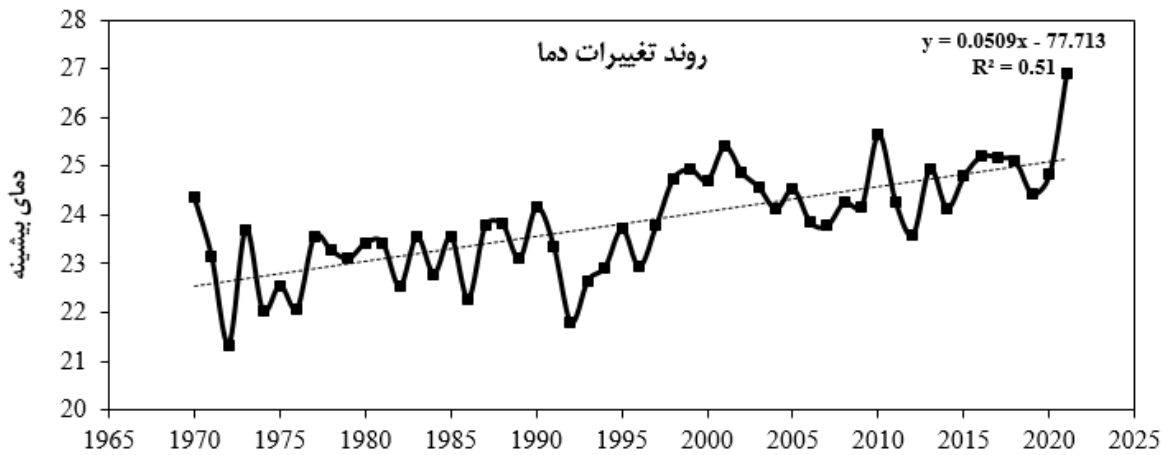
رابطه (۱):

$$M_d(T_d) = \begin{cases} \frac{T_d - T_{30y25p}}{T_{30y75p} - T_{30y25p}} & \text{if } T_d > T_{30y25p} \\ 0 & \text{if } T_d \leq T_{30y25p} \end{cases}$$

که در آن T_d دمای حداکثر روزانه در روز d موج گرمایی و T_{30y25p} و T_{30y75p} به ترتیب صدک های ۲۵ ام و ۷۵ ام سری های زمانی ۵۲ ساله ی دمای حداکثر در دوره مرجع (۱۹۷۰ تا ۲۰۲۱) هستند. مقدار $M_d(T_d)$ در هر مکان خاص، بر اساس مقادیر T_{30y25p} و T_{30y75p} مشخص می شود. استخراج امواج در هر فصل، بر اساس آستانه صدکی جداگانه آن فصل، انجام شده است. مقادیر سالانه نیز از مقادیر فصلی به دست آمده است. بدین ترتیب که جمع تعداد امواج فصول، مشخص کننده تعداد امواج سالانه و میانگین بزرگی تمام امواج فصول، مشخص کننده میانگین بزرگی امواج سالانه هر ایستگاه است. بزرگی هر موج گرمایی، مجموع ارقام بزرگی تمام روزهای آن موج است. همچنین بزرگ ترین موج هر سال، به عنوان موج شاخص آن سال و بزرگ ترین موج هر فصل به عنوان موج شاخص آن فصل در نظر گرفته می شود (Russo et al., ۲۰۱۴).

• محدوده مورد مطالعه:

شهر اصفهان، مرکز استان اصفهان در ۴۳۵ کیلومتری تهران واقع شده و از شرق به شهرستان نائین، از جانب شمال به شهرستان اردستان، از جنوب به شهرستان



شکل ۲- تغییرات دمای بیشینه ایستگاه اصفهان (۱۹۷۰-۲۰۲۱).

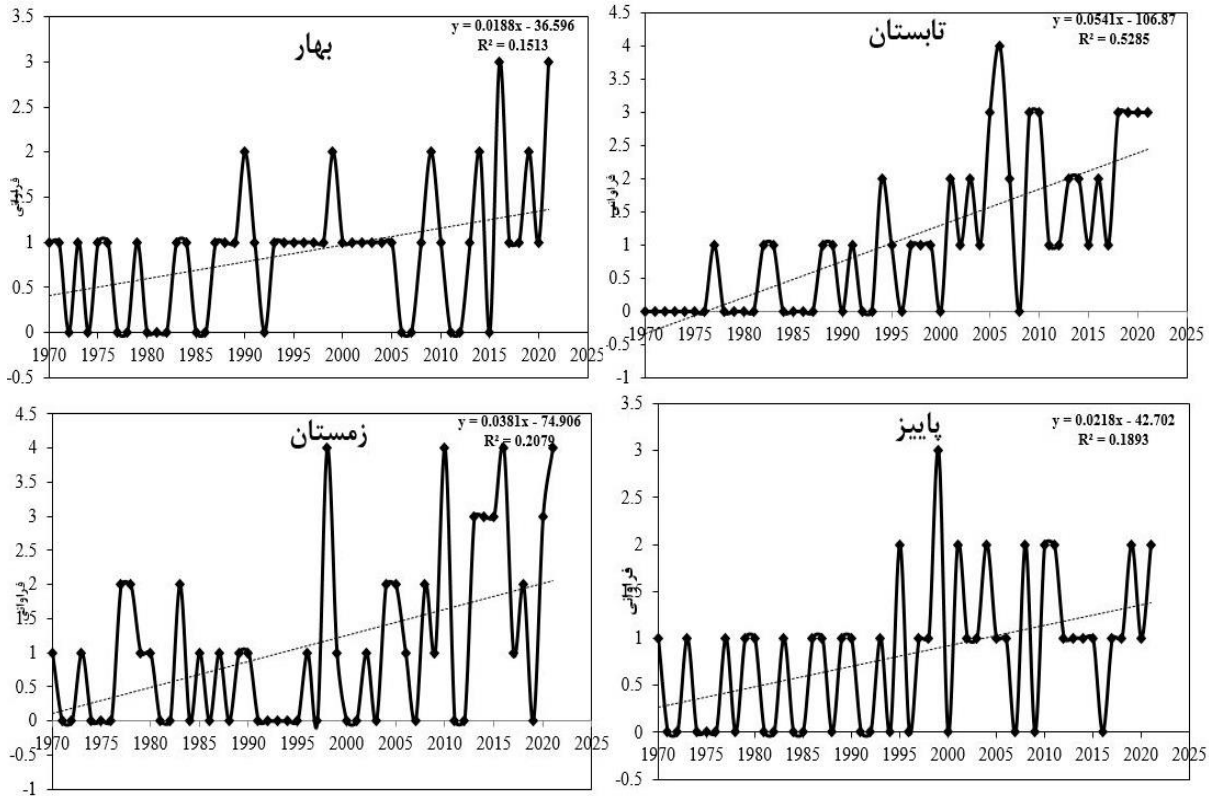
بررسی فصلی فراوانی موج های گرمایی:

به لحاظ نقش اصلی فراسنج دمای بیشینه، در برآورد امواج گرمایی، صدک ۹۰ از این فراسنج (دمای بیشینه) به عنوان آستانه شناسایی امواج گرمایی در نظر گرفته شده است. جدول (۱)، صدک های ۵ تا ۹۵ را برای فراسنج دمایی دمای بیشینه، در مقیاس فصلی نشان می دهد. این آستانه برای فصل بهار ۳۱ درجه، فصل تابستان، با مقدار ۳۹/۲ درجه

بالاترین آستانه بوده، فصل پاییز ۲۸/۴ درجه سانتی گراد و فصل زمستان، ۱۶/۶ درجه تعیین شد. بررسی روند فراوانی امواج هر چهار فصل سال، نشان می دهد؛ رخداد امواج گرمایی در کل دوره آماری مورد مطالعه روند افزایشی دارد. معناداری این روند براساس خروجی آزمون من کندانل مورد تایید قرار گرفته است (جدول ۲).

