

## بررسی روند تغییرات ویژگی‌های امواج گرمایی مرتبط با تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان یزد)

فاطمه درگاهیان<sup>۱\*</sup>، سمیه حیدر نژاد<sup>۲</sup> و سمانه رضوی زاده<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران،

پست الکترونیک: fatemeh.dargahian@gmail.com

۲- دکتری بیابان-زدایی، گروه علوم و مهندسی بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۳- استادیار، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۳

### چکیده

امروزه گرمایش جهانی و تغییر اقلیم ناشی از آن بزرگترین چالش زندگی بشر محسوب می‌شود که سایر چالش‌های محیط‌زیستی را تحت الشعاع خود قرار داده است. در این پژوهش تلاش شده است از طریق پایش روند تغییرات امواج گرما و ارتباط آن با آنومالی دما به آشکارسازی پدیده تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک یزد پرداخته شود. بدین منظور از داده‌های روزانه دما برای بازه زمانی (۲۰۱۷-۱۹۶۰) استفاده شد. در نهایت ویژگی‌های امواج گرمایی مانند تعداد رخداد امواج گرما، فراوانی روزهای همراه با امواج گرما، تداوم امواج گرما، بزرگی و شدت امواج گرما و میانگین موج گرم (گرمترین روز از گرمترین موج گرم) با استفاده از نرم‌افزار ClimPACT در محیط برنامه‌نویسی R 2.10 محاسبه شدند. امواج گرما برآیند تغییرات افزایشی دما می‌باشد، از این رو آنومالی دمای ایستگاه یزد استخراج و با آنومالی دمای خشکی‌های کره زمین مقایسه و رابطه شاخص‌های امواج گرما با آنومالی دما بررسی شد. نتایج نشان داد بیشترین تعداد رخدادهای امواج گرمایی در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ رخ داده است. فراوانی تعداد روزهای همراه با موج گرم روند افزایش و معنی‌داری داشته است و تعداد آن در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ به ترتیب ۴۷ و ۴۲ روز بوده است. البته روند افزایشی در تداوم و شدت امواج گرما نیز مشاهده شد. طولانی‌ترین تداوم برای سال ۲۰۱۳ برابر ۱۳ روز تخمین زده شد. یافته‌های این پژوهش همچنین نشان داد که در دو دهه اخیر بزرگی موج گرما به بیش از ۳۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است. بررسی ارتباط بین تمام شاخص‌های مربوط به موج گرما و آنومالی دمای یزد همبستگی خوبی را نشان داد و ضریب تبیین آنومالی دما و فراوانی روزهای همراه با موج گرما بیشتر از سایر شاخص‌ها و ضریب تعیین ( $R^2$ ) آن تقریباً ۰/۶۱۰۸ شد. به‌طورکلی نتایج حکایت از تشدید، تداوم و شدت امواج گرما در شهرستان یزد دارد که می‌تواند حاکی از وقوع رخداد تغییر اقلیم به‌ویژه در دو دهه اخیر در این منطقه از کشور به‌عنوان نماینده مناطق خشک کشور باشد. با توجه به روند افزایش دما طی سال‌های آینده بر فراوانی و شدت و تداوم امواج افزوده می‌شود. آگاهی از چگونگی روند امواج گرما می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را در راستای تصمیم‌گیری مدیریت خطر در زمینه مصرف بهینه انرژی کمک کند.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی تغییرات، آنومالی دما، شدت گرما، تداوم امواج گرما، یزد.

## مقدمه

امواج گرما آسیب‌های شدیدی به جوامع مختلف گیاهی، جانوری و انسانی وارد می‌کند. براساس مدل‌های اقلیمی مشخص شده که فراوانی، شدت و مدت زمان موج گرما در قرن اخیر به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (Zhao et al., 2018). تشدید امواج گرمایی شدید در بسیاری از مناطق جهان از جمله بالکان (۲۰۰۷)، فرانسه (۲۰۰۳) و روسیه (۲۰۱۰) با افزایش مرگ و میر، ناراحتی انسانی و کاهش بهره‌وری کار همراه بوده است. نتایج پیش‌بینی یک مدل جهانی اقلیمی نشان داده است که با افزایش دمای هوا به اندازه ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، افزایش قابل توجهی در بزرگی موج گرما در آفریقا، آمریکای جنوبی و آسیای جنوب‌شرقی رخ خواهد داد. ۱۳/۸ درصد از جمعیت جهان حداقل طی مدت ۵ سال در معرض امواج گرمای شدید قرار خواهند گرفت. با افزایش دمای هوا به میزان ۲ درجه سانتی‌گراد، این رقم به ۳۶/۹٪ افزایش خواهد یافت (Dosio et al., 2018). همچنین براساس مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی شده است که شدت امواج گرما در آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۹) به بیش از دو برابر دوره تاریخی (پایه) خواهد رسید (Lhotka et al., 2018). افزایش فراوانی روزهای توأم با موج گرمای شدید به میزان ۴ تا ۳۴ روز در هر فصل با افزایش یک درجه سانتی‌گراد دمای هوا در کره زمین نیز پیش‌بینی شده است (Perkins-Kirkpatrick & Gibson, 2017). در سال‌های اخیر رخداد امواج گرما در بسیاری از مناطق کشور یکی از پدیده‌های مخاطره‌آمیز محیط طبیعی بوده است. بررسی شبیه‌سازی آستانه دمای منجر به رخداد موج گرما در مناطق مختلف کشور نشان داده که براساس سناریوی مختلف طی سال‌های آینده، حد پایین آستانه دمایی در فصل بهار نسبت به وضع موجود تقریباً ۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. علاوه‌براین مرز پهنه‌های آستانه دمایی نیز به‌طور محسوسی تغییر خواهد کرد. در این شرایط در تابستان قسمت زیادی از کشور دارای آستانه بین ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد است ولی در ۳۰ ساله آینده با توجه به افزایش دما، این مقدار به ۴۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید و تقریباً ۷۰ درصد کشور آستانه بالای ۴۰ درجه را

