

جغرافیا و توسعه شماره ۳۵ تابستان ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۱/۶/۲۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۹/۲۵

صفحات: ۱۸۰ - ۱۶۷

شناسایی و تحلیل زمانی - مکانی امواج گرمایی ایران زمین

دکتر محمد دارند^۱

چکیده

هدف از انجام این پژوهش شناسایی امواج گرما و واکاوی زمانی - مکانی آن‌ها بر روی گستره‌ی ایران زمین است. برای انجام این پژوهش از داده‌های پیشینه و کمینه‌ی روزانه‌ی داده‌های درون‌یابی شده‌ی پایگاه داده‌ی اسفزاری^۲ طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ استفاده شد. قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر است. جهت شناسایی امواج گرمایی از شش نمایه بر پایه‌ی صدک‌های ۹۰، ۹۵ و ۹۹م استفاده شد که شدت، دوام و بسامد رخداد امواج گرمایی را نمایان می‌کنند. شناسایی و معناداری روند نمایه‌ها طی دوره‌ی مورد پژوهش به کمک آزمون ناپارامتری من-کندال آزمون شد و شیب و نرخ روند به کمک رگرسیون خطی برآورد شد. 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 هم‌اندازه و یکسان نیست. بر روی سرزمین‌های پست، هموار و دشت‌ها هم از لحاظ شدت و هم به لحاظ دوام و فراوانی، امواج گرمایی روند روبه‌افزایشی را نشان می‌دهند. در میان مناطق یاد شده، بیشترین شیب و نرخ تغییرات روند افزایشی در دشت لوت (شمال شرق کرمان)، سرزمین‌های هموار شمال شرق بندرعباس، دشت کویر و خوزستان مشاهده شد. بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز و بلندی‌های پراکنده بر روی گستره‌ی ایران زمین نرخ روند امواج گرمایی رو به کاهش است. شدت کاهشی بسامد، دوام و شدت امواج گرمایی بر روی این مناطق بیشتر از نرخ افزایشی آن‌ها بر روی سرزمین‌های پست و کم‌ارتفاع است. بر روی ارتفاعات غرب شهرکرد نرخ کاهشی روند نمایه‌ها به پیشینه‌ی خود می‌رسد. بین نوع روند نمایه‌ها و پراکنش مکانی آن‌ها بر پایه‌ی صدک‌های ۹۵ و ۹۹م تفاوتی وجود ندارد ولی نرخ روند نمایه‌ها بر پایه‌ی صدک ۹۵م شدیدتر است.

کلیدواژه‌ها: امواج گرمایی، روند، آستانه‌های صدکی، ایران.

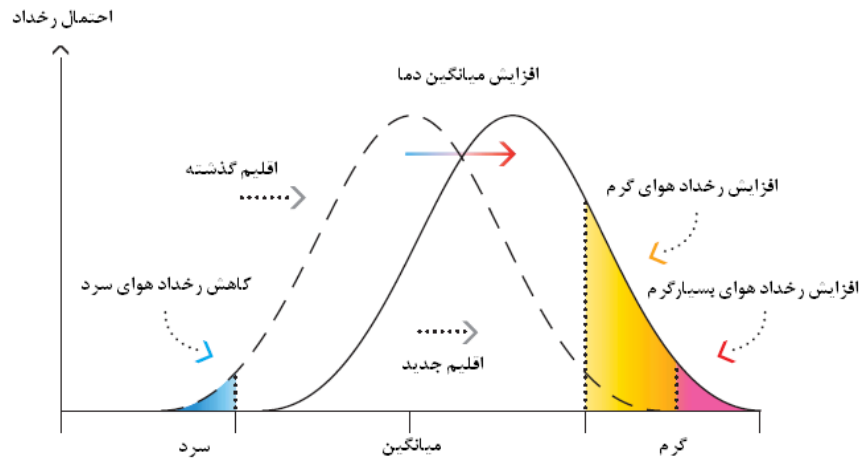
مقدمه

تغییر اقلیم یکی از جدی‌ترین تهدیدهای زندگی بشر و سبک زندگی کنونی او به حساب می‌آید (Confalonieri et al, 2007:393). یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم و گرمایش جهانی افزایش بسامد رخداد پدیده‌های فرین اقلیمی است. برای نمونه می‌توان به افزایش رخداد پدیده‌هایی همچون امواج گرمایی، سیل، خشکسالی‌های پاییزی، آتش‌سوزی جنگل‌ها، بارش‌های ابرسنگین و غیره اشاره کرد. در این پژوهش سعی بر آن است که امواج گرمایی ایران را شناسایی و رخداد آن را در گستره‌ی ایران زمین طی چند دهه‌ی اخیر بررسی نماییم. باتوجه به پیامدهای زیست‌محیطی بسیار ناگوار و هزینه‌های سنگینی که رخداد این پدیده به دنبال دارد، پژوهش‌های بسیار زیادی بر روی امواج گرمایی در سراسر مناطق جهان انجام شده است. نتایج پژوهش‌ها بیانگر آن است که افزایش گازهای گلخانه‌ای نقش مستقیمی بر طولانی‌شدن و شدت امواج گرما دارد (Frich et al, 2002: 193-212). کاهش رطوبت خاک نیز در برخی مناطق نقش غیر مستقیمی در بسامد و شدت آن دارد. اگر خیلی خوش‌بین باشیم و فرض را بر این بگذاریم که از امروز به بعد انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو متوقف شود، میانگین دمای کره‌ی زمین به دلیل فشارهای بیش از حدی که به آن وارد شده است، به روند افزایشی خود ادامه خواهد داد (Meehl et al, 2005: 1770). اما این امکان توهمی بیش نیست چراکه نه تنها جلوی انتشار گازهای گلخانه‌ای کنونی نگرفته شده بلکه بر میزان آن نیز افزوده شده است. با این اوصاف رخداد پدیده‌های فرین اقلیمی امکان دارد در آینده تغییر کند. انتظار می‌رود که در آینده شدت امواج گرمایی، بسامد و مدت دوام

