

جغرافیا و توسعه شماره ۳۳ زمستان ۱۳۹۲

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۷/۲۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

صفحات: ۵۴ - ۳۹

شناسایی امواج گرمایی ایران

مرتضی اسمعیل‌نژاد^۱، دکتر محمود خسروی^۲، دکتر بهلول علیجانی^۳، دکتر سیدابوالفضل مسعودیان^۴

چکیده

موج‌های گرمایی از مهم‌ترین بلاای آب و هوایی بوده که هر سال پیامدهای زیست محیطی مخربی را در طبیعت به‌جای می‌گذارند. بر این اساس هدف اصلی این پژوهش شناسایی موج‌های گرمایی ایران و ویژگی‌های آن‌ها مانند تداوم، شدت و فراوانی می‌باشد که در جهت نیل به آن از آمار روزانه‌ی حداکثر دما مربوط به ۶۶۳ ایستگاه هم دید و اقلیمی در قلمرو مورد مطالعه، طی دوره‌ی آماری ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۲/۱۲/۲۹ (۱۵۷۰۵ روز) استفاده گردیده است. سپس با استفاده از روش درون‌یابی کریگینگ با یاخته‌های 18×18 کیلومتر یک ماتریس 15705×7187 آماده شده که بر روی سطرها روزها و بر روی ستون‌ها یاخته‌ها قرار گرفته است.

در گام بعدی با استفاده از شاخص فومیایی ماتریس مورد نظر استانداردسازی و ماتریس انحراف دمای بهنجار ایران (NTD) شکل یافت. برای شناسایی موج‌های گرمایی ایران، با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط Matlab، روزهایی را که دست‌کم ۲ روز تداوم داشته و دمای آن $+2$ انحراف معیار یا بالاتر از میانگین (NTD) بود، به عنوان موج گرما تعریف شد. از ماتریس NTD ایران ۲۸۲ موج گرمای ۲ تا ۲۵ روزه شناسایی و دسته‌بندی گردید. این موج‌ها از کم‌تداوم‌ترین موج ۲ روزه تا فراگیرترین موج ۲۵ روزه در دوره‌ی گرم و سرد گروه‌بندی و تحلیل شد.

نتایج پژوهش نشان داد که موج‌های گرمایی کوتاه رخداد بیشتری داشته است و تعداد امواج گرمایی پرتداوم کمتر رخ داده است. پایان زمستان و روزهای نخستین پاییز موج‌های گرمایی بیشتر و فراوان‌تر می‌باشد، این هنگام‌ها با گذار دوره‌ی سرد به گرم و گرم به سرد، همزمان است. موج‌های با تداوم بیشتر کم رخداد بوده ولی درصد بیشتری از مساحت ایران را در بر گرفته‌اند و موج‌های کوتاه پررخداد بوده و در گستره‌ی کمتری از ایران اتفاق افتاده‌اند. در شمال و شمال غرب، مرکز ایران و سواحل جنوب رخداد موج گرما بیشتر بوده است. همچنین امواج گرم در دوره‌ی آماری روند افزایشی داشته و در سال‌های اخیر، پررخدادتر بوده‌اند.

کلیدواژه‌ها: موج گرما، ایران، شاخص فومیایی، رخداد، میانبایی، پررخداد.

esmailnejad.m@birjand.ac.ir
khosravi@gep.usb.ac.ir
alijani@tmu.ac.ir
porcista@yahoo.ie

۱- دانشجوی دکترای اقلیم و برنامه‌ریزی محیطی (نویسنده مسؤل)
۲- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۳- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران
۴- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان

مقدمه

اقلیم بر فعالیت‌های انسانی تأثیرگذار است، بنابراین داده‌های اقلیمی به صورت گسترده در طیف‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی کاربرد دارد. روند گرمایش جهانی، یکی از مهم‌ترین تغییرات آب و هوایی سده‌ی کنونی است که پژوهشگران در مقیاس‌های منطقه‌ای و سیاره‌ای به آن پرداخته‌اند (IPCC, 2007: 28). این تغییرات باعث فراوانی رخداد پدیده‌های فرین مانند طوفان، سیل، امواج گرمایی، یخبندان... شده که در این ارتباط نیز مدل‌های اقلیمی، افزایش دماهای حدی را در آینده پیش‌بینی می‌کنند (Raisanen et al, 2004: 13). موج‌های گرمایی مهم‌ترین بلایای جوی بوده و بررسی میزان مرگ و میر سالانه ناشی از مخاطرات اقلیمی نشان می‌دهد که امواج گرمایی باعث بیشترین میزان مرگ و میر نسبت به دیگر رخدادهای اقلیمی می‌شوند (NOAA, 2007: 142). رخداد و شدت موج‌های گرمایی در سال‌های اخیر در بخش‌هایی از جهان افزایش یافته است (Ting ding et al, 2009: 3). فعالیت‌های پژوهشی در طول قرن بیستم با تمرکز بر پدیده‌ی آب و هوایی فرین، از جمله امواج گرمایی، به علت تأثیر معنی‌دار آن‌ها بر اکوسیستم‌ها و جامعه‌ی انسانی انجام گرفته است (Rohli & Keim 1994: 310-324). در حال حاضر پدیده‌های حدی اقلیم در کانون توجه پژوهشگران قرار دارند، زیرا خطر افزایش فراوانی، مدت و حساسیت آستانه‌های اقلیمی به وسیله‌ی افزایش گازهای گلخانه‌ای و آتروسول‌ها در جو افزایش یافته است (Houghton et al, 1996: 572). کاهش پیامدهای ناشی از امواج گرمایی آینده، در گرو شناسایی سازوکار امواج گرمایی، سامانه‌های هواشناسی ایجادکننده‌ی آن‌ها، پیش‌بینی و کشف راه‌هایی برای کاهش تأثیرات آزاردهنده‌ی امواج گرمایی بر روی سلامت عمومی و

همچنین شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در ارتباط با امواج گرمایی است (Kovats & Koppe, 2005: 592-599). بنابراین، امروزه یکی از مهم‌ترین نگرانی‌ها از مخاطرات محیطی، رخداد شرایط حدی طولانی‌مدت و پرتداوم با دوره‌های بارشی کم و حداکثر درجه حرارت است که به طور گسترده بر جوامع انسانی تأثیرگذار است (Ostro et al, 2009: 614-619). موج گرمای فرانسه در تابستان ۲۰۰۳ که گرم‌ترین سال در ۲۵۰ سال گذشته آن بود (Schar et al, 2004: 332-336) یا امواج گرمایی ژوئن ۱۹۹۸ در جنوب و جنوب شرق آسیا (kripalani & kulkarni, 1999: 19) و موج گرمای گسترده و شدید ژولای ۱۹۹۵ در شیکاگو که باعث مرگ و میر انسان‌ها گردید (Karl, T. R, Knight, R.W, 1997: 1107-1119) از آن جمله است. اگرچه در ارتباط با عوامل همدیدی ایجاد امواج گرما و پیامدهای محیطی و انسانی آن‌ها پژوهش‌های زیادی صورت گرفته (Rensch, 2009: 77; Della Marta, 2007: 1-11; Seluchi et al, 2006: 75-85; Benjamin F et al, 2006: 743-769) اما درباره‌ی رفتارهای اقلیمی مانند فراوانی، شدت و تداوم آن‌ها بجز مواردی اندک، مطالعاتی انجام نشده است (Abaurrea et al, 2007: 43-58). باید باور داشت که امواج گرمایی با تغییرات اقلیمی، فراوان‌تر و گسترده‌تر شده و تداوم آن‌ها نیز بیشتر می‌شود (Beniston, 2004: 73-81). بنابراین شناخت ویژگی‌های امواج گرما، شدت، تداوم و گسترش آن‌ها ضروری است. تنوع، ویژگی ذاتی آب و هوای ایران است. تفاوت مکانی بین بالاترین و پایین‌ترین دمای روزانه کشور، اغلب روزها ۴۰ درجه است (علیچانی، ۱۳۸۳: ۲). با توجه به شیب مثبت دما و افزایش فرین‌های دمایی (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴: ۲۲)، افزایش دمای متوسط کشور در اکثر ایستگاه‌ها (شیرغلامی و قهرمان، ۱۳۸۴: ۱۹) و تغییرات زیاد مقادیر حداکثر دما در کلیه‌ی نواحی ایران زمین (جهانبخش و ترابی، ۱۳۸۳: ۱۸)