تجربه خواهند کرد (Rezaei et al., 2019). تعداد امواج گرما و ویژگی‌های آن در محیط‌های شهری و روستایی از ویژگی‌های متفاوتی برخوردار است (Oleson et al., 2018). فراوانی امواج گرما را برای مناطق شهری و روستایی ایالات متحده براساس سناریوهای مختلف اقلیمی بررسی و نشان دادند که تعداد روزهای موج گرمای شهری بیشتر از مناطق روستایی و در سال از ۶ موج در دوره ۱۹۸۱-۲۰۰۵ به ۹۲ موج در دوره ۲۰۶۱ تا ۲۰۸۰ در سناریوی ۸/۵ افزایش می‌یابد. امواج گرما به خشکی‌ها محدود نمی‌شود بلکه محیط‌های اقیانوسی را نیز دربرمی‌گیرند. ویژگی امواج گرما در محیط‌های آبی از جمله اقیانوس‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند آب و هوای نواحی وسیعی را متأثر کند. یک موج گرمای دریایی معمولاً به‌عنوان یک منطقه منسجم از دمای شدید درجه حرارت گرم دریایی تعریف می‌شود که برای چند روز تا یک ماه ادامه دارد. امواج گرمایی در دهه گذشته در کلیه حوضه‌های اصلی اقیانوس مشاهده شده است، اما تنها چند موج گرما به ثبت رسیده و مورد تجزیه و تحلیل گسترده قرار گرفته است. یکی از اولین موج‌های گرما که ثبت شده است در سال ۲۰۰۳ در شمال‌غربی دریای مدیترانه رخ داده است و دمای سطح آب را به ۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دوره زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۶ رسانده است (Frolicher & Laufkotter, 2018). به‌منظور تعیین موج گرما از معیارها و شاخص‌های متعددی استفاده می‌شود. در برخی روش‌ها به‌منظور تعیین امواج گرما پارامترهای دما و رطوبت مورد استفاده قرار می‌گیرد. براساس این شاخص امواج گرمایی برای ایستگاه‌های ساحلی و دریای جنوب ایران مطالعه شده است (Dargahian & Rezaei, 2014). در سرتاسر هند، امواج گرما در ماه‌های تابستان از آوریل تا ژوئن رخ می‌دهد. با استفاده از مجموعه داده‌های دمای روزانه تنوع و روند امواج گرما در هند تجزیه و تحلیل شده است. برای شناسایی امواج گرما از فاکتور گرمای بیش از حد و صدک ۹۰ دمای حداکثر استفاده شده است. نتایج کار آنان نشان داد که گرم شدن اقیانوس گرمسیری هند و وقایع مکرر در التینو در آینده ممکن است بیشتر منجر به موج‌های گرمای مکرر و طولانی‌تر در سراسر هند شود (Rohini et al., 2016). به‌منظور واکاوی

استفاده شد. با استفاده از شاخص صدک ۹۵ام، آستانه های دمایی ماهانه تعیین و تداوم سه روز و بیشتر در هر ماه میلادی از ایستگاه موج گرما تعریف شد ( Etemadian & Dostan, 2017). در بررسی و مطالعه امواج گرما علاوه بر تعیین و تعریف شاخص مشخص برای استخراج آماری رخداد امواج به الگوی سینوپتیک غالب در زمان رخداد آنها نیز پرداخته شده است. در بیشتر این مطالعات نقش کم فشار با منشأ کم فشارهای حرارتی گنگ و شبه جزیره عربستان در سطح زمین و پراختیاج جنب-حاره در سطوح بالای جو اشاره شده است. ( Sanaei *et al.*, 2015; Mojarad *et al.*, 2015; Ghavidel Rahimi and Rezaei, 2016; Khorshid Doost *et al.*, 2017; Karampour *et al.*, 2017; Ghasemifar & Naserpoor Baharvandi *et al.*, 2021). امواج گرما زبیده گرمایش جهانی است که فراوانی ظهور آن مانند سایر فرین های اقلیمی تحت تأثیر تغییر اقلیم روند افزایشی داشته است. بررسی تغییرات رخ داده در فراوانی و شدت امواج گرمایی در شمال غرب ایران طی بازه زمانی ۱۸۵۱ تا ۲۰۱۴ نشان داد که فراوانی وقوع امواج گرمایی در این بازه زمانی روندی افزایشی و معنادار داشته و بیشترین فراوانی رخداد امواج در دهه های اخیر بوده است. همچنین شدت امواج گرمایی با افزایش نسبتاً معنی دار همراه بوده و شدیدترین امواج گرما در دهه آخر قرن ۲۰ و اوایل قرن ۲۱ (تا دوره حاضر) به وقوع پیوسته است (Hatami Zarneh *et al.*, 2019). در جریان گرمایش جهانی و رخداد تغییر اقلیم، مناطق خشک و نیمه خشک با آسیب پذیری بیشتری نسبت به اقلیم های مرطوب مواجه هستند. از آن جایی که شهر یزد در منطقه خشک واقع شده است مطالعه ویژگی های امواج گرما در آن ضروری به نظر می رسد. با وجودی که گرمی و خشکی ویژگی طبیعی این منطقه به حساب می آید اما رخداد امواج گرما به دلیل اینکه بالاتر از آستانه تحمل هستند در صورت تداوم می تواند حتی به اکوسیستم خشک مختص منطقه و سلامت جوامع انسانی موجود در آن آسیب جدی وارد نماید. از این رو در این مطالعه به آشکارسازی ویژگی های امواج گرما در ارتباط با آنومالی دما در شهر یزد به عنوان مرکز استان و پرجمعیت ترین شهر استان به منظور برنامه ریزی و استفاده از

موج های گرمایی شهر اهواز با استفاده از دمای بیشینه روزانه ایستگاه سینوپتیک اهواز در سال های ۱۳۸۶-۱۳۴۰، براساس ماتریس استاندارد شده داده ها و به کمک نمایه فومیکی، ماتریس انحراف دمای بهنجار شده روزهایی را که گرما حداقل ۳ روز تداوم داشته و دمای آن  $+2$  انحراف معیار بالاتر از میانگین بوده است به عنوان موج گرما در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد میانگین تعداد روزهای امواج گرمایی اهواز ۹ روز بوده و بالاترین تعداد روزهای امواج گرما با ۳۸ روز در سال ۱۳۷۷ مشاهده شده است ( Tavosi & Hossein Abadi, 2016). در بررسی تحلیل فضایی-زمانی امواج گرمایی خراسان رضوی، به منظور تعیین امواج گرمایی از شاخص صدک ۹۵ استفاده شد. علاوه بر تعیین آستانه دمایی، روزهای با تداوم ۳ روز و بالاتر به عنوان موج گرما تعیین شده است (Sadeghi *et al.*, 2015). به منظور شناسایی موج های گرمایی ایران و ویژگی هایی مانند تداوم، شدت و فراوانی آن از آمار روزانه حداکثر دما مربوط به ۶۶۳ ایستگاه همدید و اقلیمی طی دوره آماری ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۲ استفاده شد و روزهایی را که حداقل ۲ روز تداوم داشته و دمای آن  $+2$  انحراف معیار بالاتر از میانگین بوده، به عنوان موج گرما لحاظ شده است ( Esmaili Nejad *et al.*, 2013). در طبقه بندی امواج گرمایی کرمان، ابتدا داده های دما استاندارد شده و براساس آن، آنومالی ها تا  $0.75$  به عنوان موج گرم،  $0.75$  تا  $1.5$  موج گرم شدید و بالاتر از  $1.5$  به عنوان موج ابرگرم تعیین شدند ( Ghavidel Rahimi & Rezaei, 2016). (Naserpour & Ghasemifar, 2017)، در مطالعه شناسایی رخداد های حدی سرد (گرم) در سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از داده های دمای حداقل و حداکثر در پنج ایستگاه طی دوره مطالعاتی ۱۹۶۱-۲۰۱۰، امواج سرد با صدک  $0.2/10$  و امواج گرم با صدک  $98/10$  شناسایی شد. با هدف شناسایی امواج گرما و واکاوی زمانی - مکانی آنها بر روی گستره ایران زمین از شش نمایه بر پایه صدک های ۹۰، ۹۵ و ۹۹ ام استفاده شد که شدت، دوام و بسامد رخداد امواج گرمایی را نمایان می کنند ( Darand, 2014). برای تعیین الگوی مکانی امواج گرمایی ایران، از دمای حداکثر روزانه ۴۹ ایستگاه سینوپتیک در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۰