آن افزایش یابد و رخدادهایی نظیر امواج گرمایی سال ۲۰۰۳ در اروپا، بسیار عادی جلوه کنند (Stott et al, 2004:610؛ Meehl et al, 2007:749-844) (Beniston & Diaz, 2004:73-81:614).
 بر پایه‌ی شکل ۱ تغییر اقلیم و افزایش دما منجر به کاهش رخداد سرماهای فرین و افزایش رخداد گرماهای فرین می‌شود (Folland et al, 2001:155). یافته‌های اغلب پژوهش‌ها تأییدی بر این موضوع است. در پژوهشی بر روی شهرهای نیمه‌ی شمالی ایالات متحده آمریکا از سه شاخص موج‌های گرمایی: ۱- دمای بیشینه برای دست کم سه روز بیش از صدک ۹۷/۵ ام باشد، ۲- میانگین دمای کمینه برای دست کم سه روز بیش از صدک ۹۷/۵ ام باشد و ۳- دمای بیشینه طی کل دوره بیش از صدک ۸۱ ام باشد، بهره گرفته شد و یافته‌ها نشان داد که فراوانی و بسامد موج‌های گرم ۳۵ درصد و دوام آنها ۲۷ درصد افزایش یافته است (Huth et al, 2000: 29-60). بررسی روند رخداد امواج گرم جنوب کالیفرنیا نشان داد که تعداد امواج گرما (۳ بار به ازای هر سده) افزایش یافته است (Tamrazian & Ladochy, 2008:59).
 لازم به ذکر است که چنین وردایی در رفتار فرین‌های دمایی در مناطق مختلف مشابه نیست و ممکن است عکس آن مشاهده شود. در ایران مسعودیان (۱۳۸۳)، محمدی و تقوی (۱۳۸۴)، محمدی و تقوی (۱۳۸۶)، جهانبخش و ترابی (۱۳۸۴)، ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴)، رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) و عزیزی و روشنی (۱۳۸۷) پژوهش‌هایی را بر روی تغییرات رفتار دما انجام داده‌اند. جامع‌ترین پژوهش بر روی امواج گرمای ایران مربوط به مطالعه‌ی اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۱) است که با نگاه همدیدی و آماری انجام شده است. ایشان به کمک داده‌های درون‌یابی شده‌ی پایگاه داده اسفزاری ویرایش

پایان زمستان است. همچنین بسامد رخداد آنها طی سال‌های اخیر بیشتر شده است.

نخست و با کمک روش فومیایکی امواج گرمایی را شناسایی کردند. یافته‌ها نشان داد که امواج گرمایی کوتاه تداوم بیشتری دارند و کانون بیشینه امواج ماهانه



شکل ۱: تغییر در احتمال رخدادهای فرین دما
مأخذ: Folland et al, 2001:155

معرفی شده است. در این گروه برای نمونه می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد. در کشور چین در هر روز از سال هنگامی که دمای بیشینه‌ی بالای ۳۵ درجه‌ی سانتیگراد باشد، موج گرما رخ داده است. در حالی‌که در انگلستان آستانه‌های دمای کمینه و بیشینه از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است و شرط رخداد آن این است که بیش از دو روز (یک شب نیز در ضمن آن روی دهد) دوام داشته باشد. سازمان هواشناسی هلند برای سامانه‌ی هشدار بهنگام سلامتی، تعریف زیر را از موج گرما ارائه می‌کند. موج گرما زمانی اتفاق می‌افتد که بیشینه‌ی دما برای دست‌کم ۵ روز متوالی بیش از ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد باشد و به شرطی که دست‌کم سه روز از ۵ روز، دما بحرانی و بیش از ۳۰ درجه‌ی سانتیگراد باشد. هنگامی‌که نمایه‌ی گرمای روزانه (که ترکیبی از پارامتر دما و رطوبت است) به ۴۰/۶ درجه‌ی سانتیگراد و دمای کمینه‌ی شبانه به ۲۶/۷ درجه‌ی سانتیگراد برسد و این شرایط برای دست‌کم ۴۸ ساعت

داده و روش‌شناسی

یکی از مشکلاتی که پژوهشگران در مطالعه‌ی امواج گرمایی با آن روبرو هستند، تعریف جامع و دقیق آن است. 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.

در یک دسته‌بندی کلی می‌توان تعاریفی را که از موج گرما وجود دارد در سه گروه جای داد. دسته‌ی اول که در آن پژوهشگران آستانه‌ی عددی را برای تعریف موج گرما ارائه می‌کنند. در کشورهای مختلف آستانه‌های متفاوتی برای موج گرما توسط پژوهشگران

ادامه داشته باشد در ایالات متحدهی امریکا، سازمان هواشناسی ملی از قبل هشدار صادر می‌کند. دسته‌ی دوم پژوهش‌هایی است که موج گرما را بر پایه‌ی آستانه‌های صدکی تعریف کرده‌اند. برای نمونه، دمای بیشینه طی سه روز بیش از صدک ۹۰م (Beniston & Diaz, 2004: 73-81)، دوام سه روزه‌ی بیشینه‌ی دما بیش از صدک ۹۵م (Gosling et al, 2007:525-540) و دوام سه روزه‌ی میانگین دما بیش از صدک ۹۷م (Hajat et al, 2002:367) از جمله پژوهش‌هایی هستند که آستانه‌های صدکی را برای شناسایی موج گرما بکار گرفته‌اند. همچنین در پژوهشی با عنوان توزیع مکانی امواج گرما بر روی استرالیا از ۵ شاخص که در جدول ۱ آمده است برای شناسایی امواج گرم بهره گرفته شده است. اولین شاخص، میزان صدک ۹۰م دمای بیشینه‌ی سالانه است که با 90p نشان داده شده است. استفاده از

صدک ۹۰م تاحدودی اختیاری است ولی هماهنگ با مطالعات پیشین است و نمونه‌های منطقی و خوبی را برای اندازه‌گیری فرین‌ها در اختیار می‌گذارد. شاخص دوم، تعداد دنباله‌ها(امواج گرمایی) در هر سال است. موج گرمایی روزهای پیاپی است که دمای بیشینه بیش از مقدار صدک ۹۰م است که به عنوان دنباله-های جدا از هم می‌باشند. شاخص سوم و چهارم دوام موج گرما را می‌سنجند. شاخص سوم میانگین طول دنباله‌ی امواج گرمایی در هر سال و شاخص چهارم طولانی‌ترین دنباله در هر سال را محاسبه می‌کند. آخرین شاخص برپایه‌ی میانگین دمای گرمترین سه‌شب پیاپی در هر سال است (Tryhorn & Risbey, 2006: 171). این شاخص، نقش مهمی در مرگ و میرهای مرتبط با گرما دارد (Karl & Meehl & Tebaldi, 2004:994-997).
(Knight, 1997: 1107-1119).