جدول ۱- صدک ۵ تا ۹۵ دمای بیشینه به تفکیک فصل (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

پارامتر	صدک	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۹۰	۹۵
دمای بیشینه	بهار	۱۳	۱۵	۱۹	۲۳/۲۰	۲۷/۸۰	۳۱	۳۲/۳۷
	تابستان	۳۱	۳۲/۴۰	۳۴/۳۰	۳۶	۳۷/۸۰	۳۹/۲۰	۴۰
	پاییز	۱۲	۱۳/۸۰	۱۷	۲۱/۸	۲۴/۴۵	۲۸/۴۰	۲۹/۶۰
	زمستان	۳/۵۸	۵/۵۰	۷/۵۰	۱۱/۴۰	۱۴/۴۰	۱۶/۶۰	۱۸



شکل ۳- تغییرات در بالاترین تداوم امواج گرمایی به تفکیک فصل (۱۹۷۰-۲۰۲۱).

شکل زیر، فراوانی رخداد امواج گرمایی به تفکیک فصل را نشان می‌دهد. بالاترین فراوانی مربوط به فصل بهار، با ۶۱ مورد رخداد موج گرمایی بوده است. فصل پاییز با تنها ۴۳

موج در طول دوره آماری، کمترین فراوانی موج‌های گرمایی را داشته است.



شکل ۴- فراوانی رخداد امواج گرمایی به تفکیک فصل (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

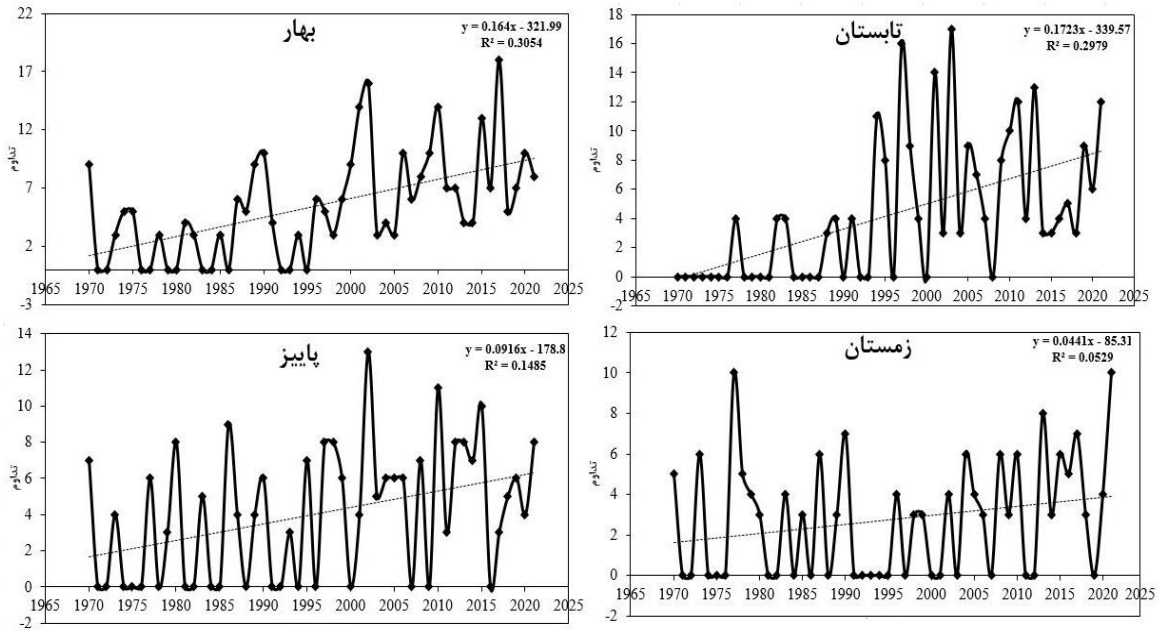
جدول ۲- خروجی آزمون من کندال در بررسی روند ویژگی‌های امواج گرمایی

زمستان		پاییز		تابستان		بهار		ویژگی موج گرما
Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	
۲/۷۳	۰	۳/۱۲	۰	۵/۶۷	۰	۲/۸۳	۰	فراوانی موج گرما
۳/۶۸	۰	۲/۴۰	۰	۰/۷۳	۰/۲۳	۱/۶۶	۰/۰۴	شدت موج گرما
۱/۲۶	۰/۱۰	۲/۵۵	۰	۴/۲۲	۰	۴/۳۲	۰	میانگین تداوم
۱/۶۷	۰/۰۴	۲/۷۳	۰	۴/۴۲	۰	۴/۲۷	۰	بالاترین تداوم
۱/۶۶	۰/۰۴	۲/۷۵	۰	۴/۲۷	۰	۴/۲۹	۰	میانگین بزرگی
۲/۱۳	۰/۰۱	۳/۰۲	۰	۴/۳۹	۰	۴/۲۱	۰	بالاترین بزرگی

بررسی فصلی تداوم موج‌های گرمایی:

گرمایی با تداوم بیشتر از ۵ روز، افزایش محسوسی داشته است. بالاترین تداوم فصل پاییز در طی سال‌های مورد مطالعه، با تداوم ۱۳ روز برای سال ۲۰۰۲ ثبت شده که بالاترین تداوم امواج گرمایی در کل دوره آماری محسوب می‌شود. در فصل زمستان، بالاترین تداوم دو موج با تداوم ۱۰ روز بوده که یکی در سال ۱۹۷۷ و دیگری در سال ۲۰۲۱ رخ داده است. به طور کلی، با گذشت سال‌ها طی دوره آماری در تمامی فصول، یک روند افزایشی معنادار در تداوم موج‌های گرمایی ثبت شده است؛ که نتایج آزمون من کندال معناداری این روند را تایید می‌کند (جدول ۲).