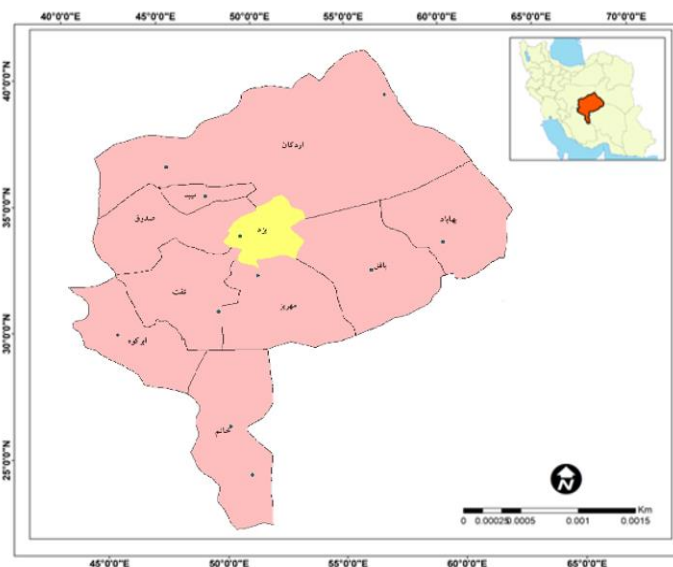
روش دومارتن، گرم و خشک، متوسط بارندگی و متوسط دمای شهر یزد برای بازه زمانی مورد بررسی (۱۹۶۰-۲۰۱۷) به ترتیب ۵۴/۷ میلی‌متر و ۱۹/۳ درجه سانتی‌گراد است. میانگین سرعت باد غالب در یزد، ۲۱ متر بر ثانیه و جهت وزش بادهای فرساینده در این منطقه از سمت شمال‌غرب است (Ebrahimikhusfi & Dargahian, 2018). موقعیت منطقه مطالعاتی در شکل (۱) نشان داده شده است.

راهکارهای سازگاری در برابر امواج گرما پرداخته شده است.

## مواد و روش بررسی

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شهرستان یزد است که با وسعتی در حدود ۲۳۹۷ کیلومترمربع در مرکز ایران در عرض جغرافیایی ۳۱،۹۰ و طول جغرافیایی ۵۴،۲۸ و در ارتفاع ۱۲۳۰ متر از سطح دریا واقع شده است. اقلیم منطقه براساس



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

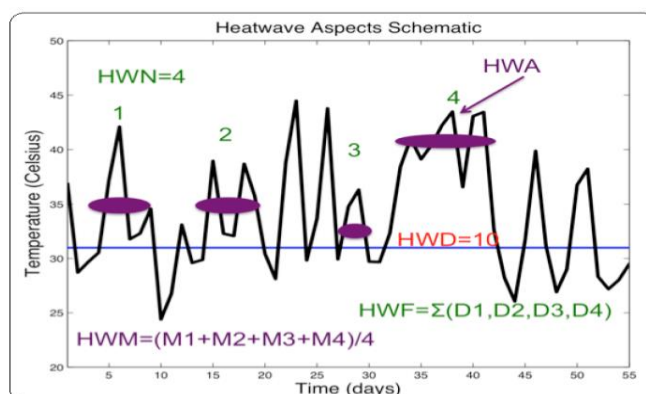
روش بررسی

روش بررسی

در این پژوهش، ابتدا داده‌های مربوط به دمای روزانه برای ورود به مدل ClimPACT بررسی و داده‌های گم شده پیدا و باز سازی داده‌ها انجام شد. هر چند که تعداد آنها بسیار کم بود. به منظور بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی امواج گرمایشی از پنج معیار تعداد رخداد امواج گرما Frequency of Events (HWN)، فراوانی روزهای همراه با امواج گرما Sum of Days Participating in an Event (HWF)، تداوم امواج گرم Length of Longest Event (HWD)، گرمترین موج گرم Hottest Day of Hottest Event و (Anomaly against Seasonal Mean) - (HWA) میانگین موج گرم Average Magnitude of All Events

توسط تیم کارشناسی ETCCDMI تعریف شده، استفاده گردید. این معیارها با استفاده از نرم‌افزار ClimPACT محاسبه شدند. نرم‌افزار ClimPACT مبتنی بر نرم‌افزار RclimDEX است که توسط سازمان‌های WMO/ CCI / CLIVAR / JCOMM و تیم متخصص در زمینه شناسایی شاخص‌های تغییر آب و هوا (ETCCDI) تهیه شده است. این نرم‌افزار در محیط نرم‌افزار R 2.10 اجرا شده است. یکی از مزایای این نرم‌افزار آن است که قبل از محاسبه معیارها، کیفیت داده‌ها را بررسی و اطلاعات نادرست و داده‌های پرت را مشخص می‌کند.

در این پژوهش، ابتدا داده‌های مربوط به دمای روزانه برای ورود به مدل ClimPACT بررسی و داده‌های گم شده پیدا و باز سازی داده‌ها انجام شد. هر چند که تعداد آنها بسیار کم بود. به منظور بررسی روند نمایه‌های حدی اقلیمی امواج گرمایشی از پنج معیار تعداد رخداد امواج گرما Frequency of Events (HWN)، فراوانی روزهای همراه با امواج گرما Sum of Days Participating in an Event (HWF)، تداوم امواج گرم Length of Longest Event (HWD)، گرمترین موج گرم Hottest Day of Hottest Event و (Anomaly against Seasonal Mean) - (HWA) میانگین موج گرم Average Magnitude of All Events



شکل ۲- وضعیت شاخص های گرمایی تعریف شده در قالب یک نمودار منبع (Lisa Alexander, 2015)

براساس شاخص های تعریف شده توسط تیم کارشناسی ETCCDMI شاخص امواج گرمایی بر پایه روابط زیر محاسبه می شود.

پس از آن، شاخص های اقلیمی براساس داده های روزانه محاسبه می شوند. هدف ETCCDMI تعیین مجموعه استاندارد از شاخص هایی است که بتوان توسط آن ویژگی های تغییر اقلیم در مناطق مختلف را بررسی و مقایسه نمود.

$$HWN_{TX90} > TXib90p$$

$$HWN_{TN90} > TNib90p$$

$$EHF > 0$$

$$\text{where } EHF = \max [1, EHIaccl] \times EHI sig$$

$$\text{and } EHIaccl = (TM_i + TM_{i-1} + TM_{i-2})/3 - (TM_{i-3} + \dots + TM_{i-32})/30$$

$$\text{and } EHI sig = (TM_i + TM_{i-1} + TM_{i-2})/3 - TM_{ij}$$

رابطه ۱

دمای ایستگاه سینوپتیک یزد و شاخص های مربوط به امواج گرما به روش پیرسون محاسبه و ضریب تبیین هر یک از شاخص ها توسط آنومالی دما محاسبه و به شکل نمودار نشان داده شد.