جدول ۱: نمایه‌های شناسایی امواج گرما

شماره شاخص	نام نمایه	تعریف
۱	90p	میزان صدک ۹۰م بیشینه‌ی دما برای هر سال جداگانه طی دوره‌ی پژوهش
۲	تعداد دنباله‌ها	تعداد دنباله‌های روزهای پیاپی (۱ یا بالاتر) در هر سال که دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰م کل دوره باشد
۳	میانگین طول دنباله‌ها	میانگین طول دنباله‌های روزهای پیاپی در هر سال که دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰م کل دوره باشد
۴	طولانی‌ترین دنباله	طولانی‌ترین دنباله‌ی روزهای پیاپی که دمای بیشینه بیش از صدک ۹۰م کل دوره باشد
۵	شاخص کمینه‌ی دما	میانگین گرم‌ترین سه روز پیاپی دمای کمینه (شبانه) در هر سال

مأخذ: Tryhorn & Risbey, 2006: 171

تغییر اقلیم در مناطق مختلف کره‌ی زمین است. این گروه موج گرما را این چنین تعریف می‌کند. موج گرما زمانی اتفاق می‌افتد که دست‌کم ۶ روز پیاپی دمای روزانه (بیشینه) بیشتر از صدک ۹۰م دوره‌ی مبنا (دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ یا ۲۰۰۰-۱۹۷۱) باشد. باوجود

دسته‌ی سوم از تعریف موج گرما، تعریفی است که به کمک تیم پژوهشی و متخصص شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها که ترکیبی از اندیشمندان تغییر اقلیم سراسر جهان است ارائه شده است. هدف از این تعریف مقایسه‌ی رخداد امواج گرمایی به عنوان نشانه‌ای از

ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۴۸ بسط و گسترش یافت. این آزمون را می‌توان بر روی یک سری زمانی که نرمال نیست و از هیچ توزیع خاصی پیروی نمی‌کند، برازش داد. از این روش برای آزمون فرض تصادفی بودن توالی داده‌ها در مقابل وجود روند استفاده می‌گردد. کاربرد این روش توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است. مراحل محاسبه‌ی آماره این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

گام اول محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به صورت زیر:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

گام دوم محاسبه واریانس به کمک یکی از روابط زیر:

$$\text{if } n > 10 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

$$\text{if } n < 10 \quad (4)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نشان‌دهنده‌ی فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد. در گام سوم آماره Z توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

این‌که هدف آن‌ها از ارائه‌ی چنین تعریفی، جامعیت و دقت کافی آن برای نمایان ساختن امواج گرما در سراسر کره‌ی زمین بود، ولی برای مناطق برون‌عرض‌های میانه کاربرد ندارد (Frich et al., 2002: 193-212). آستانه‌های عددی برای کشور پهناوری مثل ایران که از تنوع توپوگرافی بسیار زیادی برخوردار است کار بست‌پذیر نمی‌باشد چرا که ممکن است برای نمونه آستانه‌ی دمای ۳۰ درجه برای مناطق شمالی کشور آستانه‌ی مناسبی جهت نمایان ساختن امواج گرمایی باشد ولی برای مناطق جنوبی ایران که در بیشتر مواقع سال دماهای بالای ۳۰ درجه را نشان می‌دهند آستانه‌ی مناسبی نباشد. بر این اساس در این پژوهش از آستانه‌های صدکی (۹۰ و ۹۵م) تریهورن و ریسبی^۱ در سال ۲۰۰۶ و تعریفی که تیم کارشناسی تغییر اقلیم و نمایه‌ها از موج گرما ارائه کرده‌اند، استفاده شده است. برای انجام این پژوهش، از داده‌های درون‌یابی شده‌ی دمای بیشینه و کمینه‌ی روزانه‌ی پایگاه اسفزاری^۲ طی بازه‌ی زمانی ۱۹۶۲/۱/۱ تا ۲۰۰۴/۱۲/۳۱ بر روی ۷۱۸۷ یاخته (گستره‌ی ایران) استفاده شد. یقیناً طی چندسال اخیر تغییرات امواج گرما بر روی ایران دستخوش تغییرات بیشتری شده است ولی متأسفانه به دلیل عدم دسترسی به داده‌های دمای روزانه‌ی ایستگاه‌های هواشناس کل کشور، داده‌های درون‌یابی شده‌ی این پایگاه تا اواخر سال ۲۰۰۴ فراهم شده است. تفکیک مکانی یاخته‌ها ۱۵×۱۵ کیلومتر هستند. بر روی هر کدام از یاخته‌ها شش شاخص حساب شد و به کمک روش ناپارامتری من‌کندال^۳ معناداری روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد آزمون شد. برای یاخته‌هایی که روند آن‌ها معنادار بود، شیب روند به کمک روش رگرسیون خطی محاسبه شد. آزمون من‌کندال ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵

1- Tryhorn & Risbey

۲- پایگاه داده اسفزاری توسط سید ابوالفضل مسعودیان در دانشگاه اصفهان آماده شده است.

3-Mann Kendal

پژوهش در شکل ۲ آمده است. همانطور که از شکل برمی آید روند این نمایه برای هر سه صدک بر روی پهنه‌ی ایران در سرزمین‌های پست و هموار، مثبت و روبه افزایش است. بر روی دشت لوت، دشت کویر، سرزمین‌های کم‌ارتفاع شمال شرق بندرعباس، دشت خوزستان، جنوب تبریز و غرب کرمانشاه مقادیر این نمایه رو به افزایش است. تغییرات این نمایه برای صدک‌های ۹۵ و ۹۹م بسیار بزرگتر از تغییرات آن برای صدک ۹۰م است. نرخ افزایشی آن به ازای هر دهه برای صدک ۹۰م از ۰/۱ تا ۰/۴ درجه‌ی سانتیگراد متفاوت است. درحالی‌که برای صدک‌های ۹۵ و ۹۹م در برخی مناطق به ۳/۵ درجه‌ی سلسیوس می‌رسد. این مطلب خود گویای افزایش مقادیر فرین دما طی دوره‌ی مورد پژوهش است. بیشترین شیب روند افزایشی در شمال شرق کرمان بر روی شمال دشت لوت مشاهده شد که به ازای هر ده سال شیب روند نمایه‌ی یاد شده برای صدک ۹۰م، ۰/۳ تا ۰/۴ درجه‌ی سانتیگراد و برای صدک‌های ۹۵ و ۹۹م، ۳/۵ درجه افزایش یافته است. بر روی ارتفاعات ایران روند این شاخص منفی است. به بیانی دیگر بر روی ارتفاعات فرین‌های گرم طی دوره‌ی مورد پژوهش کاهش یافته است. بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس، غرب شهرکرد، خرم‌آباد و ایلام، ارتفاعات بین اردبیل-زنجان، شمال سمنج، شرق بیرجند، جنوب زاهدان مقادیر فرین گرم کاهش یافته است. بطور کلی می‌توان گفت که سرزمین‌های پست و کم‌ارتفاع طی دوره‌ی مورد پژوهش گرم‌تر و ارتفاعات و بلندی‌ها سردتر شده‌اند. این نتایج تأییدی بر یافته‌های پیشین مسعودیان (۱۳۸۳) است.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