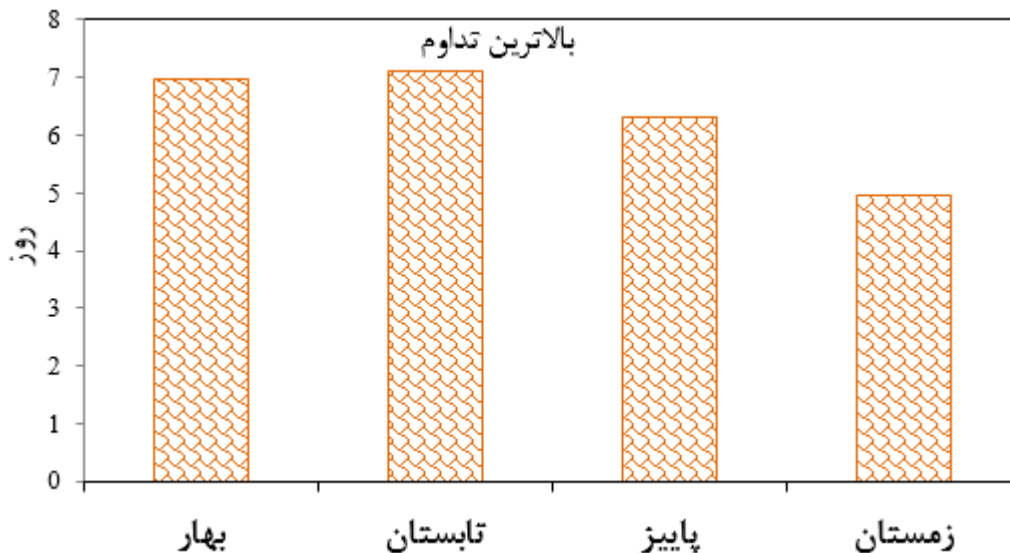
شکل (۵)، تغییرات در بالاترین تداوم امواج گرمایی به تفکیک فصل را نشان می‌دهد؛ در فصول بهار و تابستان، در دهه‌های اول دوره آماری تداوم‌های کمتر از ۵ روز غالب بوده‌اند، اما از اواسط دهه ۹۰ رخدادهای امواج گرمایی در تداوم‌های بالاتری اتفاق افتاده‌اند؛ که بالاترین تداوم در فصل بهار با ۱۸ روز برای سال ۲۰۱۷ و بالاترین رخداد موج گرمایی فصل تابستان در سال ۲۰۰۳ با تداوم ۱۷ روز ثبت شده است. در فصل پاییز، در سال ۱۹۷۰ اولین سال دوره آماری، یک تداوم ۷ روزه و یک دهه بعد در سال ۱۹۸۰ تداوم ۸ روز و در سال ۱۹۸۶ تداوم‌های ۹ روز اتفاق افتاده است، اما از میانه دهه ۹۰ است که وقوع امواج



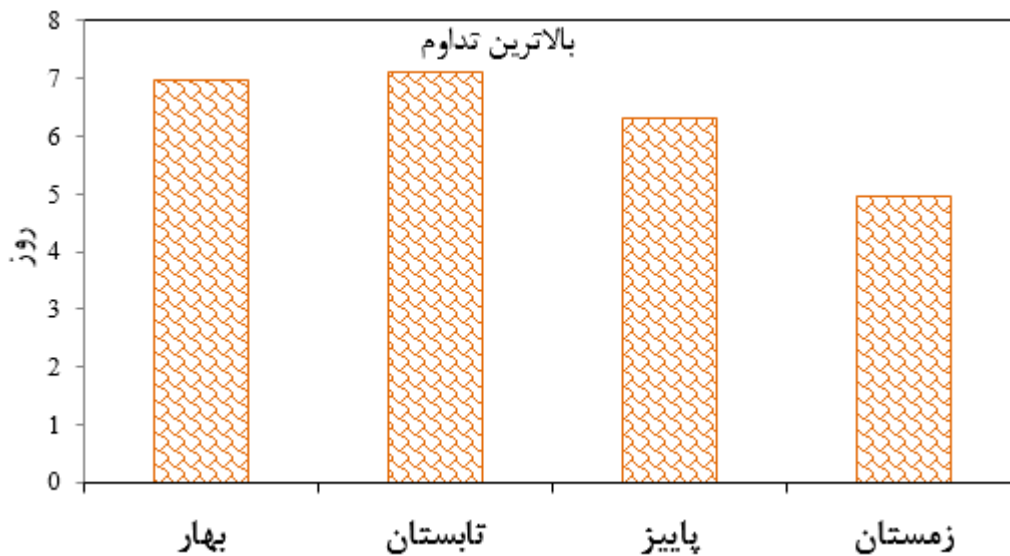
شکل (۵) تغییرات در بالاترین تداوم امواج گرمایی به تفکیک فصل (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

در شکل (۶)، میانگین تداوم در طول دوره آماری برای هر فصل نشان داده شده است، فصل بهار تابستان و پاییز اختلاف چندانی در میانگین تداوم امواج گرمایی نداشته اند؛ به گونه‌ای که برای این سه فصل امواج گرمایی به طور میانگین ۶ روز تداوم داشتند؛ اما برای فصل پاییز، کمترین میانگین تداوم با ۴/۳۵ روز ثبت شده است. بیشترین تداوم ثبت شده برای رخدادهای امواج گرمایی برای فصل بهار و تابستان، به ترتیب با ۱۸ و ۱۷ روز بوده است. بالاترین تداوم فصل پاییز هم ۱۳ روز و برای فصل زمستان تنها ۱۰ روز برآورد شده است (شکل ۷).

در شکل (۶)، میانگین تداوم در طول دوره آماری برای هر فصل نشان داده شده است، فصل بهار تابستان و پاییز اختلاف چندانی در میانگین تداوم امواج گرمایی نداشته اند؛ به گونه‌ای که برای این سه فصل امواج گرمایی به طور میانگین ۶ روز تداوم داشتند؛ اما برای فصل پاییز، کمترین میانگین تداوم با ۴/۳۵ روز ثبت شده است. بیشترین تداوم ثبت شده برای رخدادهای امواج گرمایی برای فصل بهار و تابستان، به ترتیب با ۱۸ و ۱۷ روز بوده است. بالاترین تداوم فصل پاییز هم ۱۳ روز و برای فصل زمستان تنها ۱۰ روز برآورد شده است (شکل ۷).