### نتایج

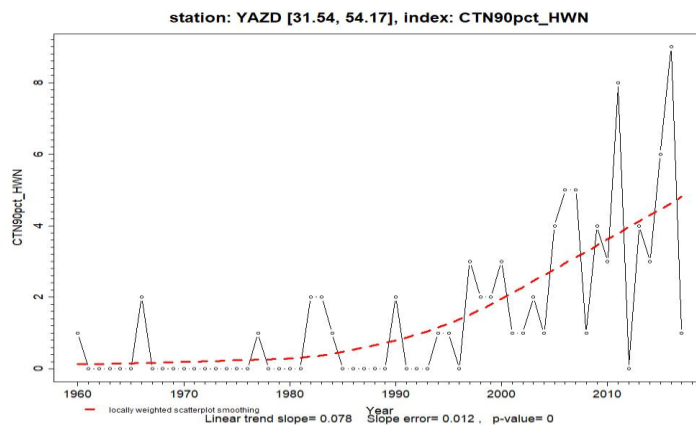
در این پژوهش هر رخداد موج گرم دارای بازه زمانی حداقل سه روز است و حداکثری برای آن در نظر گرفته نشده است. همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، روند تغییرات رخداد امواج گرم، افزایشی و قابل توجه بوده است. روند شیب خط نمودار تعداد رخداد موج گرم

در این رابطه  $TM$  میانگین دما،  $TX$  دمای حداکثر و  $TN$  دمای حداقل است.

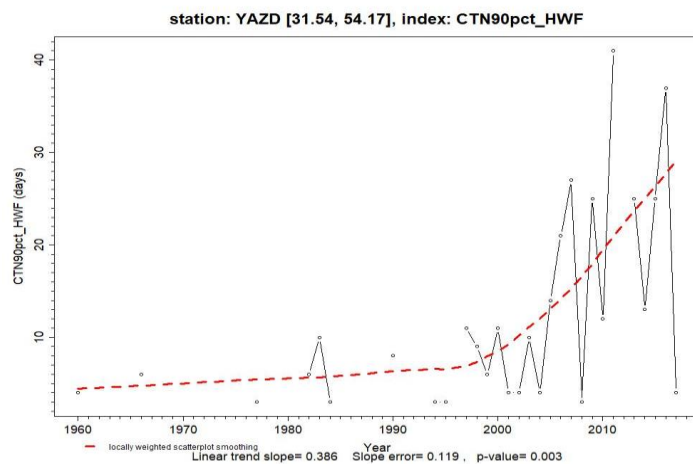
در نهایت ۵ ویژگی امواج گرمایی در طول یک مجموعه زمانی استخراج و خروجی آن به صورت نمودار همراه با میزان شیب خط و معنی داری آن در سطح ۹۹ درصد اطمینان برآورد و تحلیل می گردد. آنومالی دمای بلندمدت ایستگاه با استفاده از داده های متوسط ایستگاه سینوپتیک یزد استخراج و محاسبه شد. داده های مربوط به آنومالی خشکی های کره زمین از سایت نوا استخراج گردید و نمودار آنومالی دما در یزد با آنومالی دمای خشکی های کره زمین ترسیم و مقایسه گردید. همبستگی بین آنومالی

درجه سانتی‌گراد) مواجهه بوده است، تعداد رخدادهای موج گرم افزایش و به ۸ موج رسیده است. بیشترین تعداد رخداد موج گرم هم در طول دوره آماری ۵۹ ساله، سال ۲۰۱۶ با ۹ رخداد بوده است، در این سال رکورد دما با ۲۱,۴ درجه سانتی‌گراد در مرتبه دوم بعد از سال ۲۰۱۰ بوده است و مقدار بارش آن نیز ۲۵,۶ میلی‌متر بوده است.

۰/۰۷۸ و مقدار  $P\text{-value}=0$  است که نشان‌دهنده معنی‌داری روند افزایشی این تغییرات است. تعداد رخدادهای امواج گرم تا قبل از سال ۱۹۹۸ کمتر از ۳ رخداد بوده است و در بسیاری از سال‌ها رخداد موج گرمی وجود نداشته است اما در سال ۲۰۱۰ که ایستگاه با کاهش بارش سالانه (کمتر از ۱۰ میلی‌متر) و افزایش دما (۲۱/۶



شکل ۳- روند شیب و معنی‌داری تغییرات تعداد رخداد امواج گرما در یزد (۱۹۶۰-۲۰۱۷)



شکل ۴- روند شیب و معنی‌داری تغییرات فراوانی روزهای همراه با امواج گرما در یزد (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

روزهای همراه با موج گرم ۰,۱۱۹ و مقدار  $P\text{-value}=0.003$  است. به طوری که تا قبل از سال ۱۹۹۸ فراوانی تعداد روزهای همراه با موج گرم کمتر از ۱۰ روز بوده است. در دو دهه اخیر بر تعداد روزهای همراه با موج گرم افزوده

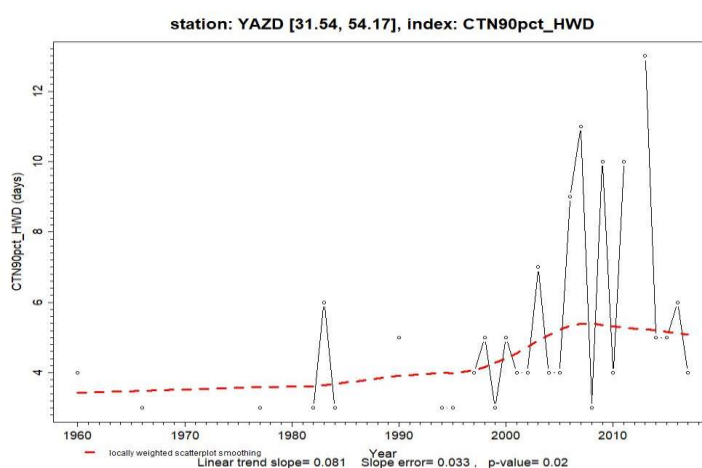
فراوانی روزهای همراه با امواج گرما همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با موج گرم افزایشی و معنی‌دار بوده است. روند شیب خط نمودار فراوانی

گرما در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، روند تغییرات تداوم امواج گرما افزایشی و معنی‌دار بوده است. به‌نحوی که یک رخداد با تداوم ۶ روزه در سال ۱۹۸۳ رخ داده است اما طولانی‌ترین تداوم یک رخداد ۱۳ روزه در سال ۲۰۱۳ بوده است.

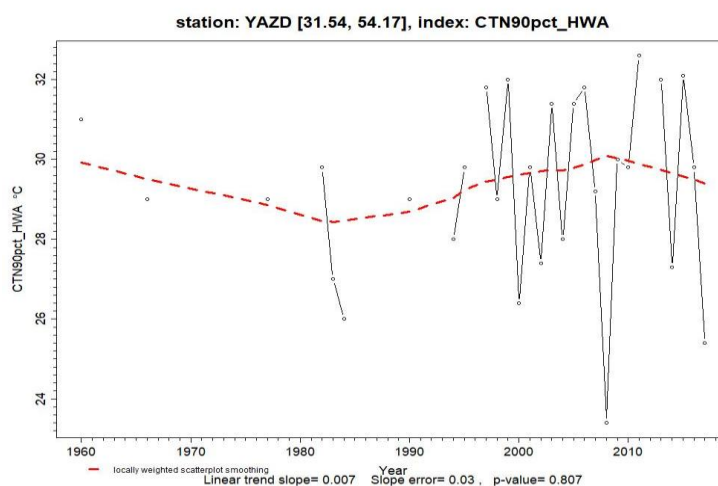
شده است، به‌طوری که سال ۲۰۱۰ به‌عنوان گرم‌ترین سال در ایستگاه سینوپتیک یزد با ۴۷ روز و سال ۲۰۱۶ با ۴۲ روز همراه با موج گرم مواجهه بوده است.