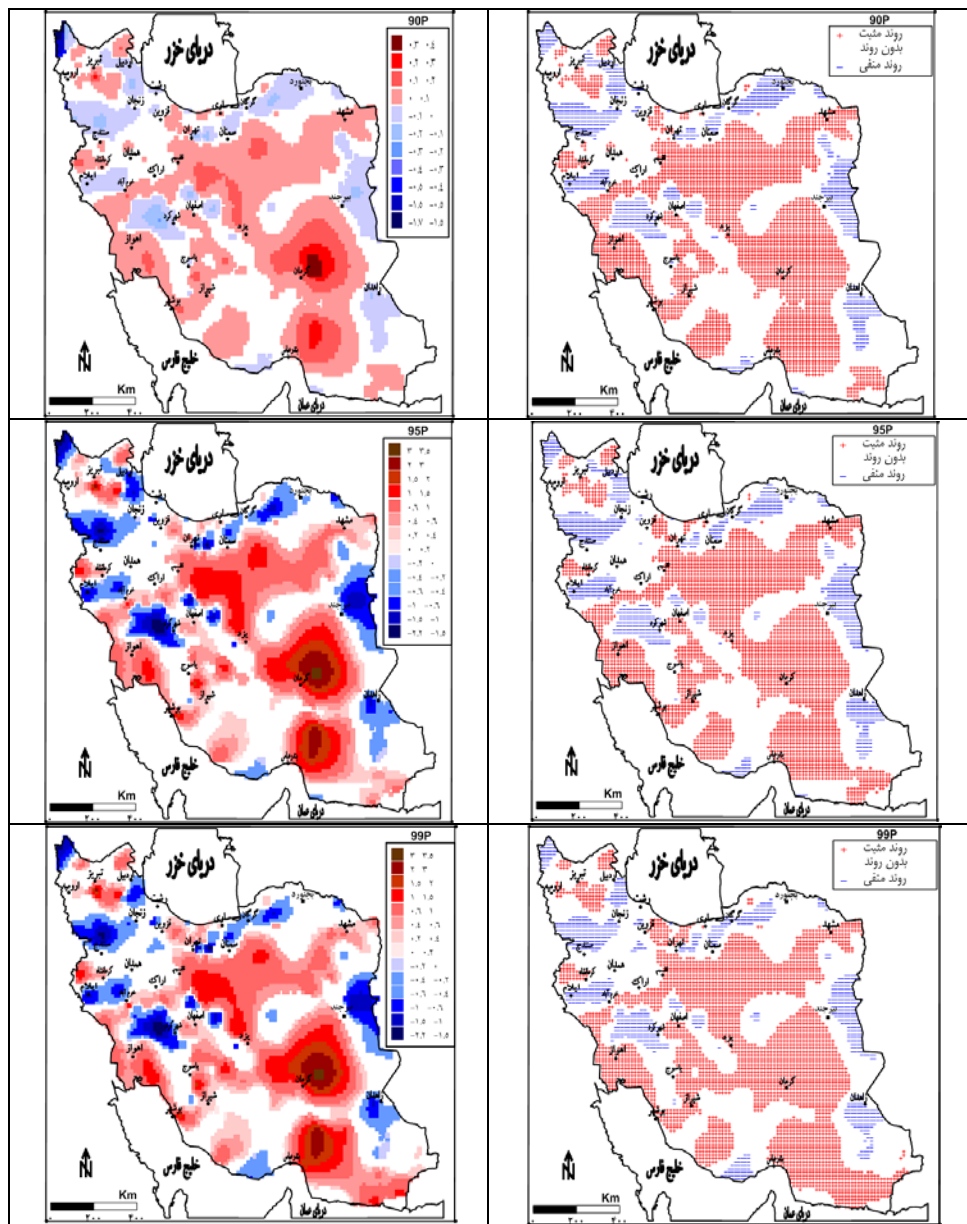
گام چهارم آزمون فرض است. فرض صفر بر عدم وجود روند و تصادفی بودن آن دلالت دارد. به بیانی دیگر Z به لحاظ آماری معنی‌دار نیست (سری زمانی نمایه‌ی مورد نظر از خود روندی نشان نمی‌دهد). زمانی این فرض تأیید می‌شود که $-Z_{\alpha/2} < |Z| < Z_{\alpha/2}$ باشد. مقادیر $Z_{\alpha/2}$ انحراف نرمال استاندارد (Z جدول) است و α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود. فرض مقابل یا فرض یک بر وجود روند دلالت دارد و بدین معنی است که Z به لحاظ آماری معنی‌دار است. زمانی این فرض تأیید می‌شود که $Z < -Z_{\alpha/2}$ یا $Z > Z_{\alpha/2}$ باشد (Gan, 1998:3009-3015). اگر Z کوچکتر از صفر باشد، روند منفی سری زمانی نمایه‌ی مورد نظر را تأیید می‌کنیم و در صورتی‌که Z بزرگتر از صفر باشد، روند مثبت سری زمانی را رد نمی‌کنیم.

یافته‌های پژوهش

همانطور که در بالا ذکر شد در این پژوهش شش نمایه بر پایه‌ی دمای بیشینه و کمینه‌ی روزانه برای شناسایی تغییرات مکانی-زمانی امواج گرمایی در ایران زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. نمایه‌ها بر پایه‌ی صدک ۹۰ و ۹۵ و ۹۹م بیشینه‌ی دمای کل دوره و برای هر سال بطور مجزا محاسبه شد.

صدک ۹۰، ۹۵ و ۹۹م دمای بیشینه

روند و تغییرات نمایه‌ی صدک ۹۰، ۹۵ و ۹۹م بیشینه‌ی دما برای هر سال طی دوره‌ی آماری، یکی از نمایه‌هایی است که رفتار مقادیر فرین گرم را به ما نشان می‌دهد. روند و تغییرات آن طی دوره‌ی مورد



شکل ۲: روند و شیب روند نمایه‌های صدک ۹۰، ۹۵ و ۹۹ دمای بیشینه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارنده، ۱۳۹۰