روش صدک‌ها برای تمام مشاهدات (Kovats & Ebi, 1999: 592-599)، تعریف گردیده است. برای مثال، فرهنگ لغت و بستر موج گرما را "یک دوره‌ی غیرمنتظره آب و هوای گرم" (Merriam-Webster Online, 2001: 11) تعریف می‌کند. سازمان هواشناسی جمهوری چک موج گرما را یک دوره از N روز یا بیشتر در تابستان با حداکثر دمای روزانه که ۳۰ درجه یا بیشتر باشد، تعریف می‌نماید (Kysely & Kalvova, 1999: 65-72). هرچند کوشش‌های گسترده‌ای جهت اضافه کردن جزئیات و ویژگی‌های مختلفی برای تعریف موج گرما انجام شده است، اما مجموعه‌ای از عوامل آن را پیچیده‌تر ساخته است (Kalkstein et al., 2008: 2055-2073) در عین حال آستانه‌های معینی مانند دمای هوا، حداقل تفاوت، ترکیب دمای هوا و رطوبت نسبی، میانگین حداکثر دما (میانگین حداکثر دمای فصلی) و غیره.

(Balafouti, 2008: 65; Vorgelegt, 2006: 106) برای تعریف موج گرما وجود دارد که می‌توان آن‌ها را در بیشتر نقاط دنیا به کار برد. با توجه به تعاریف بالا و معیارهای تعیین موج گرما به نظر می‌رسد که در هر منطقه‌ی جغرافیایی بر اساس ویژگی‌های محیطی و اقلیمی آن، می‌توان آستانه‌ی دمایی معینی برای تعریف موج گرما تعریف کرد. به خاطر تنوع در ساختار توپوگرافیک ایران مانند وجود پستی و بلندی‌های متنوع و همچنین گسترش ۱۵ درجه عرض جغرافیایی، دوری و نزدیکی به دریا، در ایستگاه‌های هواشناسی، در یک زمان واحد، دماهای متفاوتی ثبت می‌شود که شناسایی امواج گرمایی را با مشکل مواجه می‌سازد. بنابراین امواج گرما در ایران ممکن است که فراگیر نبوده و در نواحی مختلف ویژگی‌های متفاوتی داشته باشند.

و نیز افزایش دمای ایران در دوره‌ی آینده به ویژه در فصل سرد به میزان ۰/۵ سانتی‌گراد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۵۱)، هدف اصلی در این پژوهش شناسایی امواج گرمایی ایران و ویژگی‌های آن‌ها از جمله گستره، شدت و تداوم می‌باشد. چرا که موج‌های گرما می‌توانند با تغییرات آب و هوا فراوان‌تر، شدیدتر و پرتداوم‌تر از گذشته شوند (WHO, 2003: 12). شایان ذکر است که این امر از یک طرف به خاطر عدم مطالعات در این زمینه و از طرف دیگر به عنوان مهم‌ترین مخاطره‌ی اقلیمی دارای اهمیت است. در این راستا، اولین گام در این مطالعه تعریف موج گرما می‌باشد. از موج‌های گرمایی تعریف عمومی و روشنی وجود ندارد (Robinson, 2001: 762-775) چون که شدت، گستردگی و تداوم امواج گرما در مکان‌های مختلف متغیر بوده و معیار دقیقی برای آن تعریف نشده است (Frich et al., 2002: 193-212; Souch & Grimmond, 2004: 599-606) حتی سازمان جهانی هواشناسی نتوانسته است تعریف جامعی از امواج گرما ارائه دهد (Kysely et al., 2004: 65-72) زیرا که امواج گرما از لحاظ ویژگی‌ها و شدت در یک مکان متغیرند (Rafael O et al., 2008: 56). از طرفی دمای سطحی روزانه از نظر منطقه‌ای و فضایی متغیر می‌باشد، بنابراین خیلی دشوار است که بتوان به یک تعریف جامع از موج گرما به اجماع رسید (Meehl & Tebaldi, 2004: 994-997). باروس^۱ اولین کسی بود که مطالعات خود را از اواخر قرن ۱۹ در زمینه‌ی امواج گرمایی شروع کرد (Robinson, P, 2001: 762-775). تعاریف جدید که در سال‌های اخیر ارائه شده است، موج گرما را باتوجه به روش‌های آماری و ریاضی مشخص می‌کند. به عنوان مثال موج گرما بر اساس انحراف از میانگین روزانه دما (Rafael O et al., 2009: 90) افزایش دما همراه با کاهش بارش (Karl & Quayle, 1981: 2055-2073) و

مدت ۱۵۷۰۵ روز بر روی یاخته‌های ۱۸×۱۸ کیلومتر با روش کریجینگ میانابی شد که ۷۱۸۷ یاخته ایجاد گردید. در این فرایند ماتریسی با ابعاد ۱۵۷۰۵×۷۱۸۷ فراهم شد که بر روی سطرها روزها و بر روی ستون‌ها یاخته‌ها قرار گرفت. در ادامه جهت مهیا کردن داده‌ها برای شناسایی امواج گرما، از شاخص فومیاکی استفاده شده است که با این شاخص می‌توان دماهای فرین گرم را شناسایی کرد. برای محاسبه‌ی این نمایه نخست میانگین بلند مدت دما برای هر یک از روزهای سال محاسبه شده تا انحراف دمای هر روز خاص نسبت به میانگین بلندمدت مبنای داوری درباره‌ی گرمی آن روز قرار گیرد. میانگین بلندمدت دماهای هر روز با رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$T(i,j) = \sum_{n=1940}^{1999} T(i,j,n)/N \quad \text{رابطه ۱:}$$

مأخذ: مسعودیان و دارند (۱۳۹۰: ۱۷۳-۱۷۲)

در این رابطه i دمای روز i اما، ماه j اما و سال n اما است. بنابراین برای محاسبه‌ی میانگین بلندمدت دمای هر یک از روزهای سال ۴۴ مقدار وجود داشت ($N=44$). بدین ترتیب میانگین بلندمدت دمای هر روز بر مبنای همان روز محاسبه گردید. برای از بین بردن نوفه‌های 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 همسایه‌ی آن محاسبه می‌شود. به بیان دیگر دمای هر روز نماینده‌ی وضع کلی دما در همان روز و دمای دو هفته پیش و دو هفته پس از آن است. در نتیجه آثار عوامل زودگذر محلی که موجب نوسان دما شده‌اند، حذف و اثرات سامانه‌های همدید که تغییرات کلان دما را تعیین می‌کنند، تقویت می‌شود. سپس به کمک رابطه‌ی زیر

ساختار کلی دما تحت تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاع و توده‌های هوا قرار دارد، به طوری که با تغییر هر یک از این عوامل، دما نیز تغییر خواهد کرد (منتظری و مسعودیان، ۱۳۸۹: ۸۰). با توجه به مطالب بالا هدف اصلی این پژوهش شناسایی امواج گرمایی ایران و ویژگی‌های آن‌ها از جمله توزیع فضایی، شدت و تداوم آن‌ها می‌باشد.