### تداوم امواج گرما

در این پژوهش شرط تداوم سه روزه برای مطالعه امواج



شکل ۵- روند شیب و معنی‌داری تغییرات تداوم امواج گرما در یزد (۱۹۶۰-۲۰۱۷)



شکل ۶- روند شیب و معنی‌داری تغییرات شدت امواج گرما در یزد (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

داده شده است روند تغییرات شدت موج گرما طی دوره آماری (۱۹۶۰-۲۰۱۷) با شیب بسیار کم (۰,۰۰۷) افزایش یافته و در سطح اطمینان ۹۵ درصد غیرمعنی‌دار بوده است

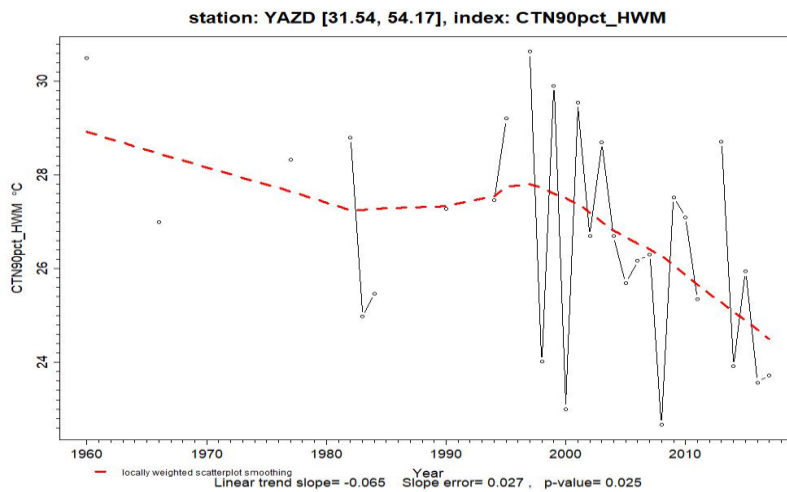
### شدت موج گرما

گرم‌ترین روز از موج گرم به‌عنوان بزرگی یا شدت موج گرما در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که در شکل (۸) نشان

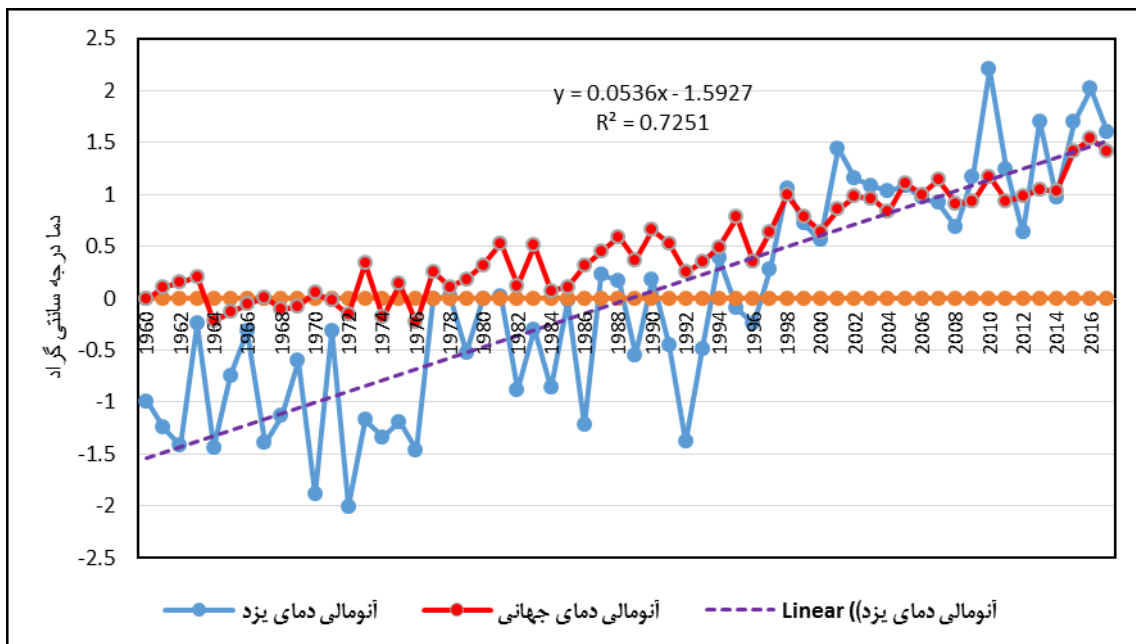
( $p > 0.05$ ). نتایج حکایت از آن دارد که در سال ۲۰۱۱ بزرگی امواج گرما به حداکثر (۳۲/۶ درجه سانتی‌گراد) رسیده است. به‌طورکلی در دو دهه اخیر بزرگی موج گرما به بیش از ۳۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است (شکل ۶). این در حالی است که متوسط بلندمدت دما ۱۹,۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداکثر دما ۲۹ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه یزد گزارش شده است.

میانگین موج گرم

همان‌طور که در شکل (۷) نشان داده شده است میانگین دمای موج گرم در دهه گذشته بیشتر از میانگین دمای موج گرم در دهه اخیر بوده است. در دو دهه اخیر بزرگی موج گرما به بیش از ۳۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است که حداکثر مقدار آن برای سال ۲۰۱۱ (۳۲/۶ درجه سانتی‌گراد) برآورد شده است.



شکل ۷- روند شیب و معنی‌داری تغییرات میانگین موج گرم در یزد (۱۹۶۰-۲۰۱۷)



شکل ۸- روند تغییرات آنومالی دما در ایستگاه سینوپتیک یزد و مقایسه آن با آنومالی‌های در خشکی‌های کره زمین

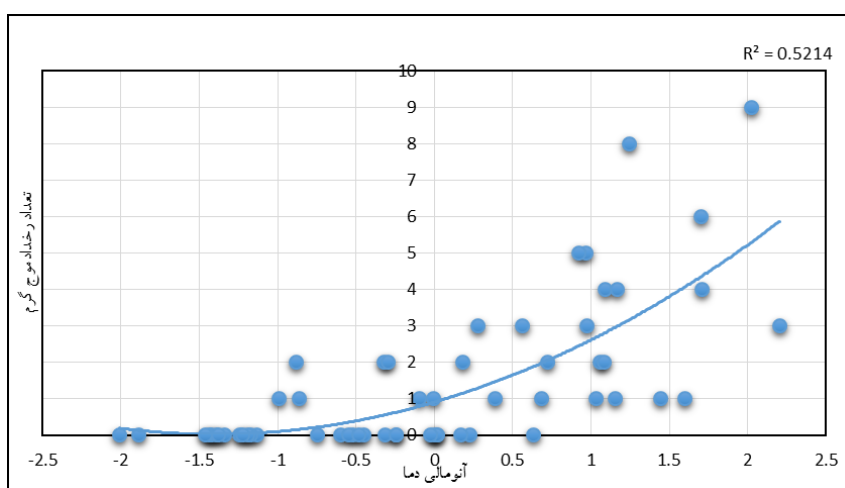


بررسی ارتباط بین آنومالی دمای یزد و شاخص‌های مربوط به امواج گرما

ارتباط بین آنومالی دما و تعداد رخداد‌های امواج گرما بررسی بین آنومالی دما و شاخص تعداد رخداد‌های امواج گرما با استفاده از روش همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی خوبی بین آنومالی دما و تعداد رخداد‌های موج گرما در ایستگاه سینوپتیک یزد وجود دارد، به طوری که مقدار همبستگی بین آنها در سطح اطمینان ۹۵ درصد در حدود ۰,۷ و ضریب تبیین خوبی  $R^2 = 0,5214$  دارد که نشان می‌دهد بیش از ۵۰ درصد تغییرات رخداد موج گرما با تغییرات آنومالی دما تبیین می‌شود و باقیمانده تغییرات آن به وسیله سایر عوامل قابل تبیین است.