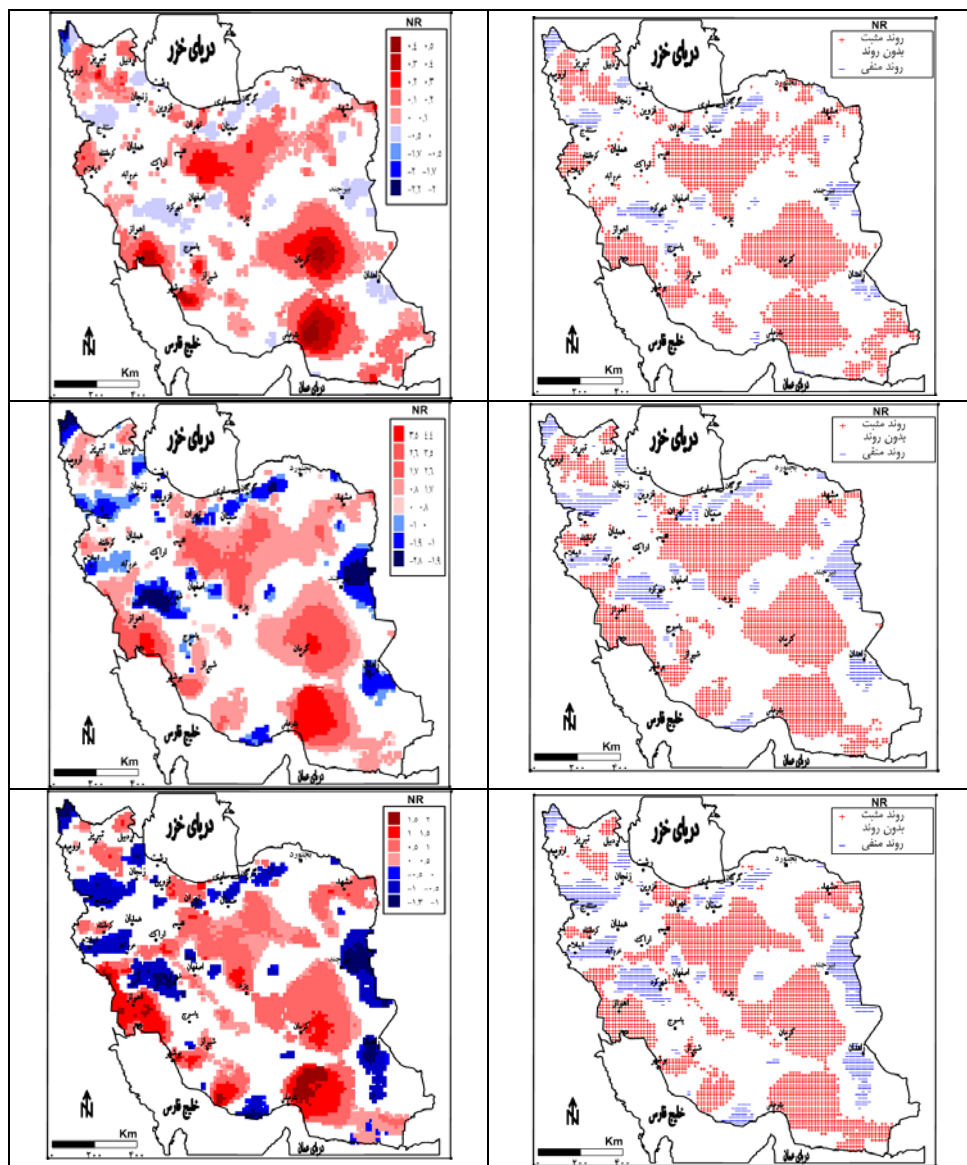
تعداد دنباله‌ها (امواج گرمایی)

تعداد دنباله‌ها بیانگر تعداد امواج گرمایی با دوام دست‌کم یک روزه و بیشتر است. روند و تغییرات این نمایه رفتار امواج گرمایی را آشکار می‌سازد. نتایج نشان داد که بطور کلی تعداد امواج گرمایی بر روی درصد بزرگی از گستره‌ی ایران زمین افزایش یافته است.

همانطور که در بالا ذکر شد روند نمایه‌های صدکی (فرین گرم) طی دوره‌ی مورد پژوهش روبه افزایش است. بر روی مناطقی که فرین‌های گرم افزایش یافته، تعداد امواج گرمایی نیز رو به افزایش است. بنابراین می‌توان گفت که افزایش فرین‌های گرم در قالب امواج گرم و به‌صورت پیاپی نمود پیدا می‌کنند. نرخ تغییرات

روبه افزایش است. طی دوره‌ی مورد پژوهش بیش از ۴ دنباله (موج گرما) در شمال شرق بندرعباس افزایش یافته است. درحالی که بر روی مناطق مرتفع تعداد امواج گرمایی کاهش یافته است برای نمونه بر روی ارتفاعات غرب شهرکرد و شرق بیرجند حدود ۳ موج گرم کاهش یافته است.

تعداد امواج گرمایی برپایه‌ی صدک ۹۵م بیشتر از نرخ تغییرات این نمایه برپایه‌ی صدک ۹۰ و ۹۹م است ولی از لحاظ پراکنش مکانی نوع روند تفاوتی چندانی بین آن‌ها مشاهده نمی‌شود. بر روی دشت لوت، دشت کویر، دشت خوزستان، جنوب تبریز و سرزمین‌های کم‌ارتفاع شمال شرق بندرعباس تعداد امواج گرمایی



شکل ۳: روند و شیب روند تعداد دنباله‌ها (امواج گرمایی) بر پایه‌ی صدک ۹۰ (بالا)، ۹۵ (وسط) و ۹۹م (پایین) دمای بیشینه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارنده، ۱۳۹۰

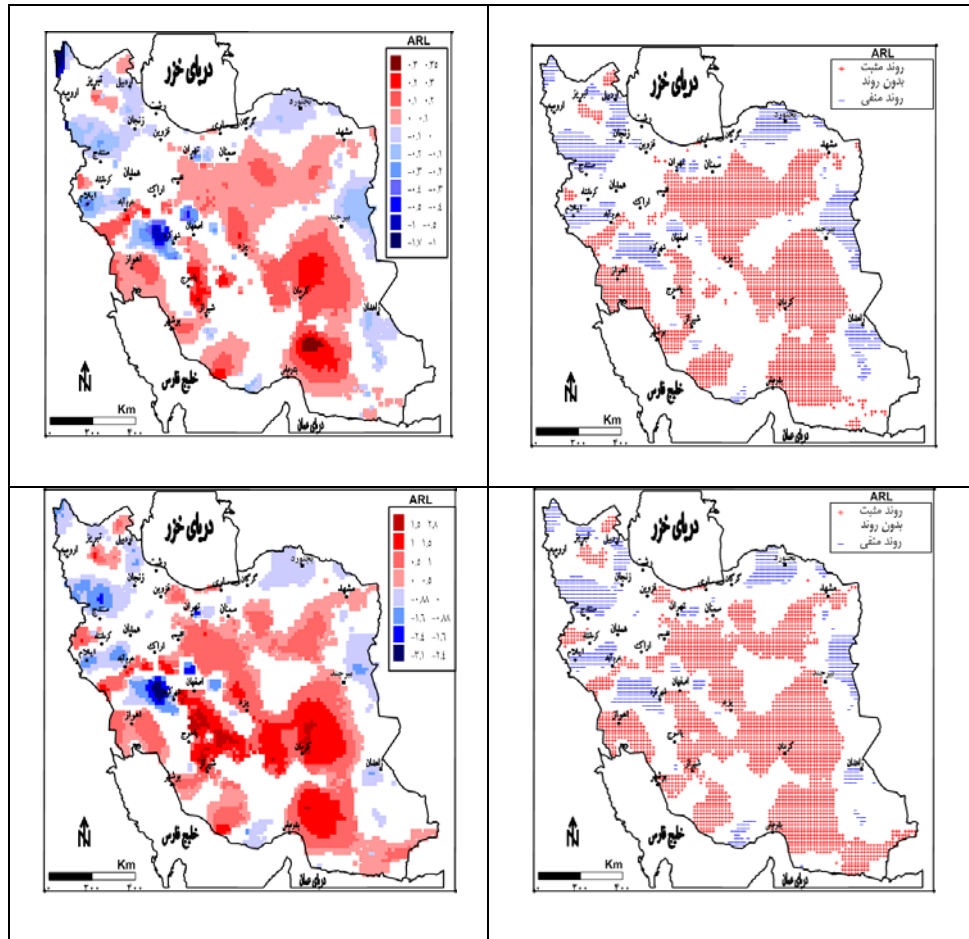
میانگین طول دنباله‌ها (امواج گرمایی)