داده و روش شناسایی

ایران دارای اقلیمی گرم با رژیم دمایی قاره‌ای عرض میانه می‌باشد. دمای هر محل به مجموعه شرایط ارتفاع، عرض جغرافیایی و محتوای رطوبتی جو در آن محل بستگی دارد (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۶۰). از این رو نقش همزمان عرض جغرافیایی و ارتفاع بر روی دما و پیچیدگی ناهمواری ایران، تباین دما بین بخش‌های مختلف کشور را پدید آورده است، به ویژه در فصل سرد که به دلیل تنوع سامانه‌های همدید مؤثر بر ایران اختلاف دمای میانگین سردترین و گرم‌ترین نقاط کشور آنچنان زیاد است که عملاً بخش‌های مختلف کشور همزمان فصول متفاوتی را تجربه می‌کنند (مسعودیان، ۱۳۸۲: ۱۹) جهت شناخت ویژگی‌های امواج گرمایی ایران، معیارهای زیر دارای اهمیت است:

- ۱- دمای هوا با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد، بنابراین امواج گرمایی تابستان در ارتفاعات بالا کم رخ می‌دهد.
- ۲- عرض جغرافیایی نقش اساسی در میزان دریافت انرژی خورشیدی به خصوص در دوره‌ی گرم سال گرم ایفا می‌کند، بنابراین در طول سال مناطق شمالی خنک‌تر از مناطق جنوبی است.
- ۳- موج‌های گرما در دوره‌ی سرد و گرم ایران وجود دارند.

در این پژوهش برای شناسایی امواج گرمایی ایران، از داده‌های حداکثر دمای روزانه‌ی ۶۶۳ ایستگاه هم دید و اقلیمی از تاریخ ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۲/۱۲/۲۹ به

به دست آمد. سپس میانگین متحرک ۹ روزه سه بار انجام شد.

رابطه ۳:

$$\overline{\sigma^2(l, j)} = \sum_{n=1340}^{1389} \sum_{j'=j-16}^{j+16} [\Delta T(l, j', n) - \Delta T(l, j)]^2 + 31N$$

مقدار $\Delta T = (\bar{i}, \bar{j})$ میانگین انحراف دما از فرمول ۴ به دست آمد:

رابطه ۴:

$$\overline{\Delta T_s(l, j)} = \sum_{n=1340}^{1389} \sum_{j'=j-16}^{j+16} [T_s(l, j', n) + 31N]$$

سرانجام نمایه فومیایکی^۱ یا انحراف دمای نرمال شده (NTD) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$x(l, j, n) = \Delta T(l, j, n) + \overline{\sigma(l, j)}$$

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

مأخذ: مسعودیان و دارند (۱۳۹۰: ۱۷۳-۱۷۲)

برای هر یک از ۷۱۸۷ یاخته‌ی مختلف ایران مقدار نمایه‌ی انحراف دمای نرمال شده به همین روش محاسبه شد، سپس میانگین این نمایه بر روی ایران برای هر یک از ۱۵۷۰۵ روز به دست آمد. در ادامه پس از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Matlab روزهایی که ضریب NTD آن‌ها بالاتر از ۲ بود و حداقل ۲ روز تداوم داشت توسط این برنامه امواج گرمایی ایران معرفی گردید (نگاره ۱). بنابراین تعریف موج گرما در این پژوهش این گونه بیان می‌شود که: هرگاه ضریب NTD برای P روز متوالی ۲ انحراف معیار بالاتر از میانگین باشد، یک موج گرمای P روزه داریم: به عبارتی اگر $NTD(i)$ معرف دمای بهنجار شده روز i ام باشد، با توجه به رابطه‌ی زیر:

رابطه ۵:

$$NID(i), NID(i+1), \dots, NID(i+p-1) \geq 2, NID(i-1), NID(i+p) \leq 2$$

انحراف دمای هر یک از ۱۵۷۰۵ روز مورد بررسی نسبت به میانگین بلند مدت محاسبه شد.

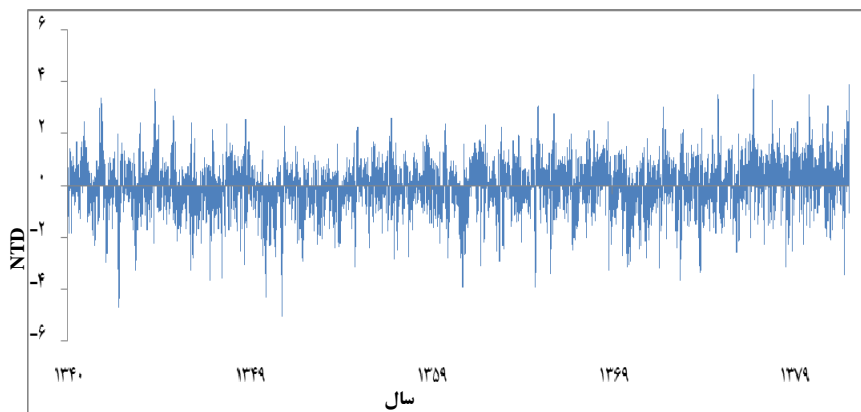
$$\Delta T = (l, j, n) = T(l, j, n) - T(l, j) \quad \text{رابطه ۲:}$$

(Fujibe, F et al, 2007: 13)

در اینجا $\Delta T = (i, j, n)$ انحراف دمای روز i ام، ماه j اما و سال n اما نسبت به میانگین بلند مدت دمای همان روز تقویمی است. شدت انحراف دما یا ΔT بستگی به تغییرات روز به روز دارد و بر حسب فصل و منطقه متفاوت خواهد بود. از آنجا که بر روی هر نقطه‌ی جغرافیایی معین دامنه‌ی تغییرات دما در روزهای مختلف سال می‌تواند بسیار متفاوت باشد، بنابراین مقادیر مطلق انحراف دما از میانگین بلند مدت هر روز $\Delta T = (i, j, n)$ نمی‌تواند نماینده‌ی شدت انحراف دمای آن روز نسبت به دیگر روزهای سال باشد. برای نمونه در دوره‌ی گرم سال که دما از ثبات بیشتری برخوردار است یک درجه‌ی سلسیوس انحراف از دمای بلند مدت رویداد بزرگ‌تری به شمار می‌آید تا همین مقدار انحراف دما در دوره‌ی سرد سال که دما بی‌ثبات‌تر و دامنه‌ی تغییرات آن زیادتر است. همین استدلال در مورد مقادیر مطلق انحراف دما از میانگین بلند مدت که در نقاط جغرافیایی مختلف محاسبه شده‌اند نیز صادق است. مثلاً +۵ درجه انحراف دما برای نقاطی که در عرض‌های جنوبی قرار دارند و تغییرات دمایی آن‌ها اساساً ناچیز است رویداد بسیار بزرگ‌تری به شمار می‌آید تا همین مقدار انحراف دما برای نقاطی که در سرزمین‌های خشک ایران مرکزی قرار گرفته‌اند و دامنه‌ی تغییرات دمای آن‌ها بسیار بزرگ است. بنابراین، برای آنکه مقادیر انحراف دمای زمان‌های مختلف در یک نقطه‌ی جغرافیایی و مکان‌های مختلف در یک زمان معین با یکدیگر قابل مقایسه باشند لازم است این مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما استانداردسازی شوند. همانند تغییرات روزه روز، پراش ΔT^* در ۳۱ روز برای هر روز تقویمی طبق رابطه‌ی ۳