شکل ۶- میانگین تداوم امواج گرمایی به تفکیک فصل (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

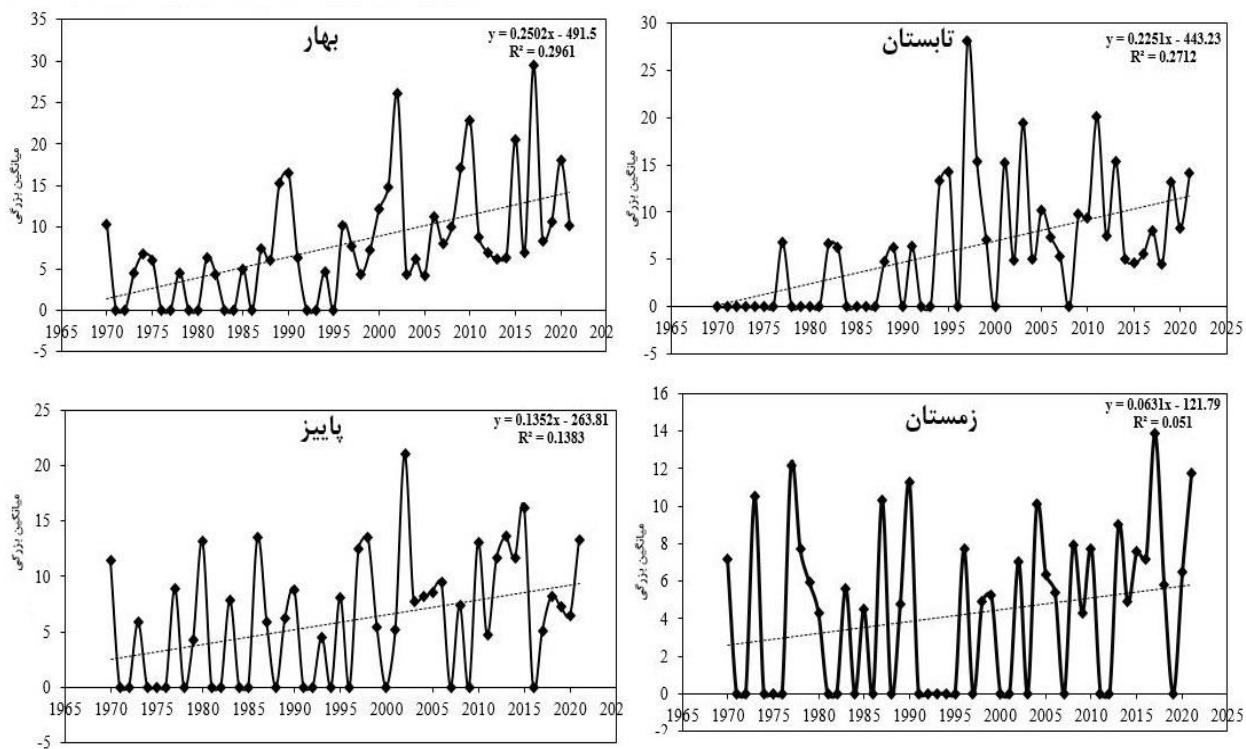


شکل ۷- بالاترین تداوم امواج گرمایی به تفکیک فصل (۲۰۲۱-۱۹۷۰)

بررسی فصلی میانگین بزرگی موج‌های گرمایی:

مانند دو فصل قبلی از اواخر دهه ۹۰ بیشتر امواج گرمایی اتفاق افتاده از بزرگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده، که با روند تغییرات در تداوم‌ها همخوانی دارد. بالاترین میانگین بزرگی این فصل، در سال ۲۰۰۲ با بزرگی ۲۱/۰۵ رخ داده است. بالاترین مقدار میانگین بزرگی موج در فصل زمستان، در سال ۲۰۱۷ با بزرگی ۱۳/۸۸ رخ داده است. به طور کلی در سال‌های آماری مورد مطالعه، در تمامی فصول، شاخص میانگین بزرگی امواج گرمایی روند افزایشی داشته است و نتایج شاخص من‌کندال که در جدول (۲) آمده، تاییدی بر درستی این مطلب است.

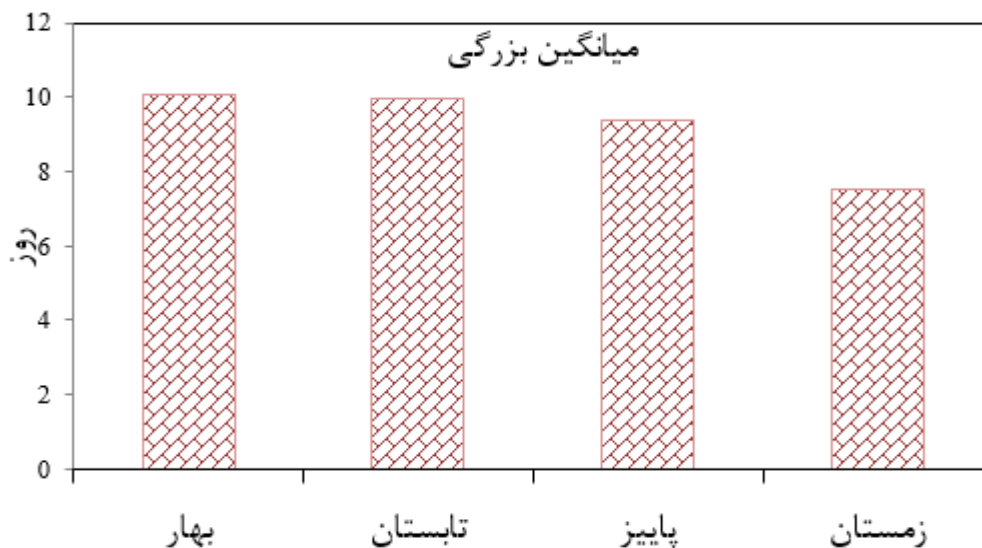
شکل (۸)، میانگین بزرگی امواج گرمایی فصول سال در کل دوره آماری مورد مطالعه را نشان می‌دهند، این نمودارها براساس شاخص بزرگی محاسبه شده برای هر موج گرما و سپس محاسبه میانگین، ترسیم شده است. همسو با روند تغییرات در تداوم‌ها، برای شاخص بزرگی نیز در اواخر دهه ۹۰ میلادی نسبت به شروع دوره آماری، روند افزایشی قابل توجهی اتفاق افتاده است. نمونه‌های بارز آن در فصل بهار، بزرگی ۲۹/۵۴ در سال ۲۰۱۷ میلادی، در فصل تابستان، بزرگی ۲۸/۰۵ در سال ۱۹۷۷ میلادی، بالاترین مقدار میانگین بزرگی می‌باشد، که در این فصول ثبت شده است. نمودار میانگین بزرگی فصل پاییز، نشان می‌دهد،



شکل ۸- تغییرات میانگین بزرگی امواج گرمایی به تفکیک فصل (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

نمی‌دهند و عدد بزرگی حدود ۱۰ بوده است. این شاخص برای فصل زمستان، کمترین مقدار خود (۷/۵) را داشته است.