آنومالی دما در ایستگاه سینوپتیک یزد و مقایسه آن با آنومالی دمای خشکی‌های کره زمین

همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است آنومالی دما در ایستگاه یزد در دو دهه اخیر در بیشتر سال‌ها بیش از آنومالی دمای خشکی‌های کره زمین است. به نحوی که تا قبل از سال ۱۹۹۸ دما در این ایستگاه آنومالی قابل توجهی نداشته و تنها در برخی سال‌ها مقدار آن کمتر از ۰,۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. اما از سال ۱۹۹۸ به بعد مقدار آن زیاد شده و در سال ۲۰۱۰ مقدار آن به ۲,۲ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در سال ۲۰۱۶ نیز مقدار آنومالی دمای این ایستگاه به ۲ درجه سانتی‌گراد رسیده است.

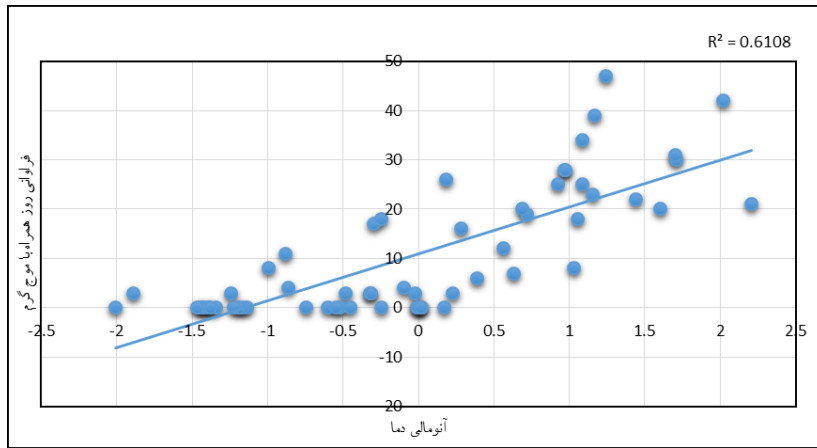


شکل ۹- ارتباط بین آنومالی دما و تعداد رخداد‌های امواج گرما (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

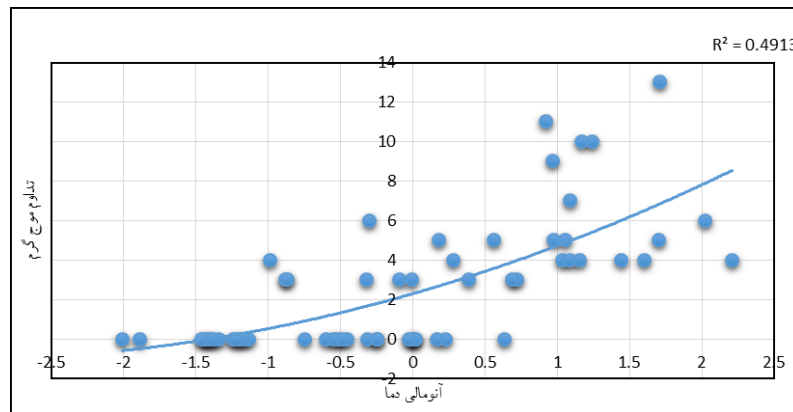
آنومالی دما و تداوم موج گرما در ایستگاه یزد بررسی بین آنومالی دما و شاخص تداوم موج گرما با استفاده از روش همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی خوبی بین آنومالی دما و تداوم موج گرما در ایستگاه سینوپتیک یزد وجود دارد، به طوری که در حدود ۰,۷ و ضریب تبیین خوبی  $R^2 = 0,4913$  دارد که نشان می‌دهد نزدیک به ۵۰ درصد تغییرات رخداد موج گرما با تغییرات آنومالی دما تبیین می‌شود و باقیمانده تغییرات آن به وسیله سایر عوامل قابل تبیین است.

آنومالی دما و فراوانی روزهای همراه با موج گرما در ایستگاه یزد

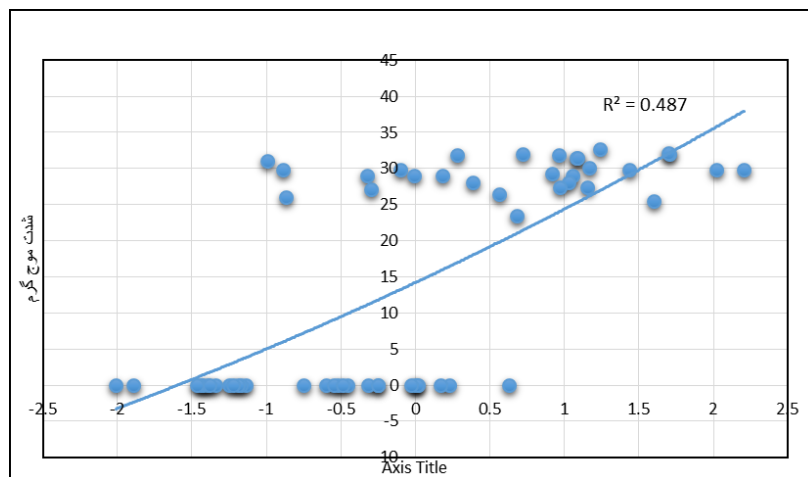
بررسی بین آنومالی دما و شاخص تعداد روزهای همراه با موج گرما با استفاده از روش همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی خوبی بین آنومالی دما و فراوانی روزهای همراه با موج گرما در ایستگاه سینوپتیک یزد وجود دارد، به طوری که در حدود ۰,۷ و ضریب تبیین خوبی  $R^2 = 0,6108$  دارد که نشان می‌دهد بیش از ۶۰ درصد تغییرات رخداد موج گرما با تغییرات آنومالی دما تبیین می‌شود و باقیمانده تغییرات آن به وسیله سایر عوامل قابل تبیین است.