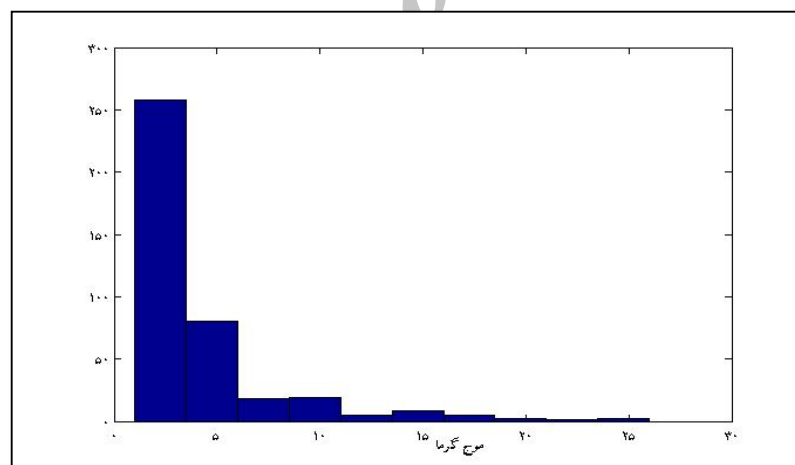
موج گرمای ۲ تا ۲۵ روزه شناسایی و دسته‌بندی گردید (شکل ۲). سپس امواج گرمایی ایران به دو دوره گرم و سرد گروه‌بندی و تحلیل شد.

آنگاه یک موج گرمای p روزه داریم. در این برنامه روزها از توالی ۲ روز تا ۲۵ روز و انحراف $+2$ تعریف گردید. همچنین این برنامه درصد گستره‌ی هر موج گرما در ایران را نیز محاسبه می‌کند. در نهایت ۲۸۲



شکل ۱: دمای نرمال شده ایران در طول دوره (۱۳۴۰-۱۳۸۳)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۲: فراوانی امواج گرمایی استخراج شده در دوره (۱۳۴۰-۱۳۸۳)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

درک ما را نسبت به امواج گرمایی پیچیده می‌سازد. بنابراین در این پژوهش امواج گرمایی ایران از لحاظ زمانی به امواج گرمایی دوره‌ی سرد و امواج گرمایی دوره‌ی گرم تقسیم شده‌اند. مجموع فراوانی امواج گرمایی استخراج شده در دوره‌ی آماری مورد مطالعه ۲۸۲ موج است که از این تعداد ۹۷ موج در دوره‌ی

یافته‌ها

شناسایی و آشکارسازی ویژگی‌های امواج گرمایی و رخدادهای دماهای حدی، با دیگر ارزیابی‌ها مخاطرات محیطی، متفاوت می‌باشد. تغییرپذیری و تنوع آب و هواست که دماهای حدی متفاوت از جایی به جای دیگر و از زمانی به زمان دیگر را تعیین می‌کند و فهم و

وسعت مناطقی که محصولات کشاورزی آن‌ها در اثر تنش گرما از بین می‌رود، افزایش خواهد یافت. تأثیر دیگر در مناطق عرض‌های میانه و معتدل، بهاره‌سازی است. یعنی نیاز به سرمایه‌ش مورد نیاز محصولات کشاورزی با کوتاه شدن دوره‌ی سرما تأمین نمی‌شود و باعث نقصان آغازش جوانه‌های گل شده و عملکرد را کاهش خواهد داد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۷: ۷۶). بنابراین تنش‌های گرمایی در پایان زمستان یکی از مهم‌ترین بلایای اقلیمی برای محصولات کشاورزی در ایران زمین می‌باشد.

گرم و ۱۸۱ موج در دوره‌ی سرد سال رخ داده است (جدول ۱ تا ۳). بیشترین رخداد را موج‌های دو و سه روزه داشته‌اند و سهم موج‌های ده روز به بالا اندک می‌باشد، فراوانی این موج‌ها بیشتر در ماه‌های دی تا اسفند است. فراوانی ماهانه امواج گرمایی نشان می‌دهد که در ماه‌های زمستان به ویژه اسفندماه بیشترین رخداد موج گرمایی بوده که دلیلی بر افزایش گرماهای زودرس در طول دوره‌ی مورد بررسی می‌باشد. از آنجا که واکنش عملکرد گیاهان زراعی غیرخطی است، لذا تغییر در شرایط حرارتی اهمیت زیادی دارد و فراوانی و

جدول ۱: فراوانی امواج گرمایی (روز)

امواج گرم	تعداد
دو	۸۶
سه	۵۵
چهار	۲۵
پنج	۲۸
شش	۱۷
هفت	۷
هشت	۹
نه	۱۱
ده	۵
یازده	۲
دوازده	۵
سیزده	-
چهارده	۲
پانزده	۲
شانزده	۲
هفده	۲
هجده	۲
نوزده	-
بیست	۱
یک	۱
بیست دو	۱
سه	-
چهار	-
پنج	۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول ۲: ویژگی‌های امواج گرمایی دوره‌ی گرم (روز)

امواج گرما	تعداد	گستره
دو	۳۷	۲۴
سه	۱۷	۲۶
چهار	۱۰	۲۹
پنج	۱۱	۲۸
شش	۶	۴۱
هفت	۳	۳۳
هشت	۴	۲۸
نه	۳	۲۰
ده	۱	۲۰
یازده	-	-
دوازده	۲	۴۲
سیزده	-	-
چهارده	۱	۳۳
پانزده	۱	۳۱
شانزده	۱	۲۰
هفده	-	-
هجده	-	-
نوزده	-	-
بیست	-	-
یک	-	-
بیست و یک	-	-
بیست و دو	-	-
بیست و سه	-	-
بیست و چهار	-	-
بیست و پنج	-	-

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

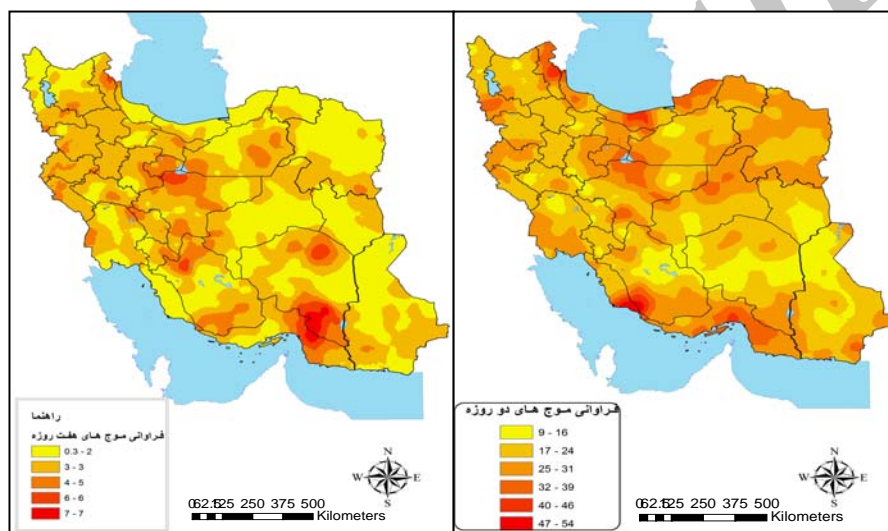
جدول ۳: ویژگی‌های امواج گرمایی دوره‌ی سرد (روز)

امواج گرما	تعداد	گستره
دو	۵۰	۲۷
سه	۳۸	۲۰
چهار	۲۶	۲۱
پنج	۱۷	۳۳
شش	۱۱	۳۴
هفت	۶	۴۲
هشت	۶	۳۵
نه	۸	۴۲
ده	۴	۴۶
یازده	-	-
دوازده	۴	۴۲
سیزده	-	-
چهارده	۲	۳۳
پانزده	۲	۴۰
شانزده	۱	۶۰
هفده	۳	۴۵
هجده	۲	۵۴
نوزده	-	-
بیست	۱	۵۱
یک	۱	۶۰
بیست و یک	۱	۵۴
بیست و دو	۱	۵۴
بیست و سه	-	-
بیست و چهار	-	-
بیست و پنج	۱	۶۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

ایران مرکزی، بخش‌هایی از غرب، جنوب غرب، نوار ساحلی شمال و شمال شرق بیشتر رخ داده‌اند. توزیع فضایی موج‌های ۷ روزه نشان می‌دهد که فراوانی آن‌ها در استان‌های غربی، بخش‌هایی از استان‌های مرکزی و استان‌های جنوبی رخ داده‌اند. در مجموع بررسی فراوانی فضایی موج‌های گرمایی در ایران نشان داد که این امواج در غرب و شمال کشور تمرکز بیشتری دارند (شکل ۳، ۴).