میانگین طول دنباله‌ها دوام و ماندگاری امواج گرمایی را نشان می‌دهد. طول دنباله‌ها برپایه‌ی صدک ۹۹م از روند معناداری را به لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان نداد. نرخ تغییرات طول دنباله‌ها برپایه‌ی صدک ۹۵م بزرگتر از صدک ۹۰م است. بیشترین روند افزایشی این نمایه بر روی دشت‌های شمال شرق بندرعباس، دشت لوت و مناطق بین یاسوج و شیراز مشاهده شد. بر پایه‌ی صدک ۹۵م نرخ افزایش دوام امواج گرمایی بر روی دشت لوت و مناطق بین شیراز و یاسوج بین ۱/۵ تا ۲/۸ روز به ازای هر ده سال افزایش یافته است. درحالی‌که بر روی ارتفاعات و بلندی‌ها دوام امواج گرمایی کاهش یافته است. بیشترین نرخ کاهش دوام امواج گرمایی بر روی شهرکرد مشاهده شد. بر روی مناطق یاد شده حدود ۳ روز دوام امواج گرمایی کاهش یافته است.

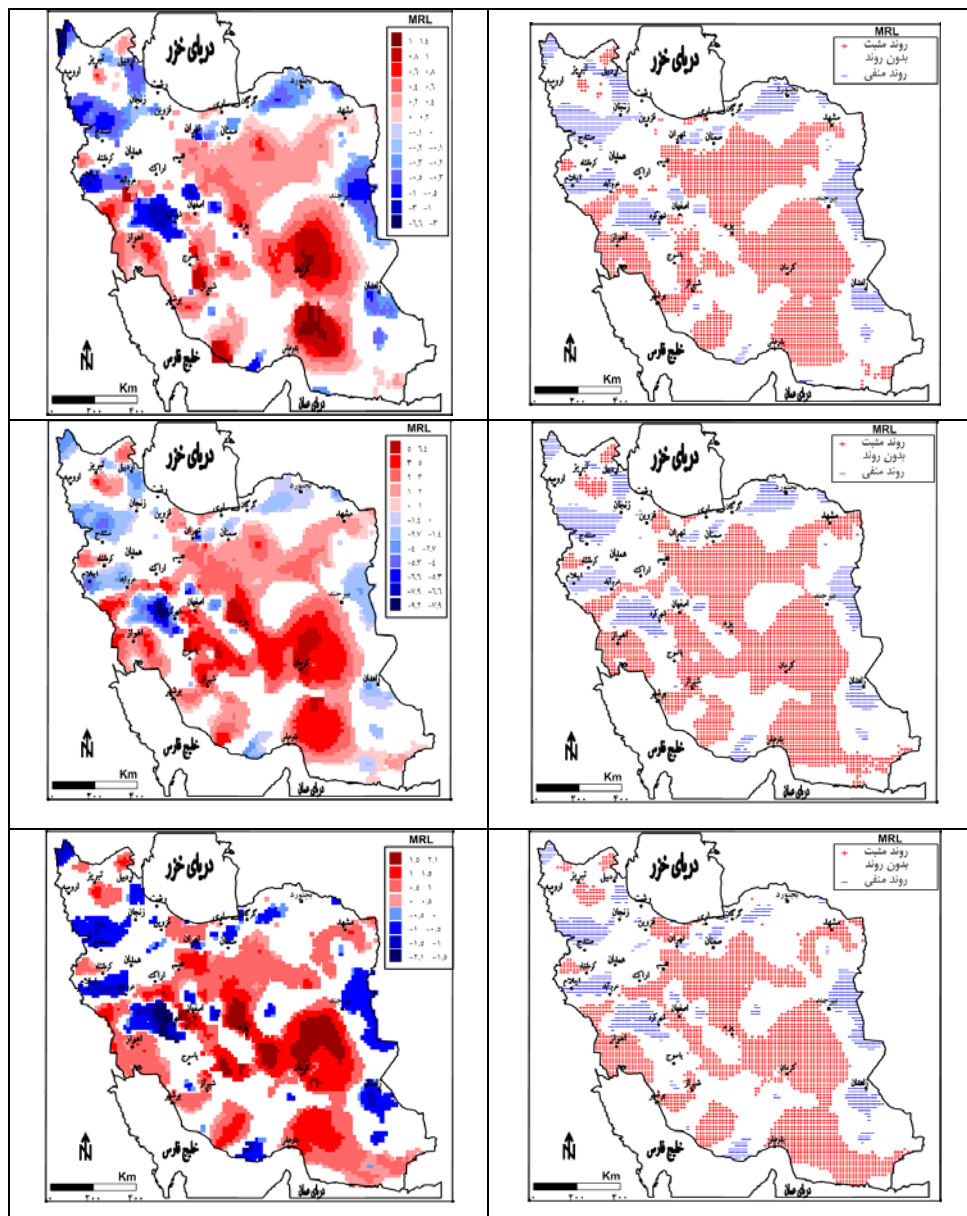
طولانی‌ترین دنباله (امواج گرمایی)

روند طولانی‌ترین موج گرما طی دوره‌ی مورد پژوهش همانند سایر نمایه‌ها بر روی گستره‌ی ایران زمین رو به افزایش است. شیب و نرخ روند در این نمایه نیز بر پایه‌ی صدک ۹۵م بیشتر از صدک ۹۰ و ۹۹م است. امواج گرمای طولانی و ماندگار بر روی سرزمین‌های پست و هموار و دشت‌ها طولانی‌تر شده و بر روی بلندی‌ها دوام

آن‌ها کاهش یافته است. بیشترین شیب روند افزایشی این نمایه بر روی دشت لوت، شمال شرق بندرعباس و شیراز قرار دارد. در مناطق یاد شده بر پایه‌ی صدک ۹۰م بیش از یک روز دوام امواج گرمایی افزایش یافته است. درحالی‌که بر روی همین مناطق برپایه‌ی صدک ۹۵م بیش از ۶ روز دوام امواج طولانی بیشتر شده و بر مانایی آن‌ها افزوده شده است. نرخ کاهش دوام امواج گرمایی طولانی بر روی بلندی‌ها بیشتر از شیب روند افزایشی آن بر روی سرزمین‌های پست و هموار است. بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات غرب شهرکرد شیب روند کاهش دوام این نمایه بیش از ۶ روز (صدک ۹۰م) و ۹ روز (صدک ۹۵م) کاهش یافته است.