شکل ۱۰- ارتباط بین آنومالی دما و فراوانی روزهای همراه با موج گرما (۱۹۶۰-۲۰۱۷)



شکل ۱۱- ارتباط بین آنومالی دما و تداوم موج گرما (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

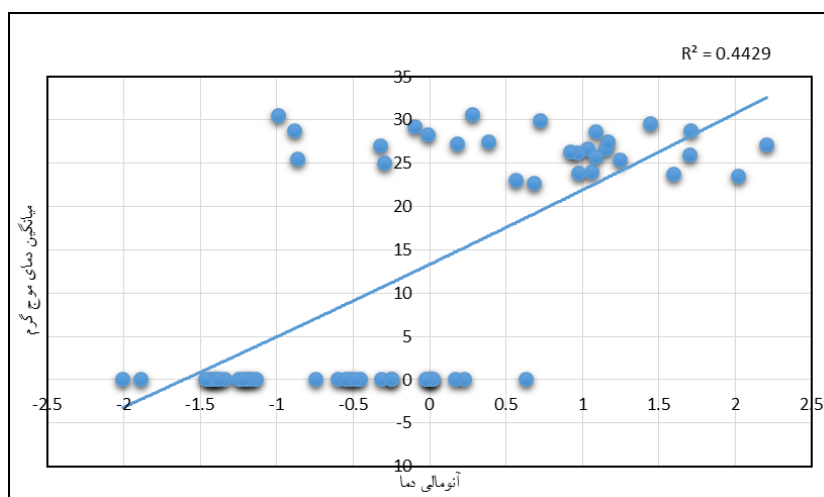


شکل ۱۲- رابطه بین آنومالی دما و شدت اموج گرما در ایستگاه یزد (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

آنومالی دما و فراوانی و میانگین دمای امواج گرما در ایستگاه یزد

بررسی بین آنومالی دما و شاخص میانگین دمای امواج گرما با استفاده از روش همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی خوبی بین آنومالی دما و شدت امواج گرما در ایستگاه سینوپتیک یزد وجود دارد، در حدود ۰/۷ و ضریب تبیین خوبی  $R^2 = ۰/۴۴۲۹$  دارد که نشان می‌دهد نزدیک به ۵۰ درصد تغییرات رخداد موج گرما با تغییرات آنومالی دما تبیین می‌شود و باقیمانده تغییرات آن به وسیله سایر عوامل قابل تبیین است.

آنومالی دما و شاخص شدت امواج گرما در ایستگاه یزد بررسی بین آنومالی دما و شاخص شدت موج گرما با استفاده از روش همبستگی پیرسون نشان داد که همبستگی خوبی بین آنومالی دما و شدت امواج گرما در ایستگاه سینوپتیک یزد وجود دارد، به طوری که در حدود ۰/۷ و ضریب تبیین خوبی  $R^2 = ۰/۴۸۷$  دارد که نشان می‌دهد نزدیک به ۵۰ درصد تغییرات رخداد موج گرما با تغییرات آنومالی دما تبیین می‌شود و باقیمانده تغییرات آن به وسیله سایر عوامل قابل تبیین است.



شکل ۱۳- رابطه بین آنومالی دما و میانگین دمای امواج گرما در ایستگاه یزد (۱۹۶۰-۲۰۱۷)

باشد (Lisa Alexander, 2015).

بررسی تعداد رخداد موج گرم نشان داد، روند تغییرات رخداد امواج گرم افزایشی و معنی‌دار بوده است. تعداد رخدادهای امواج گرم تا قبل از سال ۱۹۹۸ کمتر از ۳ رخداد بوده است و در بسیاری از سال‌ها رخداد موج گرمی وجود نداشته است. در سال ۲۰۱۰ که ایستگاه با افزایش دما مواجه بوده تعداد رخدادهای موج گرم افزایش و به ۸ موج رسیده است. بیشترین تعداد رخداد موج گرم هم در طول دوره آماری ۵۹ ساله در سال ۲۰۱۶ با ۹ رخداد بوده است. روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با موج گرما افزایشی و معنی‌دار است. به نحوی که تا قبل از سال ۱۹۹۸

## بحث

تأثیرات امواج گرما گسترده است و هیچ روش جهانی یکسانی برای اندازه‌گیری آنها وجود ندارد. بسیاری از این روش‌ها از شاخص‌های مختلفی برای اندازه‌گیری موج گرما استفاده می‌کنند اما آنچه باعث می‌شود یک روش معیار اندازه‌گیری خوبی برای امواج گرما ارائه دهد، این است که آن شاخص دارای آستانه نسبی با توجه به شرایط اقلیمی در هر منطقه باشد، توالی روزهای گرم در آن مدنظر قرار گرفته باشد، براساس پارامتر دما باشد و تمام جنبه‌ها و ویژگی‌های امواج گرما از قبیل شدت، فرکانس، مدت زمان و وسعت مکانی را دربرگیرد و ساده، کاربرپسند و تأثیرگذار

یزد به‌عنوان مرکز و پرجمعیت‌ترین شهر استان به‌منظور برنامه‌ریزی و استفاده از راهکارهای سازگاری در برابر امواج گرما باید در نظر گرفته شود.

### منابع مورد استفاده

- Baharvandi, N., Mojarrad, F. and Masompour, J., 2021. Identification of heat waves and analysis of Their temporal-spatial variations in Iran. *Journal of Researches in Geographical Sciences*, 20(59): 39-58.
- Darand, M., 2014. Recognition and spatial-temporal analysis of heat waves in Iran. *Journal of Geography and Development Iranian Journal*, 12(35): 167-180.
- Dargahian, F. and Rezaei, G., 2014. Study of synoptic and bio-climatological conditions of heat index using geographic information system at the southern coastal and sea stations and their effects on human health. *Journal of Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 23(91): 43-54.
- Dosio, A., Mentaschi, L., Fischer, E.M. and Wyser, K., 2018. Extreme heat waves under 1.5 C and 2 C global warming. *Journal of Environmental research letters*, 13(5): 054006.
- Ebrahimikhosravi, Z., and Dargahian, F., 2018. Investigation of the climatic parameters effect on the concentration change of particles matter less than 10  $\mu\text{m}$  and its relation to wind erosion occurrence in arid regions. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 9(34): 76-92.
- Esmail Nejad, M., Khosravi, M., Aligane, B. and Masoudian, S., 2013. Identifying heat waves of Iran. *Journal of Geography and Development Iranian Journal*, 11(33): 39-54.
- Etemadian, E. and Dostan, R., 2017. Spatial analysis of heat waves in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4(1):17-32.
- Frolicher, T.L. and Laufkotter, C., 2018. Emerging risks from marine heat waves. *Journal of Nature communications*, 9(1): 650-665.
- Ghasemifar, E. and Naserpour, S., 2017. Synoptic analysis of heat and cold waves over southern coastal of Caspian Sea. *Journal of Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(103):137-146.
- Ghavidel Rahimi, Y. and Rezaei, M., 2016. A Query on identification, classification and synoptic analysis of heat waves in Kerman Province. *Journal of Geography and Planning*, 19(54): 253-277.

تعداد روزهای موج گرم کمتر از ۱۰ روز بوده است. در دو دهه اخیر بر تعداد روزهای همراه با موج گرما افزوده شده است. به‌طوری‌که سال ۲۰۱۰ به‌عنوان گرمترین سال در ایستگاه سینوپتیک یزد با ۴۷ روز همراه با موج گرم مواجه بوده است. روند تغییرات تداوم امواج گرما افزایش طولانی‌ترین تداوم یک رخداد ۱۳ روزه در سال ۲۰۱۳ بوده است. روند تغییرات شدت موج گرما غیر معنی‌دار است. در دو دهه اخیر بزرگی موج گرما به بیش از ۳۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در سال ۲۰۱۱ بزرگی امواج گرما به ۳۲/۶ درجه سانتی‌گراد رسیده است.