موج‌های گرمایی از لحاظ توزیع فضایی و فراوانی در پهنه‌ی ایران بررسی شده‌اند، که در اینجا برای جلوگیری از افزایش حجم مقاله، فقط موج‌های دو روزه (فراوان‌ترین موج‌های ایران) و موج‌های هفت روزه (به‌خاطر تداوم و اهمیت از لحاظ تأثیرات محیطی) انتخاب و تحلیل شدند. موج‌گرمایی دو روزه فراوان‌ترین طبقه‌ی موج‌های گرمایی می‌باشند که در دوره‌ی مورد مطالعه رخ داده است. این امواج در نوار ساحلی جنوب،



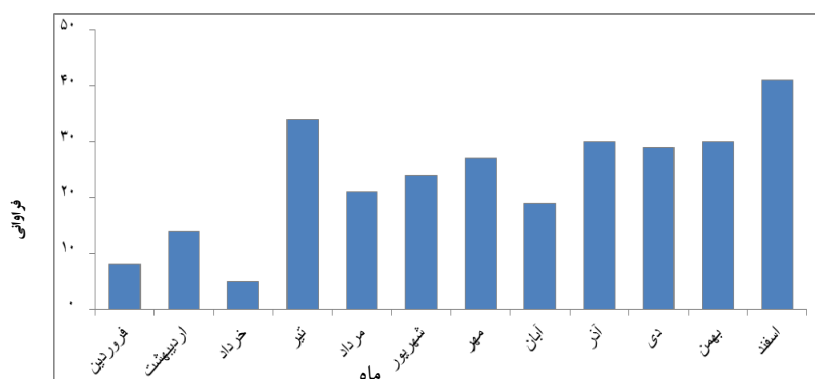
شکل ۴: توزیع فضایی موج‌های ۷ روزه
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

شکل ۳: توزیع فضایی موج‌های ۲ روزه
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

است. از تعداد امواج گرم دوره‌ی سرد سال ۳۸ موج گرما در اسفندماه و ۲۷ موج در اوایل پاییز (مهر) رخ داده که نشان‌دهنده‌ی کوتاه شدن دوره‌ی سرد و دراز شدن دوره‌ی گرم می‌باشد (شکل ۵). در این راستا بررسی‌های دمای کشور برای آینده نیز بیشترین افزایش دما در ماه‌های آبان، اسفند و دی به میزان ۰/۷ درجه سانتی‌گراد تأیید می‌کند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۵۱). فراوانی امواج گرمایی در پایان زمستان هشدار برای کشاورزان به ویژه بخش باغداری است که گرماهای زودرس مهم‌ترین مخاطره اقلیمی در این فصل از سال می‌باشد.

ویژگی‌های ماهانه موج‌های گرمایی

بررسی ماهانه امواج گرمایی نشان می‌دهد که اسفندماه در ۴۲ سال آمار (۱۳۸۲-۱۳۴۰) پررخدادترین ماه بوده است و در مقام بعدی، تیرماه که شروع تابستان است، بیشترین رخداد موج گرما را داشته است. تمرکز امواج گرمایی در دوره‌ی سرد سال، به ویژه اواخر زمستان قرار دارد. کمترین رخداد موج گرما مربوط به فصل بهار می‌باشد. برای نمونه، موج‌های دو روزه بالاترین رخداد را در طول دوره‌ی آماری داشته‌اند. تعداد این امواج ۸۶ موج است که ۳۷ موج در دوره‌ی گرم سال و ۵۰ موج در دوره‌ی سرد سال رخ داده

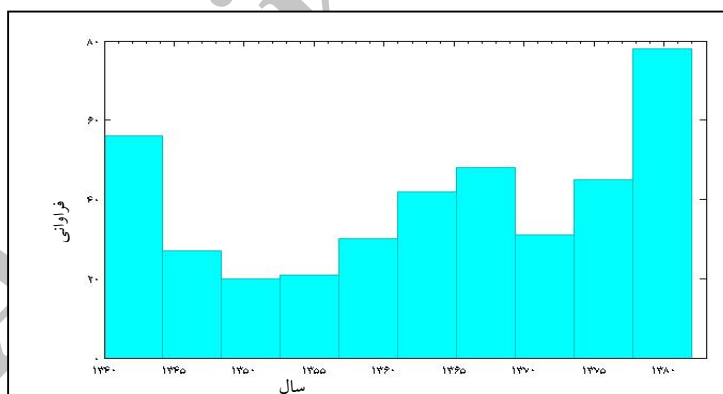


شکل ۵: فراوانی ماهانه امواج گرمایی (۱۳۴۰-۱۳۸۳)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

بررسی سالانه امواج گرمایی در دوره آماری منتخب نشان داد که ۳۵ درصد (۹۵ موج گرما) امواج گرمایی استخراج شده از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۲ رخ داده است (شکل ۶) این زمان با موج‌های گرمایی اروپا همزمان بود. در همان سال، در طی ژوئن و آگوست ۲۰۰۳ بالاترین درجه حرارت در اروپا در کشورهای اسپانیا، هلند، سوئیس، فرانسه، آلمان و انگلستان ثبت شد

بنابراین سال‌های اخیر شدیدترین و فراگیرترین امواج گرمایی در ایران و جهان رخ داده است که در این راستا مطالعات اقلیمی بی‌شماری در سال‌های بعد از ۱۹۹۰ روی ویژگی‌های آماری و پیامدهای دماهای بالا یا آستانه‌های دمایی انجام گرفته است (Rohli & Keim, 1994: 310-324).