پس از محاسبه بزرگی، برای هر یک از رخدادها موج گرما میانگین بزرگی امواج ثبت شده به تفکیک فصول محاسبه و در شکل (۹) قابل مقایسه هستند. از این نظر فصل های بهار، تابستان و پاییز تفاوت معناداری را نشان



شکل ۹- میانگین بزرگی امواج گرمایی به تفکیک فصل (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

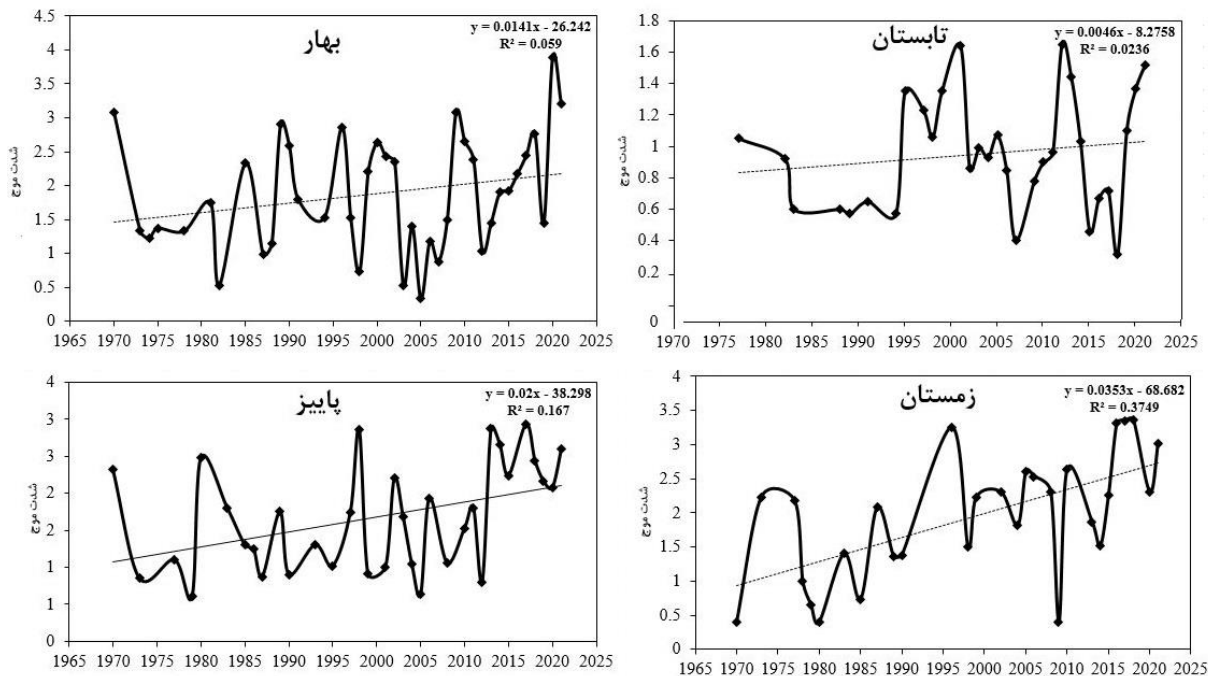
بررسی فصلی شدت موج‌های گرمایی:

به بهار با شدت ۳/۸۸ در سال ۲۰۲۰، فصل تابستان در سال ۲۰۱۲ با شدت ۱/۶۵، فصل پاییز با شدت ۲/۹۳ در سال ۲۰۱۷، رخ داده است. شدیدترین موج‌های گرمایی

شکل (۱۰)، تغییرات شاخص شدت موج‌های گرمایی، تمامی فصول در طول دوره آماری، سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۱ میلادی را نشان می‌دهد. شدیدترین موج گرمایی، مربوط

مربوط به فصل زمستان، در سه سال پیاپی در فاصله سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ میلادی، رخ داده که شدت این سه موج، به ترتیب ۳/۳۱، ۳/۳۵ و ۳/۳۶ بوده است؛ که موج سال ۲۰۱۸ از بقیه شدیدتر بوده است. به ازای هر دهه برای شدت موج‌ها، در فصل بهار، روند افزایشی معادل

مربوط به فصل زمستان، در سه سال پیاپی در فاصله سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ میلادی، رخ داده که شدت این سه موج، به ترتیب ۳/۳۱، ۳/۳۵ و ۳/۳۶ بوده است؛ که موج سال ۲۰۱۸ از بقیه شدیدتر بوده است. به ازای هر دهه برای شدت موج‌ها، در فصل بهار، روند افزایشی معادل



شکل ۱۰- تغییرات در شدت امواج گرمایی به تفکیک فصل (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

بررسی ویژگی‌های موج‌های گرمایی - ماهانه:

گرمایی مدنظر بوده است؛ بر این اساس بالاترین آستانه برای ماه جولای ۴۰ درجه و پایین‌ترین آن برای ماه ژانویه ۱۵ درجه بوده است.

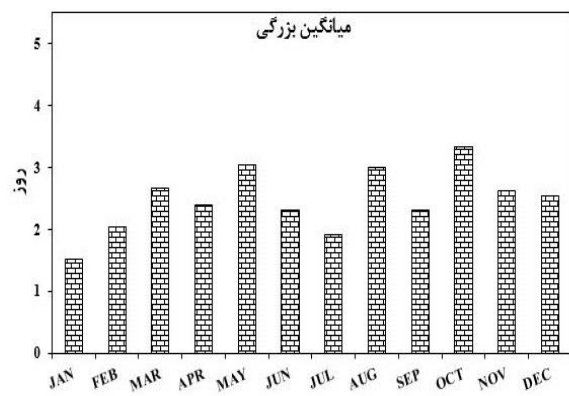
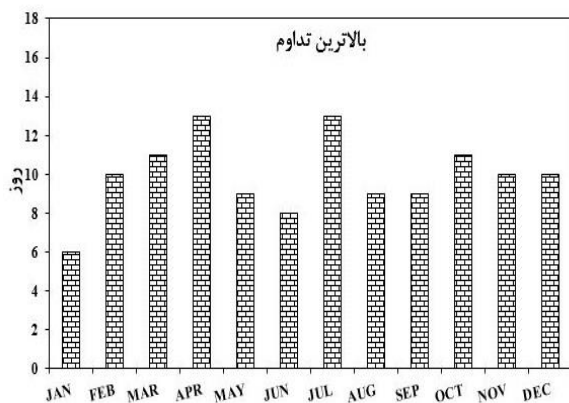
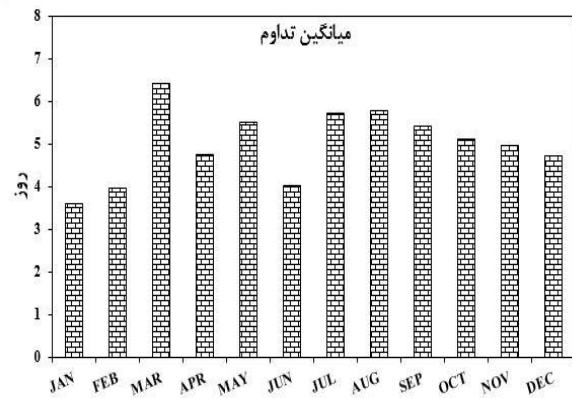
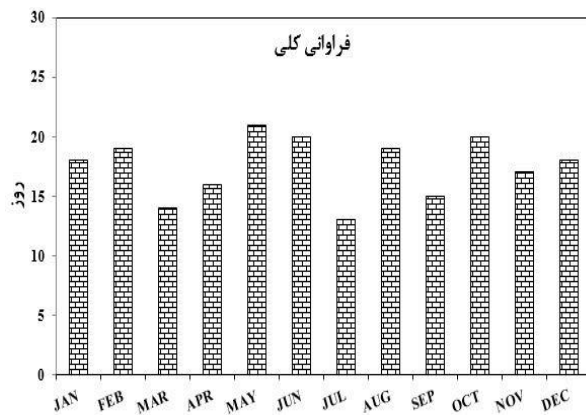
در جدول (۳)، صدک‌های مختلف برای فراسنج‌های آب و هوایی ایستگاه مورد مطالعه، در مقیاس ماهانه محاسبه و نشان داده شده است؛ که در این بین صدک ۹۰ ام فراسنج دمای بیشینه به عنوان آستانه شناسایی امواج