شکل ۴: روند و شیب روند میانگین طول دنباله‌ها (امواج گرمایی) بر پایه‌ی صدک ۹۰ (بالا) و ۹۵ (پایین) مأخذ: مطالعات میدانی نگارنده، ۱۳۹۰



شکل ۵: روند و شیب روند طولانی ترین دنباله‌ها (امواج گرمایی) بر پایه‌ی صدک ۹۰ (بالا)، ۹۵ (وسط) و ۹۹ (پایین) دمای بیشینه
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارنده، ۱۳۹۰

شاخص دمای کمینه

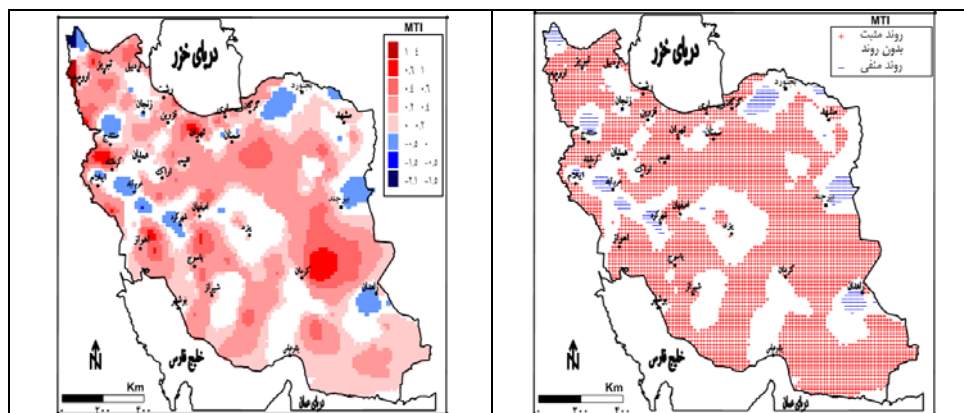
باتوجه به تعریفی که از شاخص دمای کمینه ارائه شد این نمایه بیانگر موج‌های گرمای شدید شبانه هستند و به کمک دمای شبانه قابل اندازه‌گیری است و در بیشتر گستره‌ی ایران زمین روند مثبت و معناداری را نشان می‌دهد. بر روی دشت لوت، تهران، غرب

کرمانشاه، شمال شرق اهواز و غرب ارومیه نرخ افزایش شدت امواج گرمایی شدید نسبت به سایر مناطق بیشتر است. در این گونه مناطق حدود ۱ درجه‌ی سلسیوس شدت امواج گرمایی شبانه افزایش یافته است. بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات غرب شهرکرد روند این نمایه کاهشی است.

شاخص طول دوام گرما

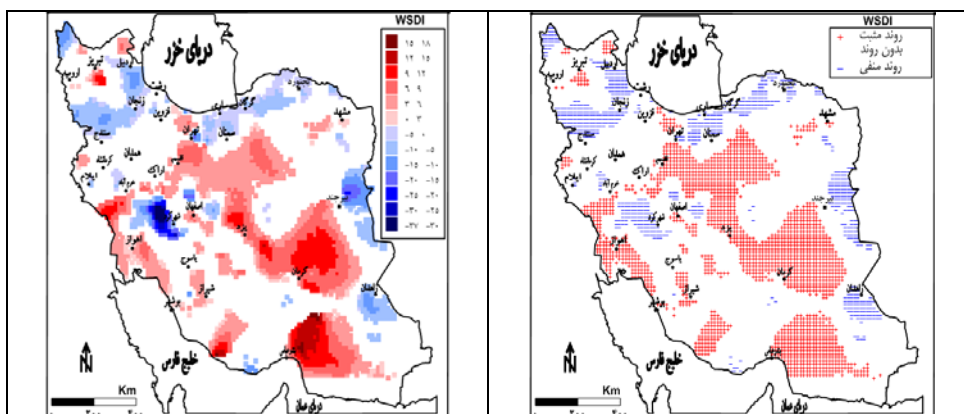
شاخص طول دوام گرما شاخصی است که با توجه به صدک ۹۰ام دمای بیشینه در دوره‌ی مبنای سی‌ساله‌ی هواشناسی ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ محاسبه می‌شود و مدت دوام آن دست‌کم باید ۶ روز پیاپی باشد تا یک دوره‌ی گرم یا یک موج گرم نام‌گذاری شود. روند این شاخص نیز همانند سایر شاخص‌های دیگر بر روی سرزمین‌های پست و هموار و دشت‌ها، مثبت و بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات منفی است. بر روی دشت لوت، دشت کویر،

دشت‌های هموار شمال‌شرق بندرعباس، دشت خوزستان و جنوب تبریز شیب و نرخ روند این شاخص طی دوره‌ی مورد پژوهش رو به افزایش است. بیشترین افزایش این شاخص در دشت‌های هموار شمال‌شرق بندرعباس مشاهده شد که ۱۵ الی ۱۸ روز بر دوام امواج گرمایی افزایش یافته است. بر روی ارتفاعات غرب شهر کرد از دوام دوره‌ی گرم به شدت کاسته شده و طی دوره‌ی مورد پژوهش به طور متوسط ۳۰ الی ۳۷ روز کاهش یافته است.



شکل ۶: روند و شیب روند نمایه‌ی بیشینه‌ی دمای کمینه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۷: روند و شیب روند نمایه‌ی شاخص دوام دوره‌ی گرم به ازای هر دهه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارنده، ۱۳۹۰

نتیجه

دو صدک مشاهده شد. شیب روند نمایه‌ها برپایه‌ی صدک ۹۵م شدیدتر از شیب روند نمایه‌ها برپایه‌ی صدک ۹۰ و ۹۹م است. با توجه به روند به رشد دما و رخداد فرین‌های گرم به صورت پیاپی (دنباله) و امواج گرمایی طی چند سال اخیر (از سال ۲۰۰۴ به بعد) به نظر می‌رسد بر بسامد، شدت و دوام امواج گرمایی افزوده شده است. بنابراین افزایش بسامد رخداد امواج گرمایی، مانا تر شدن و شدت یافتن آن‌ها در قالب افزایش تصاعدی مقادیر فرین دما، پیامدهای بسیار ناگواری را به ویژه برای ساکنان و زیست‌بوم‌های مناطق مرکزی و جنوبی ایران زمین به دنبال خواهد داشت که لازم است این مهم در کانون توجه مدیران و برنامه‌ریزان در مقیاس کلان و ملی قرار گیرد.

