



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی طی نیم قرن اخیر در چند نمونه اقلیمی ایران

غلامعباس فلاح قاهره<sup>۱\*</sup>، رضا اسماعیلی<sup>۲</sup>، فهیمه شاکری<sup>۳</sup>

۱. (نویسنده مسئول): استادیار اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران
۲. استادیار اقلیم شناسی، دانشکده معماری، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، مشهد، ایران
۳. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی شهری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

**زمینه و هدف:** امروزه شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان در مطالعات زیست اقلیم جایگاه ویژه‌ای دارند. از جمله این شاخص‌ها، شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (*PET*) است. در تحقیق حاضر روند تغییرات تنش‌های گرمایی ایران، که پایه و اساس برنامه‌ریزی‌ها به ویژه در زمینه سلامت و محیط است، در ۴ ناحیه اقلیمی ایران طی نیم قرن اخیر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۴  
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۳/۱۶  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۲۲  
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۶/۲۸

**روش بررسی:** داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه تنش‌های گرمایی در مقیاس روزانه از تاریخ ۱۹۶۱/۱/۱ تا ۲۰۱۰/۱۲/۳۱ به مدت ۵۰ سال از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. سپس شاخص *PET* برای هر روز محاسبه و مقادیر بالاتر از  $35^{\circ}\text{C}$  به عنوان روزهای وقوع تنش گرمایی شناسایی شد. در مرحله بعد، فراوانی روزهای همراه با تنش گرمایی برای دوره گرم سال استخراج و روند آنها با آزمون *Mann-Kendall* مورد بررسی قرار گرفت.

**واژگان کلیدی:** تغییر اقلیم، تنش گرمایی، شاخص دمای معادل فیزیولوژیک

**یافته‌ها:** روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای همراه با تنش گرمایی در ایستگاه‌های مشهد، اصفهان و تبریز طی فصول بهار و تابستان افزایشی بوده است. به عبارت دیگر، بیشترین میزان تغییرپذیری مثبت نسبت به میانگین بلند مدت در این شهرها رخ داده است. همچنین بیشترین فراوانی روزهای گرم متعلق به ایستگاه‌های بندرعباس و رشت بوده است که نزدیکی این ایستگاه‌ها به دریا و تبخیر بالا را می‌توان از دلایل اصلی آن به شمار آورد.

**نتیجه‌گیری:** دهه ۱۹۹۰-۱۹۸۰، بیشترین روزهای وقوع تنش گرمایی را به خود اختصاص داده است. روند صعودی وقوع تنش‌های گرمایی در ایستگاه‌های مورد مطالعه ضرورت توجه به مسئله تنش‌های گرمایی و شیوع امراض (حمله گرمایی، سنکوپ و کرامپ عضلانی) را از بعد برنامه ریزی و مدیریت بحران، بیشتر می‌کند.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
ab\_fa789@yahoo.com

Please cite this article as: Fallah Ghalhari Gh, Esmaili R, Shakeri F. Assessing the seasonal variability of thermal stresses during the last half century in some climatic zones of Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;9(2):233-46.