جدول ۳- صدک ۵ تا ۹۵ دمای بیشینه به تفکیک ماه (۱۹۷۰-۲۰۲۱)

پارامتر	صدک	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۹۰	۹۵
دمای بیشینه	Jan	۲	۴	۷	۱۰	۱۲/۵	۱۵	۱۶/۶
	Feb	۵/۵۱	۷/۴	۱۰/۲	۱۳	۱۶	۱۸	۱۹
	Mar	۱۱	۱۲	۱۵	۱۷/۸	۲۰/۴	۲۲/۸	۲۴
	Apr	۱۶/۶۰	۱۸/۲	۲۰/۸	۲۳/۲	۲۶	۲۸	۲۹
	Mav	۲۲/۰۱	۲۴	۲۶/۶	۲۹	۳۱/۴	۳۳	۳۴/۲
	Jun	۳۰	۳۱	۳۳	۳۵	۳۶/۶	۳۸/۲	۳۹
	Jul	۳۳	۳۴	۳۵/۵	۳۷	۳۹	۴۰	۴۰/۶
	Agu	۳۲	۳۳	۳۴/۵	۳۶	۳۷/۲	۳۸/۶	۳۹/۲
	sSep	۲۷	۲۸	۳۰/۲	۳۲/۲	۳۴	۳۵/۲	۳۶
	Oct	۱۹/۲	۲۱	۲۳	۲۵/۲	۲۷	۲۹/۶	۳۰/۶
	Nov	۱۰/۲	۱۲	۱۴/۶	۱۷	۲۰	۲۲/۴	۲۳/۴
	Dec	۴/۴۰	۶	۹	۱۱/۶	۱۴	۱۶/۴	۱۷/۴

ثبت شده برای امواج گرمایی در ماه های مورد بررسی در دوره آماری (۲۰۲۱-۱۹۷۰)، برای آوریل و جولای با ۱۳ روز و کوچکترین آن برای ژانویه با ۶ روز بوده است. از نظر میانگین بزرگی ماه اکتبر با ۳/۳ بالاترین و پس از آن می و آگوست قرار دارد. کمترین میانگین بزرگی مربوط به ژانویه با ۱/۵۳ بوده است. این در حالی است که بالاترین مقدار بزرگی امواج گرمایی برای ماه مارس با ۲۵/۵۸ و آوریل ۲۱/۲۵ ثبت شده است و مطابق انتظار ژانویه، کمترین مقدار را از این نظر با مقدار بزرگی (۱۰/۴) داشته است.

شکل زیر، ویژگی های امواج گرمایی رخ داده در منطقه مورد مطالعه، را به تفکیک ماه نشان می دهد. ماه های می و جون، به ترتیب با ۲۱ و ۲۰ رخداد بیشترین فراوانی امواج گرمایی را در دوره آماری مورد مطالعه داشته اند و کمترین فراوانی برای ماه جولای (۱۳ مورد) ثبت شده است. میانگین تداوم رخدادهای موج های گرمایی نشان می دهد، که بالاترین میانگین تداوم مربوط به ماه مارس و آگوست به ترتیب با ۴/۶ و ۵/۷ بوده است. میانگین تداوم برای ماه های ژانویه ۳/۵۸ و فوریه ۳/۹۶ بوده است. بالاترین تداوم



شکل ۱۱- ویژگی امواج گرمایی به تفکیک ماه

رخداد اقلیمی اثرات منفی بر روی کشاورزی، آتش سوزی جنگل ها و مراتع، منابع آبی، مصارف انرژی و سلامت انسان دارد. بررسی دمای بیشینه برای شهر اصفهان، طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۲۱-۱۹۷۰) میلادی نشان داد؛ یک روند افزایشی معنادار با نرخ بیش از ۰/۵ درجه افزایش

۴- نتیجه گیری:

امواج گرمایی یکی از پدیده های طبیعی و ذاتی اقلیم در مناطق مختلف جهان می باشند، که فراوانی ظهور آن ها در نتیجه نوسانات آب و هوایی کره زمین در سال های اخیر همانند سایر پدیده های حدی اقلیم افزایش دارد. این

اول دوره آماری تداوم‌های کمتر از ۵ روز غالب بوده‌اند، اما از اواسط دهه ۹۰ رخدادهای امواج گرمایی در تداوم‌های بالاتری اتفاق افتاده‌اند، بیشترین تداوم ثبت شده برای رخدادهای امواج گرمایی برای فصل بهار و تابستان، به ترتیب با ۱۸ و ۱۷ روز بوده است. طبق نتایج پژوهش پنجه‌پور، (۱۳۹۳)، تحلیل آماری امواج گرمایی شهر اصفهان در سال‌های (۲۰۱۰-۱۹۸۱)، همسو با پژوهش حاضر نشان داد، از سال ۱۹۹۰ همزمان با روند افزایش گرمای جهانی، نفوذ امواج گرمایی در شهر اصفهان افزایش چشمگیری داشته و بیشترین امواج گرمایی در سال‌های ۲۰۰۳ و ۱۹۹۹ ثبت شده است. در مقیاس ماهانه، بالاترین میانگین تداوم مربوط به ماه مارس و آگوست بوده است. بالاترین تداوم ثبت شده برای امواج گرمایی در ماه های مورد بررسی در دوره آماری، (۲۰۲۱-۱۹۷۰) برای آوریل و جولای با ۱۳ روز و کوچک‌ترین آن برای ژانویه با ۶ روز بوده است. همگام با روند تغییرات در تداوم‌ها، برای شاخص بزرگی نیز در اواخر دهه ۹۰ میلادی نسبت به شروع دوره آماری، روند افزایشی قابل توجهی اتفاق افتاده است.