منابع

- ابراهیمی، حسن؛ امین عزیزاده؛ سهیلا جوانمرد (۱۳۸۴). بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه، شماره ۴ (پیاپی ۷۹).
- اسماعیل‌نژاد، مرتضی (۱۳۹۱). شناسایی امواج گرمایی ایران و ارتباط آن با الگوهای همدیدی، پایان نامه دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- جهانبخش، سعید؛ سیما ترابی (۱۳۸۴). بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۴.
- رحیم‌زاده، فاطمه؛ احمد عسگری؛ ابراهیم فتاحی؛ نوشین محمدیان؛ افسانه تقی‌پور (۱۳۸۷). روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۳.
- عزیززی، قاسم؛ محمود روشنی (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی خزر به روش من‌کندال، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴.
- محمدی، حسین؛ فرحناز تقوی (۱۳۸۴). روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳.

هدف این پژوهش شناسایی و تحلیل زمانی- مکانی امواج گرما در ایران زمین بود. جهت شناسایی امواج گرما از شش شاخص که ویژگی‌هایی از جمله شدت، دوام و فراوانی امواج گرما را اندازه‌گیری می‌کنند، استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که روند تعداد امواج گرمایی طی دوره‌ی مورد پژوهش روبه افزایش است. نه تنها تعداد امواج گرمایی افزایش یافته، بلکه ماندگاری آن‌ها نیز روند مثبتی را نشان می‌دهد. امواج گرمایی ماندگار و مانا، مانا تر شده‌اند و به صورت پیاپی بیشتر رخنمود پیدا می‌کنند. شدت امواج گرمایی که به کمک دو شاخص صدکی (۹۰م، ۹۵م و ۹۹م) و شاخص دمای شبانه (کمینه) اندازه‌گیری شد، نشان داد که علاوه بر افزایش فراوانی و بسامد و دوام امواج گرما بلکه شدت امواج گرما نیز افزایش یافته است. بنابراین نتایج این پژوهش تأییدی بر یافته‌های اسماعیل‌نژاد (۱۳۹۱) است. از لحاظ پراکنش مکانی بر روی گستره‌ی ایران زمین نه تنها نوع روند (مثبت یا منفی) با هم یکی نیست بلکه نرخ روند نیز باهم متفاوت است. بر روی سرزمین‌های پست، هموار و دشت‌ها هم از لحاظ شدت و هم به لحاظ دوام و فراوانی امواج گرمایی روند رو به افزایشی را نشان می‌دهند. در میان مناطق یاد شده، بیشترین شیب و نرخ تغییرات روند افزایشی در دشت لوت (شمال شرق کرمان)، سرزمین‌های هموار شمال شرق بندرعباس، دشت کویر و خوزستان مشاهده شد. بر روی بلندی‌ها و ارتفاعات رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز و بلندی‌های پراکنده بر روی گستره‌ی ایران زمین نرخ روند امواج گرمایی رو به کاهش است. بر روی ارتفاعات غرب شهرکرد نرخ کاهش روند به بیشینه‌ی خود می‌رسد. از لحاظ مکانی تفاوتی بین نوع روند در نمایه‌ها بر پایه‌ی صدک ۹۵، ۹۰ و ۹۹م وجود ندارد، ولی از لحاظ نرخ و شیب روند تفاوتی زیادی بین نتایج نمایه‌های حاصل از

- Confalonieri, U, Menne, B, Akhtar, R, Ebi, K.L, Hauengue, M, Kovats, R.S, Revich, B and Woodward, A (2007). Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O. F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Karl, T.R and Knight, R.W (1997). The 1995 Chicago heat wave: How likely is a recurrence. Bulletin American Meteorological Society. 78.
- Meehl, G.A and Tebaldi, C (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st Century. Science. 305.
- Meehl, G.A, Stocker, T.F, Collins, W. D, Friedlingstein, P, Gaye, A.T, Gregory, J.M, Kitoh, A, Knutti, R, Murphy, J.M, Noda, A, Raper, S.C.B, Watterson, I.G, Weaver A.J. and Zhao, Z.C (2007). Global climate projections. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z and others (eds) Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Meehl, G.A, Washington, W.M, Collins, W.D, Arblaster, J.M, Hu, A, Buja, L.E, Strand, W.G and Teng, H (2005). How much more global warming and sea level raise?, Science. 307.
- Stott P, Stone, D.A and Allen, M.R (2004). Human contribution to the European heat wave of 2003. Nature. 432.
- Tamrazian, A and Ladochy, S (2008). Heat Waves in Southern California: Are They Becoming More Frequent and Longer Lasting? APCG YEARBOOK. 70.
- Tryhorn, L and Risbey, J (2006). On the distribution of heat waves over the Australian region, Australian Meteorological Magazine. 55.
- محمدی، حسین؛ فرحناز تقوی (۱۳۸۶). بررسی دوره‌ی بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست‌محیطی، مجله‌ی علمی-پژوهشی محیط‌شناسی، شماره ۵.
- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده‌ی اخیر، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳.
- Beniston, M and Diaz, H.F (2004). The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. Global Planet Change. 44.
- Frich, P, Alexander L.V, Della- Marta, P.M, Gleason, B, Haylock, M, Klein Tank, A.M and Peterson, T (2002). Observed coherent changes in climate extremes during the second half of the 20th century. Clim. Res. 19.
- Gan, T. Y (1998). Hydro climatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies, Water Resources Research. 34 (11).
- Gosling, S.N, McGregor, G.R and Pa'ldy, A (2007). Climate change and heat-related mortality in six cities. Part1: Model construction and validation. International Journal of Biometeorology. 51.
- Hajat, S, Kovats, R.S, Atkinson, R. W and Haines, A (2002). Impact of hot temperatures on death in London: A time series approach. J. Epidemiol. Community Health. 56.
- Folland, C.K., T.R. Karl, J.R. Christy, R.A. Clarke, G.V. Gruza, J. Jouzel, M.E. Mann, J. Oerlemans, M.J. Salinger and S.-W. Wang (2001). Observed Climate Variability and Change. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Huth, R., Kysely, J. and Pokorna, L (2000). AGCM simulation of heatwaves, dry spells, and their relationships to circulation. Climate Change. 46.