شکل ۶: رخداد سالانه موج‌های گرمایی در دوره (۱۳۴۰-۱۳۸۳)

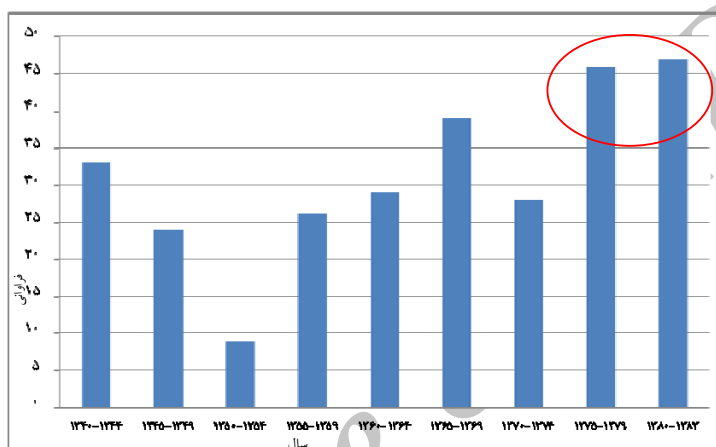
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

از دیگر سال‌های پررخداد موج گرما در ایران سال ۱۳۷۷ (۱۹۹۸ میلادی) بود. در این سال ۱۷ موج گرما در طول سال رخ داد که میانگین انحراف معیار این امواج ۲ انحراف از میانگین و دست‌کم ۴۰ درصد گستره تأثیرگذاری آن‌ها بود. پردازش داده‌ها نشان داد که روند افزایش موج‌های گرمایی ۴ روزه به بالا یا

موج‌هایی با تداوم زیاد در سال‌های اخیر افزایش داشته است. بعضی از دانشمندان معتقدند که این رخدادها نمونه‌هایی است از "شکلی از آینده که خواهد آمد" (Beniston & Díaz, 2004: 73-81) و باید در تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی‌هایی که به گرما مرتبط است، به آن توجه کرد. فراوانی موج‌های دو روزه و سه

از خشک‌ترین و گرم‌ترین سال‌های دوره‌ی آماری بود. موج‌های گرمایی در پایان دوره‌ی آماری در طول ۳ سال به بیشینه‌ی خود رسید و در سال‌های اخیر دمای فرین بیشینه افزایش یافته است (ورشاپیان و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۹).

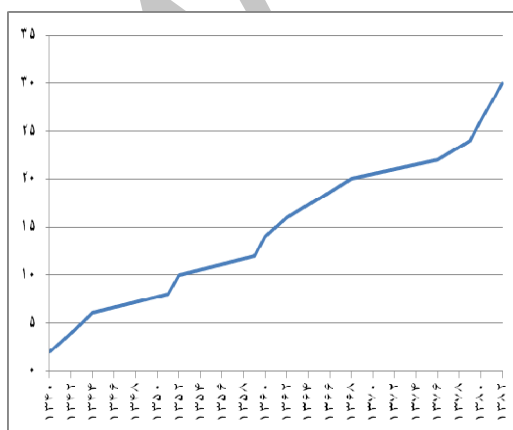
روزه در سال‌های ۱۳۴۲ تا ۱۳۷۰ و موج‌های ۴ روزه به بالا در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۲ افزایش یافته است (شکل ۷). موج‌های پرتداوم ۳، ۵، ۶، ۷، ۸ روزه در سال ۱۳۸۰ پررخداد بوده‌اند. شدت و تداوم امواج گرمایی از سال ۱۳۷۵ به بعد افزایش یافت و سال ۱۳۷۷ یکی



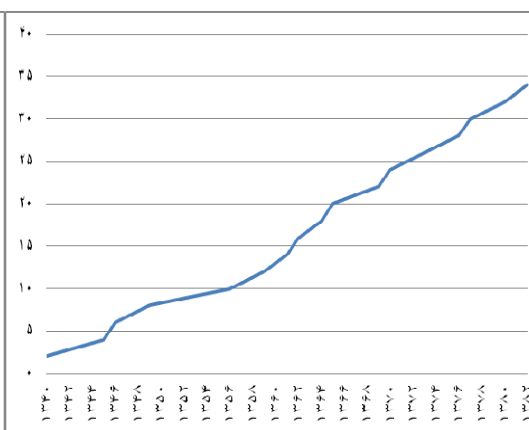
شکل ۷: فراوانی موج‌های گرمایی ایران در دوره (۱۳۴۰-۱۳۸۳)
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

آخرین ملموس‌تر بوده است. برای نمونه روند امواج گرمایی ۴ روزه و ۶ روزه را مشاهده می‌کنید (شکل ۸، ۹).

روند سالانه‌ی امواج گرمایی دوره‌ی مطالعه نیز به شدت افزایش یافته است و در سال‌های اخیر فراوان‌تر بوده‌اند، این افزایش تعداد موج‌ها گرمایی، در دو دهه‌ی



شکل ۹: روند سالانه موج‌های ۶ روزه (۱۳۴۰-۱۳۸۳)
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

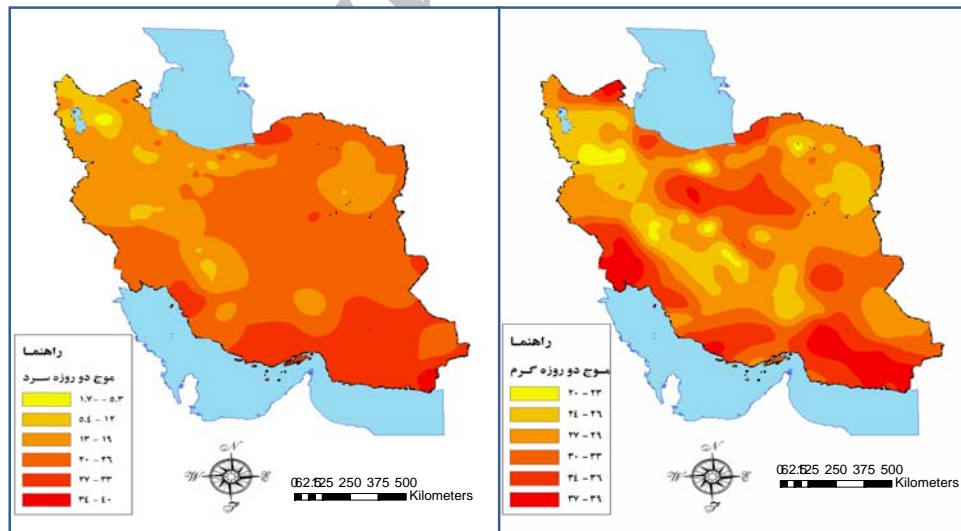


شکل ۸: روند سالانه موج‌های ۴ روزه (۱۳۴۰-۱۳۸۳)
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

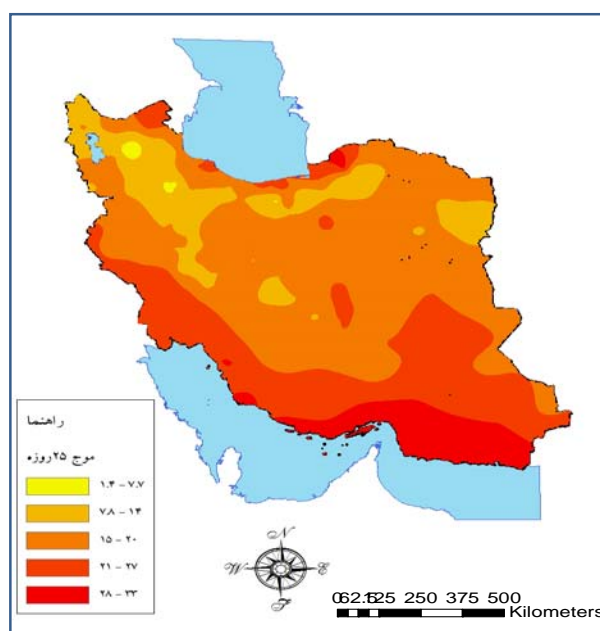
گستره‌ی امواج گرمایی

میانگین گستره موج‌های دوره‌ی گرم ۲۴ درصد و موج‌های دوره‌ی سرد ۲۷ درصد از مساحت ایران می‌باشد. آمار نشان می‌دهد که موج‌های طولانی‌تر با تداوم بیشتر کم رخداد بوده ولی درصد بیشتری از مساحت ایران را در بر گرفته‌اند و موج‌های کوتاه پررخداد بوده و در مساحت کمتری از ایران رخ داده‌اند، بنابراین موج‌های کوتاه بیشتر محلی و منطقه‌ای بوده‌اند و موج‌های بلند متأثر از سامانه‌های کلان جوی می‌باشند. برای نمایش مکانی موج‌ها در بستر ایران، شاخص‌ترین روز برای هر موج انتخاب و با استفاده از روش کریگینگ دمای حداکثر آن روز در پهنه‌ی ایران میانبایی و نقشه‌ی آن ترسیم گردید. از رخدادهای این موج‌ها در دوره‌ی گرم و سرد سال یک روز شاخص برای نمونه مشخص شد. طولانی‌ترین موج گرمایی بیرون کشیده شده از داده‌ها موج ۲۵ روزه در تاریخ