برای هر دهه وجود داشته است. با بررسی فراوانی وقوع امواج دریافتیم، رخداد امواج گرمایی در تمامی فصول سال در کل دوره آماری مورد مطالعه، روند افزایشی داشته است. بالاترین فراوانی مربوط به فصل بهار با ۶۱ مورد و فصل پاییز با ۴۳ موج در طول دوره آماری، کمترین فراوانی موج‌های گرمایی را بین سایر فصول داشته‌اند. بررسی فراوانی رخداد امواج در مقیاس ماهانه نشان داد، ماه‌های می و جون به ترتیب با ۲۱ و ۲۰ رخداد بیشترین و ماه جولای با ۱۳ مورد، کمترین فراوانی امواج گرمایی در دوره آماری مورد مطالعه داشته است. بررسی شدت موج‌ها نشان داد، این شاخص به ازای هر دهه، در تمامی فصول روند افزایشی داشته که بر اساس نتایج آزمون من کندال، این روند افزایشی برای تمامی فصول به جز تابستان معنادار بوده است. نتایج پژوهش فلاح قالهری، (۱۳۹۵)، با محور بررسی روند تنش‌های گرمایی در شهر اصفهان نیز نشان داده است؛ تغییرات این شاخص، از سال ۱۹۸۶ به تدریج افزایش یافته و در سال ۱۹۹۱ به ۱۰۷ روز یعنی حداکثر مقدار در طول دوره آماری رسیده است. تغییرات در بالاترین تداوم امواج گرمایی نشان می‌دهد، در دهه‌های

منابع:

- اداره کل هواشناسی استان اصفهان، نمایه اقلیمی شرق اصفهان، بهمن ۱۳۹۴.
- اسمعیل نژاد، م.، خسروی، م.، علیجانی، ب.، مسعودیان، س.ا.، ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی ایران. جغرافیا و توسعه. شماره ۳۳، ۳۹-۵۳.
- بهاروندی، ن.، مجرد، ف.، معصوم پور، ج.، ۱۳۹۹. شناسایی امواج گرمایی و تحلیل تغییرات زمانی- مکانی آن‌ها در ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۹، ۳۹-۵۸.
- پنجه پور، ن.، هوشمند، ع.، هاشمی نسب، س.، ۱۳۹۳. تحلیل آماری امواج گرمایی شهر اصفهان در سال‌های اخیر، دومین کنفرانس ملی مخاطرات محیط زیست زاگرس، تهران.
- تقوی، فرحناز، محمدی، حسین ۱۳۸۶. بررسی دوره ی بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی، محیط شناسی، سال سی و سوم، شماره ۴۳.
- جهانبخش، س.، قویدل، ف.، اشجعی، م.، ۱۳۹۴. شناسایی طبقه بندی و تحلیل همیدی امواج گرمایی به منظور کاهش مخاطرات انسانی در شمال غرب ایران، دانش مخاطرات، دوره ۲ شماره ۴، ص ۳۷۷-۳۹۱.
- خسروی، م.، اسمعیل نژاد، م.، ۱۳۹۹. بررسی آماری همیدی موج‌های گرمایی کم تداوم ایران، فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، سال اول، شماره ۲، پیاپی ۲، ۱۹-۳۳.
- دارند م.، ۱۳۹۵. شناسایی و تحلیل زمانی - مکانی امواج گرمایی ایران زمین، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، ۱۶۷-۱۸۰.
- رضایی، ف.، احمدی، م.، شکیب، ع.، ۱۳۹۸. شبیه سازی آستانه دمایی موج گرما طی دوره گرم سال در ایران (در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۵۰) براساس سناریوهای RCP، پژوهش‌های دانش زمین، سال دهم، شماره ۳۹، ص ۲۳۱-۲۴۷.
- صادقی، س.، دوستان، ر.، صانعی، م.، ۱۳۹۴. تحلیل فضایی زمانی امواج گرمایی خراسان رضوی، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال دوازدهم، شماره ۴۷، ۱۷-۳۲.
- فلاح قالهری، غ.، اسماعیلی، ر.، شاکری، ف.، ۱۳۹۵. ارزیابی روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی طی نیم قرن اخیر در چند نمونه اقلیمی ایران، مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره نهم، شماره دوم، ص ۲۳۳-۲۴۶.
- قویدل رحیمی، یوسف، ۱۳۹۰. شناسایی، طبقه بندی و تحلیل سینوپتیک موج آبرگرم تابستان ۱۳۸۹، ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱(۳)، ۱۰۰-۸۵.
- کاشکی، ع.، کرمی، م.، باعقیده، م.، علیمردی، م.، ۱۳۹۸. واکاوی آماری امواج گرمایی زابل، مجله دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، سال اول، شماره یک، دانشگاه زنجان، ۴۰-۵۵.
- الماسی، ف.، طاوسی، ت.، حسین آبادی، ن.، ۱۳۹۵. واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال نهم، شماره نوزدهم، ۱۳۵-۱۵۰.
- مجرد، ف.، معصوم پور، ج.، رستمی، ط.، ۱۳۹۴. تحلیل آماری - همیدی امواج گرمایی بالای ۴۰ درجه سلسیوس در غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سیزدهم، ۴۱-۵۷.
- محمدی، م.، بیدرام، ر.، ایزدی، آ.، ۱۳۹۴. سنجش محیط‌های مسکونی مطلوب شهر اصفهان از دید مدیران ارشد شهرداری، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال پانزدهم، شماره ۵۰، ص ۱۶۴-۱۴۱.
- یزدان پناه، ح.، علیزاده، ت.، ۱۳۹۰. برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکوف، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم، ص ۵۱-۷۱.

-Robinson, P (۲۰۰۱). On the definition of a heatwave. Journal of Applied Meteorology. ۴۰

- McMichael A. J., Campbell-Lendrum, D. H., Corvalán, C. F., Ebi, K. L., Githeko, A. K., Scheraga, J. D., Woodward, A., ۲۰۰۳, Climate Change and Human Health, Risks and Responses, World Health Organization, Geneva.
- Kysely, Jan. (۲۰۰۲): Temporal Fluctuations in Heat Waves at Prague-Klementinum, The Czech Republic, From ۱۹۰۱-۹۷, and Their Relationships to Atmospheric Circulation
- Souch C, Grimmond CSB, ۲۰۰۴. Applied climatology: Heat waves. Progress in Physical Geography, ۲۸, ۴, pp. ۵۹۹-۶۰۶.
- Rafael O. García Cueto & Adalberto Tejeda Martínez & Ernesto Jauregui Ostos (۲۰۰۹). Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of México: current trends and in climate change scenarios, Int J Biometeorol ۵۴:۳۳۵-۳۴۵
- Kovats SR, Ebi LK, ۲۰۰۶. Heat waves and public health in Europe. Eur J Public Health ۱۶.
- Tosic, I., Unkasevic, M., ۲۰۰۹. An Analysis of Heat Wave in Serbia. Global and Planetary Change ۶۵(۱-۲), ۱۷-۲۶. Trigo, R. M., Herrera, R. G.,
- Kotlyakov, V. I.; Komarova, A. I., ۲۰۰۷, Elsevier's Dictionary of Geography. Elsevier, ISBN: ۹۷۸۰۰۸۰۴۸۸۷۸۳۰۰۸۰۴۸۸۷۸۱.
- Pongracz, R., Bartholy, J., and Bartha, E.B. ۲۰۱۳, Analysis of Projected Changes in The Occurrence of Heat waves in Hungary, Adv. Geosci., ۳۵, ۱۱۵-۱۲۲
- Cowan, T., Purich, A., Perkins, S., Pezza, A., Boschat, G., Sadler, K., ۲۰۱۴, Atmospheric and Oceanic Conditions Associated with Southern Australian Heat Waves: A CMIP^۵ Analysis, Journal of Climate ۲۷(۲۰).
- Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M.B., and Vogt, J.V. ۲۰۰۹. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, ۱۱۶(۹۹). ۹۰۲-۹۰۲.
- Yan, Y., Qu, J., Hao, X., and Yue, S. ۲۰۱۷. Characterizing Spatial-Temporal Changes of Heat Waves in China using Center of Gravity Analysis, Physical Geography, ۳۸(۴): ۳۷۹-۳۹۱.
- Russo, S., Dosio, A., Graversen, R. G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M. B., Singleton, A., Montagna, P., Barbola, P., Vogt, J. V., ۲۰۱۴, Magnitude of Extreme Heat Waves in Present Climate and Their Projection in a Warming World.
- Zampieri, M., Russo, S., Di Sabatino, S., Michetti, M., Scoccimarro, E., Gualdi, S., ۲۰۱۶, Global Assessment of Heat Wave Magnitudes from ۱۹۰۱ to ۲۰۱۰ and Implications for the River Discharge of the Alps, Science of the Total Environment, ۵۷۱: ۱۳۳۰-۱۳۳۹.
- Dosio, A., ۲۰۱۷, Projection of Temperature and Heat Waves for Africa with an Ensemble of CORDEX Regional Climate Models, Climate Dynamics, ۴۹(۱-۲): ۴۹۳-۵۱۹.