بررسی آنومالی دما در ایستگاه سینوپتیک یزد و مقایسه آن با آنومالی دمای خشکی‌های کره زمین نشان داد که آنومالی دما در ایستگاه یزد در دو دهه اخیر در بیشتر سال‌ها بیش از آنومالی دمای خشکی‌های کره زمین است، به‌نحوی‌که تا قبل از سال ۱۹۹۸ دما در این ایستگاه آنومالی قابل توجهی نداشته اما از سال ۱۹۹۸ به بعد مقدار آن زیاد شده و در سال ۲۰۱۰ مقدار آن به ۲٫۲ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در سال ۲۰۱۶ نیز مقدار آنومالی دمای این ایستگاه به ۲ درجه سانتی‌گراد رسیده است. بررسی ارتباط بین آنومالی دما با شاخص‌های امواج گرما به روش پیرسون، همبستگی خوبی در حدود ۰٫۷ را نشان داد و آنومالی دما تغییرات فراوانی موج گرما را با بالاترین ضریب یعنی ۶۰ درصد تبیین نمود. نقطه عطف تغییرات دما یا نقطه جهش دما سال ۱۹۹۸ بوده و تمام ویژگی‌های امواج گرما از تغییرات جهش دما در سال ۱۹۹۸ تبعیت می‌کند و به‌طورکلی از سال ۱۹۹۸ بر تعداد، تداوم و شدت امواج گرما در ایستگاه یزد افزوده شده که می‌تواند دلیلی بر رخداد تغییر اقلیم در دو دهه اخیر در این ایستگاه باشد. با وجود اینکه گرمی و خشکی ویژگی طبیعی این منطقه به حساب می‌آید اما رخداد امواج گرما به دلیل اینکه بالاتر از آستانه تحمل هستند در صورت تداوم می‌تواند حتی به اکوسیستم خشک مختص منطقه و سلامت جوامع انسانی موجود در آن آسیب جدی وارد نماید. از این‌رو شناخت ویژگی‌های امواج گرما در ارتباط با آنومالی دما در شهر

- change, 146 (3-4): 377-392.
- Perkins-Kirkpatrick, S.E. and Gibson, P.B., 2017. Changes in regional heat wave characteristics as a function of increasing global temperature. *Journal of Scientific reports*, 7(1): 12256.
- Rezaei, F., Ahmadi, M. and Shakiba, A., 2019. Simulation of temperature threshold heat waves during warm-spell in Iran based on scenarios RCP (2016-2045). *Journal of Researches in Earth Sciences*, 10(3): 231-247.
- Rohini, P., Rajeevan, M. and Srivastava, A.K., 2016. On the variability and increasing trends of heat waves over India. *Journal of Scientific reports*, 6: 26153.
- Sadeghi, M., Doustan, R. and Saneei, M., 2015. Spatial and temporal analysis of heat waves in Razavi Khorasan. *Journal of Territory*, 12(47): 17-32.
- Sanaeei, M., Sadeghi, S. and Doustan, R., 2015. Spatial-temporal analysis of heat waves in Khorasan Razavi. *Geographical Quarterly of the Land*, 12 (47): 32-17.
- Tavosi, T. and Hossein Abadi, N., 2016. Analysis of the behavior and frequency changes of heat waves event in Ahwaz City. *Journal of Geographical Planning of Space*, 6(19): 137-150.
- Zhao, L., Oppenheimer, M., Zhu, Q., Baldwin, J. W., Ebi, K. L., Bou-Zeid, E. and Liu, X., 2018. Interactions between urban heat islands and heat waves. *Journal of Environmental research letters*, 13(3): 034003.
- Hatami Zarneh, D., Hejazi Zadeh, Z. and Naserzadeh, M.H., 2019. Analysis of heat waves temporal fluctuation in North - West region of Iran and their relationship with greenhouse gases and global land-ocean temperature anomalies. *Journal of Researches in Geographical Sciences*, 19 (52): 35-56.
- Khorshid Doost, A.M., Zanganeh Shahraki, S., Zarei, Y. and Mahmoudi, S., 2017. Synoptic analysis of heat wave hazard in northwestern Iran. *Journal of Natural Geography*, 10 (3):1-14.
- Karampour, M., Rafiee, J. and Jafari, A., 2017. Synoptic identification and analysis of heat waves in western Iran (Ilam, Khuzestan, Lorestan, and Kermanshah). *Journal of Environmental Hazards Management*, 4 (3): 279-263.
- Lhotka, O., Kyselý, J. and Farda, A., 2018. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Journal of Theoretical and applied climatology*, 131(3-4): 1043-1054.
- Lisa Alexander, C., 2015. WMO CCI Expert Team on Sector-specific Climate Indices (ET SCI) Workshop, Nadi, Fiji 7th – 11<sup>th</sup>.
- Mojarad, F., Masoompour, J. and Rostami, T., 2015. Statistical-synoptic analysis of heat waves above 40C° in the West of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 4(1): 41-57.
- Oleson, K. W., Anderson, G. B., Jones, B., McGinnis, S. A. and Sanderson, B., 2018. Avoided climate impacts of urban and rural heat and cold waves over the US using large climate model ensembles for RCP8. 5 and RCP4. 5. *Journal of Climatic*

## Investigating the trend of changes in the heat wave properties related to climate change in arid regions (Case Study: Yazd City)

F. Dargahian<sup>1\*</sup>, S. Heidarnejad<sup>2</sup>, and S. Razavizadeh<sup>3</sup>

1\*-Corresponding author, Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), AREEO, Tehran, Iran

2- Ph.D. in Combat Desertification, Department of Desert Management and Controlling, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran

3- Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), AREEO, Tehran, Iran

Received:18/04/2021

Accepted: 24/06/2021

### Abstract

Today, global warming and climate change are considered the greatest challenge of human life that has overshadowed other environmental challenges. In this study, it has been attempted to detect climate change phenomena in Yazd by monitoring the trend of heatwave changes and their relation to temperature anomaly. For this purpose, daily temperature data for the time period (1960– 2017) were used. Finally, the characteristics of heat waves such as the number of occurrences of heatwaves, frequency of days with heatwaves, heatwave continuity, magnitude, the intensity of heatwaves, and average heatwave (hottest day of heatwave) were calculated using ClimPACT software in programming environment R 2.10. Heatwaves are the result of incremental temperature changes. Therefore, the temperature anomaly of Yazd station was extracted and compared with the temperature anomaly of the Land's surface. The relationship between heatwave indices and temperature anomalies was investigated. The results showed that the highest number of heatwave events occurred in 2010 and 2016. The number of days associated with the hot wave has increased significantly, with 47 and 42 days in 2010 and 2016, respectively. An increasing trend in the continuity and intensity of heatwaves was also observed. The longest continuation for 2013 was estimated to be 13 days. The findings show that in the last two decades, the magnitude of the heatwave has reached more than 31 ° C. Investigation of the relationship between all indices related to the heatwave and Yazd temperature anomaly showed good correlation and coefficient of explanation of temperature anomaly and frequency of days with heatwave was higher than other indices and its R<sup>2</sup> was approximately 0.6108. In general, the results indicate the intensification, continuity, and intensity of heatwaves in Yazd city, which indicate climate change, especially in the last two decades in this region as a representative of the arid regions. Due to the increasing temperature in the coming years on the frequency, intensity, and continuity of these waves will increase knowing how heatwaves are processed can help managers and planners make risk management decisions about energy efficiency.

**Keywords:** Changes detection, temperature anomaly, heat intensity, heat wave continuity, Yazd.