## مقدمه

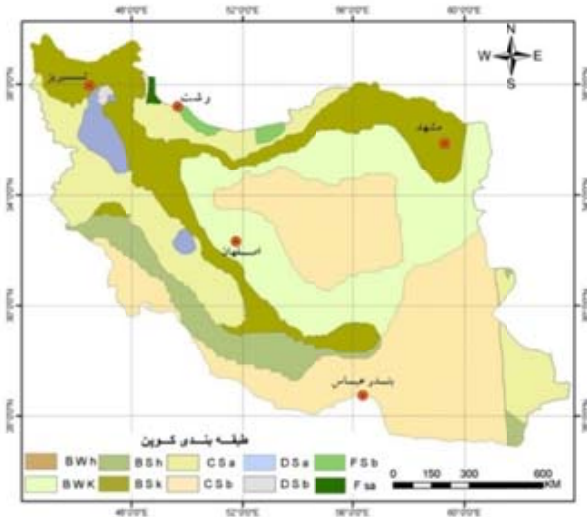
دگرگونی‌های اقلیمی بر زندگی انسان و استراتژی‌های اقتصادی و اجتماعی او تاثیر ژرفی بجا می‌نهد، بطوریکه طی چند دهه اخیر، تغییرات اقلیمی به یکی از مباحث مهم در محافل علمی جهان تبدیل شده است. گزارشات سناریوهای مختلف اقلیمی حاکی از گرم شدن تدریجی سیاره زمین است (۱). افزایش دما بر روی بخش‌های مختلف زندگی انسان از قبیل سلامت (۲)، منابع هیدرولوژیکی (۳) و کشاورزی (۴) تاثیر عمده‌ای خواهد داشت که در این میان بحث این تاثیرات بر سلامت انسان از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (۵، ۶)، به همین دلیل McMichael و همکاران (۷) در دهه گذشته گزارش جامعی در زمینه تغییر اقلیم و سلامت منتشر نمودند. Fallah Ghalhari و همکاران (۸) شرایط اقلیمی استان کردستان را در ارتباط با سلامت انسان با استفاده از شاخص جهانی اقلیم حرارتی (UTCI) ارزیابی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استان کردستان از نظر شرایط زیست اقلیم انسانی دارای تنش سرمایی متوسط تا شدید است که در دوره سرد سال این موضوع شدت بیشتری می‌یابد و نقاط مرتفع استان شرایط تنش سرمایی بیشتری را تجربه می‌نمایند. موج‌های گرمایی جزء رویدادهای فرین (Extremes) محسوب می‌شوند که تلفات شدیدی به محیط زیست و زندگی انسان وارد می‌کنند. همزمان با تغییرات اقلیمی، رویداد روزهای بسیار داغ و امواج گرمایی نیز بیشتر می‌گردد (۹). به عنوان مثال می‌توان به رویدادهای حدی شدیدی که در ژانویه ۲۰۰۹ در استرالیا، تابستان ۲۰۱۰ در روسیه، تابستان ۲۰۱۱ در اکلاهاما، تابستان ۲۰۰۳ در اروپا و تابستان ۲۰۰۳ در فرانسه به وقوع پیوسته است، اشاره نمود که منجر به مرگ تقریباً ۴۰۰۰۰ نفر گردید (۱۰-۱۳). از این رو بسیاری از محققان در ارزیابی محیط آسایش، مؤلفه حرارتی را مهمتر از بقیه مؤلفه‌ها می‌دانند. روابط علمی بین محیط جوی و آسایش انسان را می‌توان با استفاده از شاخص‌های زیست هواشناسی مورد تحلیل و بررسی قرار داد. این شاخص‌ها اثر عوامل و عناصر مختلف اقلیمی و تفسیر تاثیرات پیچیده بر

همدیگر و بدن انسان را در قالب طبقه‌بندی عددی بیان می‌کنند (۱۴). تنش گرمایی (Heat Stress) قرار گرفتن انسان در معرض گرمای شدید است؛ در حالی که آسیب گرمایی، اثر فیزیولوژیکی تنش گرمایی و ضربه گرمایی تلفیقی از علائم حاد است که منجر به بیهوشی و نهایتاً مرگ می‌شود (۱۵). مواجهه با گرما و تنش گرمایی که غالباً افراد طی فعالیت‌های روزانه یا فعالیت در محیط کار با آن مواجه می‌شوند، بر روی فعالیت‌های فیزیکی انسان تاثیر بسزایی خواهد داشت (۱۶)، به گونه‌ای که اگر بدن از طریق تعریق یا ساز و کارهای سرد کننده خنک نشود، فرد ناگزیر است به منظور کاهش اثرات نامطلوب تنش گرمایی، فعالیت خود را کاهش دهد (۱۷). به عبارت دیگر شاخص تنش گرمایی مقداری است که تاثیر پارامترهای اصلی را با محیط گرمایی هر فرد تلفیق می‌کند، بطوری که مقدار آن با وضعیت گرمایی که هر فرد تجربه می‌کند، تغییر می‌نماید (۱۶). شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) (برحسب  $^{\circ}\text{C}$ ) یکی از خروجی‌های مدل MEMI (مدل بیلان انرژی برای افراد) و از جامع‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌ها جهت ارزیابی شرایط زیست اقلیمی محسوب می‌شود (۱۸) که در آن دمای مرکز و پوسته بدن انسان در داخل محیط یک ساختمان (با فعالیت سبک  $80\text{ W}$ ، متابولیسم پایه و مقاومت حرارتی لباس  $0.9\text{ clo}$ ) با دمای محیط بیرون از ساختمان معادل باشد. برای محاسبه شاخص PET بایدگام‌های زیر برداشته شود: ۱) محاسبه شرایط حرارتی بدن با مدل MEMI برای ترکیب مشخصی از پارامترهای هواشناسی، ۲) قرار دادن مقادیر محاسبه شده برای میانگین دمای پوست و دمای مرکز بدن به داخل مدل MEMI و حل سیستم معادله توازن انرژی بر حسب دمای هوا (Ta) به ازای سرعت باد  $0.1\text{ m/s}$ ، فشار بخار  $12\text{ hpa}$  و فرض برابر بودن دمای هوا و دمای معادل تابشی. در نهایت دمای هوای بدست آمده معادل مقدار شاخص PET است (۱۹). در سال ۲۰۰۱ Matzarakis از دانشگاه فرایبورگ آلمان مدل نرم افزاری Rayman را جهت محاسبه شاخص PET طراحی و عرضه کرد (۲۰). شاخص PET