Statistical Study of Heat Wave Characteristics in Isfahan Metropolis

Document Type: Research Paper

Maryam Ghasemi ^۱, Mohammad Baaghideh ^{*۲}, Alireza Entezari ^۲

^۱- Master's student in Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

^۲*-Department of Climatology and Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

DOI:

Extended abstract

Introduction

Heat waves are one of the natural climate phenomena in different regions of the world, which have increased as a result of global climate fluctuations in recent years; which has negative effects on agriculture, fires of forests and pastures, water resources, energy consumption and human health. There is no comprehensive and clear definition of heat wave globally, so that even the World Meteorological Organization has not been able to provide a comprehensive definition of heat waves. Heat wave is variable in different situations and no specific criterion has been defined for it. On the other hand, the characteristics and intensity of heat waves are also variable in each place. But in general, heat waves can be considered as positive fluctuations above the average maximum daily temperatures, which have continuity over days and sometimes weeks. It seems that in each geographical region, based on its environmental and climatic characteristics, certain temperature thresholds can be considered to define the heat wave. Generally, a heat wave refers to intense periods of heat that last more than ۳ days and the temperature is ۳ degrees higher than normal and also creates a crisis for the environment and human health. In other words, intense heating of the air or the rule and invasion of very hot air in a wide area is called a heat wave.

Methodology

In this research, the daily maximum temperature data of Isfahan synoptic station were used to identify heat waves in Isfahan. Identification of heat waves based on the ۹۰th percentile was done in such a way that by considering the thresholds for each season and month, the periods in which the maximum temperature was higher than the desired threshold for at least three consecutive days (۹۰th percentile) were considered as heat waves. In the next step, the frequency of heat waves for different seasons and months was checked, and taking into account the difference between the ۹۰th percentile threshold and the average temperature of the heat wave, the intensity of each heat wave was also calculated, and the trend of its changes in the scale of months and seasons was checked. In the next step, the continuity of each of the identified waves was checked for different months and seasons; in this way,

the average continuity and the highest continuity of heat waves and the trend of their changes during the statistical period were evaluated. In this research, the daily heat wave magnitude index (HWMI) has been used. Extraction of heat waves in each season has been done based on a separate percentage threshold of that season. Annual values are also obtained from seasonal values. In this way, the sum of the number of waves of the seasons determines the number of annual waves and the average magnitude of all the waves of the seasons determines the average magnitude of the annual waves of each station. The magnitude of each heat wave is the sum of the magnitude figures of all the days of that wave. Also, the biggest wave of each year is considered as the indicator wave of that year and the biggest wave of each season is considered as the indicator wave of that season.

Discussion

In the spring and summer seasons, in the first decades of the statistical period, durations of less than ۰ days prevailed, but since the mid-۹۰s, heat wave events have occurred in higher durations, with the highest duration in the spring season with ۱۸ days for ۲۰۱۷ and the highest heat wave event. The summer season in ۲۰۰۳ was recorded with duration of ۱۷ days. Spring, summer and autumn have not had much difference in the average duration of heat waves; in such a way that for these three seasons, heat waves continued for an average of ۶ days; But for the autumn season, the lowest average duration was recorded with ۴,۳۰ days. In line with the trend of changes in continuities, a significant increase has occurred for a large index in the late ۹۰s compared to the beginning of the statistical period. Its clear examples are in the spring season, the magnitude of ۲۹,۰۴ in ۲۰۱۷, in the summer season, the magnitude of ۲۸,۰۰ in ۱۹۷۷, and the highest average magnitude value, which is recorded in these seasons. Examining the changes in the heat wave intensity index, all seasons during the statistical period, from ۱۹۷۰ to ۲۰۲۱, shows that the most intense heat wave is related to the spring with an intensity of ۳,۸۸ in ۲۰۲۰, the summer season in ۲۰۱۲ with an intensity of ۱,۶۰, and the autumn season It occurred with a magnitude of ۲,۹۳ in ۲۰۱۷. The most severe heat waves related to the winter season occurred in three consecutive years between ۲۰۱۶ and ۲۰۱۸, and the intensity of these three waves was ۳,۳۱, ۲,۳۰ and ۳,۳۶, respectively.

Conclusion

There has been a significant increasing trend with a rate of more than ۰,۰ degree increase for each decade. By examining the frequency of occurrence of waves, we found that the occurrence of heat waves in all seasons of the year in the entire statistical period under study had an increasing trend. The highest frequency related to the spring season with ۶۱ cases and the autumn season with ۴۳ waves during the statistical period, have the lowest frequency of heat waves among other seasons. Examining the frequency of occurrence of heat waves on a monthly scale showed that the months of May and June had the highest frequency of heat waves with ۲۱ and ۲۰ occurrences, respectively, and July had the lowest frequency of heat waves with ۱۳ occurrences in the statistical period studied. Examining the intensity of the waves showed that this index had an increasing trend in all seasons, and based on the results of the Mann-Kendall test, this increasing trend was significant for all seasons except summer. The changes in the highest duration of heat waves show that, in the first decades of the statistical period, durations of less than ۰ days prevailed, but since the mid-۹۰s, heat wave events have occurred in higher durations. The longest recorded duration of heat waves for spring and summer was ۱۸ and ۱۷ days, respectively. Since ۱۹۹۰, at the same time as the trend of global warming, the penetration of heat waves in Isfahan city has increased significantly, and the most heat waves were recorded in ۲۰۰۳ and ۱۹۹۹. On a monthly scale, the highest average persistence was in March and August. The highest duration recorded for heat waves in the months studied in the statistical period (۱۹۷۰-۲۰۲۱) was for April and July with ۱۳ days and the smallest for January with ۶ days. Along with the trend of changes in continuities, a significant increase has occurred for a large index in the late ۹۰s compared to the beginning of the statistical period.

Keywords

Heat wave, Magnitude, Continuity, Isfahan