۱۳۷۷/۹/۱۶ می‌باشد که ۷۴ درصد از مساحت ایران را در بر گرفت. مهم‌ترین نواحی پوشش این موج نیمه شمالی کشور به ویژه شمال غرب و در ارتفاعات زاگرس بوده است. گستره‌ی بعدی این موج نیمه جنوبی به ویژه سواحل جنوبی ایران می‌باشد. ولی رخ داد امواج گرما در مناطق سردسیر محسوس تر می‌باشد. پیش‌بینی‌های افزایش دما در مناطق سردسیر مانند شمال غرب، شمال خراسان و دیگر استان‌های نیمه شمالی کشور تأیید می‌کند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۵۱). موج‌های دو روزه دوره‌ی گرم در نواحی مرکزی و سواحل جنوبی، جنوب غرب و قسمت‌هایی از شمال غرب و شمال شرق در نواحی پست رخ داده است. موج‌های دو روزه دوره‌ی سرد در نیمه‌ی غربی کشور تمرکز داشته و به خصوص ارتفاعات، محل رخداد آن‌ها بوده‌اند (شکل ۱۰، ۱۱، ۱۲).



شکل ۱۰: بالاترین دمای روزانه موج دو روزه‌ی گرم
شکل ۱۱: بالاترین دمای روزانه موج دو روزه دوره‌ی سرد
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

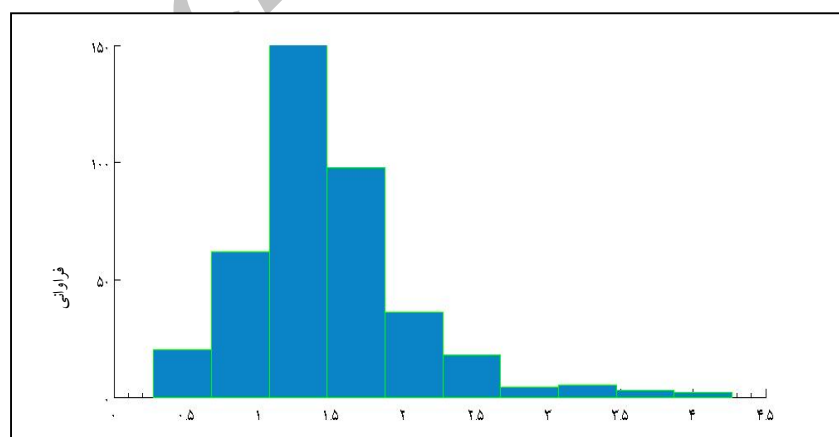


شکل ۱۲: بالاترین دمای روزانه موج ۲۵ روزه (طولانی ترین موج)
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

شدت امواج گرمایی

یکی از معیارهای مهم در شناسایی امواج گرمایی شدت موج گرماست. شدت دمای روزانه و تداوم آن می تواند یک موج گرمایی گسترده ایجاد کند. برای

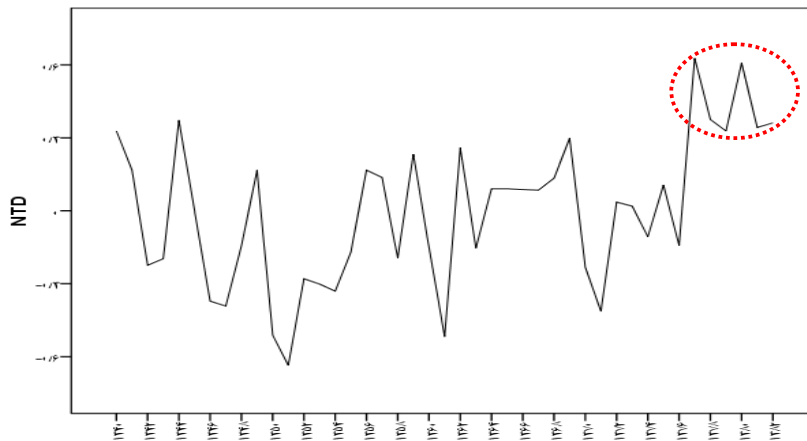
نمایش و تحلیل شدت امواج گرمایی ایران از NTD هر موج گرما استفاده شده است. میانگین NTD امواج گرمایی ۱/۵ می باشد. فراوانی ضریب NTD امواج گرمایی را در (شکل ۱۳) مشاهده می کنید.



شکل ۱۳: فراوانی ضریب NTD امواج گرمایی
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

پنجاه سال گذشته روزهای فرین گرم، شب‌های فرین گرم و امواج گرما، فراوان تر شده‌اند که این امر می‌تواند بر وضعیت سلامتی میلیون‌ها انسان در بخش‌هایی از جهان، به ویژه مناطقی که سازگاری پایین‌تری با گرما دارند، تأثیرگذار باشد (IPCC, 2007).

قوی‌ترین موج‌های گرمایی دوره‌ی سرد، در ماه‌های دی و اسفند اتفاق افتاده است که شدیدترین امواج گرمایی دهه‌ی اخیر بوده است، بررسی روند امواج گرما نشان داد که، شدت امواج گرمایی ایران در سال‌های اخیر روندی افزایشی را داشته‌اند (شکل ۱۴) در طی



شکل ۱۴: روند موج‌های گرمایی ایران (۱۳۸۳-۱۳۴۰)

مأخذ: مطالعات میدانی نکارندگان، ۱۳۹۲

بنابراین دوره‌ی سرد در طول دوره‌ی آماری در حال کوتاه شدن بوده به خصوص که موج‌های گرم در ماه‌های دی تا اسفندماه پررخداد بوده‌اند و در اوایل دوره سرد ماه‌های مهر و آبان نیز فراوانی موج‌های گرم زیاد می‌باشد. از این روی، هنگام گذر فصلی از فصل سرد به گرم (اسفندماه) و گرم به سرد (مهر و آبان) امواج گرمایی پررخدادتر بوده‌اند.

بررسی سالانه‌ی امواج گرمایی در دوره‌ی آماری منتخب نشان داد که ۳۵ درصد (۹۵ موج گرما) امواج گرمایی استخراج شده از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۲ رخ داده است. سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳ میلادی) از نظر موج گرما پررخدادترین سال بوده است. این زمان با موج‌های گرمایی اروپا همزمان بود. همچنین نتایج نشان داده فراوانی امواج پرتداوم‌تر در سال‌های اخیر افزایش یافته و شدیدترین امواج گرمایی در سال‌های بعد از سال

نتیجه

موج‌های گرمایی بخشی از رخداد اقلیم ایران زمین می‌باشند که تکرارپذیر بوده و یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی جهان می‌باشد که در ایران نیز این موج‌های گرمایی رخ می‌دهند. در این پژوهش پس از تعریف موج گرما و شاخص‌سازی آن، موج‌های گرمایی ایران در طی ۴۳ سال آمار بررسی و شناسایی گردید. ۲۸۲ موج استخراج شد که بیشترین رخداد را موج‌های دو و سه روزه داشته‌اند و سهم موج‌های پرتداوم مانند موج‌های ۱۰ روزه و بیشتر، اندک بوده و فراوانی این موج‌ها بیشتر در دوره سرد به ویژه زمستان رخ داده است. فراوانی ماهانه‌ی امواج گرمایی نشان می‌دهد که در ماه‌های زمستان به ویژه اسفندماه و در ماه‌های تابستان تیرماه بیشترین رخداد موج گرمایی بوده است و کمترین فراوانی موج‌های گرمایی در فصل بهار است.

- ورشواویان، وحید؛ علی خلیلی، نوذر قهرمان و سهراب حجام (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه‌ی اقلیمی ایران، مجله‌ی فیزیک زمین و فضا. شماره ۳۷.

- مسعودیان، سیدابوالفضل؛ محمد دارند (۱۳۹۰). تحلیل همدید سرماهای فرین ایران، جغرافیا و توسعه. شماره ۲۲.

- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۲). تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان. جلد پانزدهم. شماره ۱ و ۲.

- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۴). آب و هوای ایران، انتشارات. دانشگاه اصفهان.

- منتظری، مجید؛ ابوالفضل مسعودیان (۱۳۸۹). شناسایی الگوهای فرارفت دمایی ایران در سال‌های سرد، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۴.

-Abaurrea, J., Asin, J., Cebrian, AC., Centelles, A. (2007). Modeling and forecasting extreme hot events in the central Ebro valley, a continental-Mediterranean area. *Glob Planet Change*, 57.

-Balafoutis and Makrogiannis (2008). analysis of a heat wave phenomenon over and its implication for tourism and reaction, Department of Meteorology and Climatology Aristotle University of Thessaloniki – Greece.

-Beniston, M., Diaz, HF (2004). The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Glob Planet Change*, 44.

-Benjamin, F. Zaitchik (2006). EUROPE'S 2003 Heat Wave: A Satellite View OF Impacts and Land-Atmosphere Feedbacks, *International Journal of Climatology*, Int. J. Climate. 26.

-Della Marta, P.M. and J. Luterbacher, H. von Weissenfluh, E. Xoplaki, M. Brunet, and H. Wanner (2007). Summer heat waves over western Europe 1880-2003, their relationship to large-scale forcing and predictability, *Clim Dyn*, 29.

-Frich P, Alexander LV, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank AMG, Peterson T (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19.

۱۳۷۷ رخ داده است. سال‌های پایان دوره‌ی آماری یعنی ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ پررخدادترین سال‌های موج‌های گرمایی بود. بررسی فضایی امواج گرمایی نشان می‌دهد که فراوانی امواج گرم دوره‌ی سرد در نیمه‌ی شمالی کشور بیشتر می‌باشد و امواج گرما در سال‌های اخیر نیز افزایش یافته است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که شدت، تداوم و فراوانی امواج گرمایی ایران در سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است و رخداد آن‌ها به خصوص در دوره‌ی سرد بیشتر مشاهده شده است.

منابع

- بابائیان، ایمان؛ زهرا نجفی‌نیک، فاطمه زابلی عباسی؛

دکتر مجید حبیبی‌نوخندان؛ حامد ادب؛ شراره ملبوسی

(۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹

میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل

گردش عمومی جو ECHO-G، جغرافیا و توسعه. شماره

۱۶. زاهدان.

- دارند، محمد؛ سید ابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۰). تحلیل

همدید سرماهای فرین ایران، پایان‌نامه دکتری

اقلیم‌شناسی. دانشگاه اصفهان.

- جهانبخش، سعید؛ سیما ترابی (۱۳۸۳) بررسی و

پیش‌بینی دماو بارش در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.

شماره ۷۴. مشهد.

- شیرغلامی، هادی؛ بیژن قهرمان (۱۳۸۴). بررسی روند

تغییرات دمای متوسط سالانه دما در ایران، علوم و فنون

کشاورزی و منابع طبیعی. سال نهم. شماره اول.

- کوچکی، عوض؛ حمیدرضا شریفی؛ اسکندر زند

(۱۳۷۷). پیامدهای اکولوژیکی تغییر اقلیم، انتشارات جهاد

دانشگاهی مشهد.

- علیجانی، بهلول (۱۳۸۳). آب و هوای ایران، انتشارات

سمت.

- محمدی، حسین؛ فرحناز تقوی (۱۳۸۴). روند

شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های

جغرافیایی. شماره ۵۳.

- Rensch (2009). a tracking climatology for heat wave in southern Australia University of Melbourne, Melbourne, Australia.
- R. H. Kripalani & Ashwini Kulkarni (1999). Heat Waves and Floods across Asia: Was El Ni~no, then La Ni~na the Cause?, University of Nebraska-Lincoln, ndian Institute of Tropical Meteorology,. 1, February
<http://digitalcommons.unl.edu/droughtnetnews/50:19-37>.
- Robinson, P (2001). On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology*. 40.
- Rohli R.V. and Keim B.D (1994). Spatial and temporal characteristics of extreme-high-summer temperature events in the South-Central United States. *Phys. Geogr.*, 15, 310-324. 1994.
- Schar, C., Vidale, P.L., Luthi, D., Frei, C., Haberli, C., Liniger, M., Appenzeller, C (2004). the role of increasing temperature variability in European summer heat waves. *Nature* 427.
- Seluchi (2006). Synoptic and thermodynamic analysis of an extreme heat wave over subtropical South America, *Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguacu, Brazil, April 24-28, 2006, INPE, p. 2009-2010.Society*. 89(1).
- Souch C, Grimmond CSB (2004). Applied climatology: Heat waves. *Progress in Physical Geography*, 28.
- Stedman, J (2004). The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heat wave. *Atmos. Environ*. 38.
- Ting ding , et al (2009). Changes in hot days and heat waves in China during 1961–2007, *International Journal Of Climatology*.
- Vorgelegt von (2006). Extreme Temperature Events in Western Europe from 1880.2003, *Geographic Institute, University Bern*.
- WHO (2003). the health impacts of 2003 summer heat-waves. Briefing note for the delegations of the fifty-third session of the WHO (World Health Organization) Regional Committee for Europe.
- Fujibe, F et al (2007). Long-term changes of temperature extremes and day-today variability in Japan, *papers in Meterology and Geophysics*, 58.
- Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K. (eds) (1996). *Climate Change, The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: the physical science basis, Working Group I Contribution to the IPCC fourth assessment report*. In: Solomon S, Qin D, and Manning M, Chen Z, Marquis M.
- Kalkstein, L., J. Greene, D. Mills, A. Perrin, et al (2008). Analog European heat waves for U.S. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 79.
- Karl, T. and R. Quayle. 1981. The (1980). heat wave and drought in historical perspective. *Monthly Weather Review*. 109.
- Karl, T.R., Knight, R.W (1997). The 1995 Chicago Heat Wave: How Likely Is a Recurrence?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78 (6).
- Kovats SR, Ebi LK (2006). Heat waves and public health in Europe. *Eur J Public Health* 16.
- Kysely, J (2004). Mortality and displaced mortality Turing heat waves in the Czech Republic. *Int J Biometeorol* 49:91–97.
- Meehl GA, Tebaldi C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305.
- Merriam-Webster Online (2001). *Collegiate Dictionary*. <http://www.m-w.com/home.htm>
- NOAA (2007). *Natural Hazard Statistics*. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Raisanen J, Hansson U, Ullerstig A, Doscher R, Graham LP, Jones C, Meier HEM, Samuelsson P, Willen U (2004). European climate in the late twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics* 22.
- Rafael O. García Cueto & Adalberto Tejeda Martinez & Ernesto Jauregui Ostos (2009). Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of México: current trends and in climate change scenarios, *Int J Biometeorol* 54:335–345