## مواد و روش‌ها

## ایستگاه‌های مورد مطالعه:

براساس طبقه بندی اقلیمی کوپن، ۱۰ نوع اقلیم متفاوت در ایران وجود دارد. براساس این طبقه بندی، ۸۰ درصد از مساحت ایران دارای آب و هوای خشک، ۱۶/۷ درصد آب و هوای معتدل و ۲/۳ درصد دارای آب و هوای سرد است (۲۸). در تحقیق حاضر ۵ شهر از ۴ ناحیه مختلف اقلیمی که ۹۷ درصد از مساحت کشور را با پراکندگی جغرافیایی مناسب در بر گرفته است، انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. بدین منظور شهر تبریز و مشهد به ترتیب به نمایندگی از ناحیه شمال غرب و شمال شرق کشور از ناحیه اقلیمی نیمه خشک ( $B_{Sk}$ )؛ شهر اصفهان به نمایندگی از مرکز کشور از ناحیه اقلیمی سرد و خشک ( $B_{Wk}$ )؛ شهر بندر عباس به نمایندگی از سواحل جنوبی کشور از ناحیه اقلیمی گرم و خشک ( $B_{Sh}$ ) و شهر رشت به نمایندگی از سواحل شمالی کشور از ناحیه اقلیمی مرطوب جنب حاره‌ای ( $C_{sa}$ ) انتخاب شده‌اند. موقعیت شهرهای مورد مطالعه در شکل ۱ مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت شهرهای مورد مطالعه در سیستم طبقه بندی کوپن در سطح کشور (۲۸)

در مطالعات مختلف نظیر ارزیابی زیست اقلیم شهرها با آب و هوای متفاوت (۲۱، ۲۲)، تحلیل رخدادهای زیست اقلیم شهری مانند امواج گرمایی (۲۳) و رسم نقشه‌های زیست اقلیمی مناطق جغرافیایی مختلف (۲۴) مورد استفاده قرار گرفته است. Omonijo و همکاران، شرایط اقلیمی نیجریه را در ارتباط با سلامتی انسان با استفاده از شاخص PET مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که ایالت اوندو مکان مستعدی برای برخی از بیماری‌های مرتبط با گرما و مرگ و میر است (۲۵). Golbabaie و همکاران به بررسی تنش‌های گرمایی با پاسخ‌های فیزیولوژیکی مردان در محیط کار گرم و مرطوب پرداختند (۲۶). Kalkstein و همکار (۲۷) در سال ۱۹۹۷ در مورد تلفات انسانی ناشی از امواج گرمایی در ۴۴ شهر ایالت متحده آمریکا، پیشگویی‌هایی ارائه دادند.

گرما یک خطر طبیعی است و اثرات درجه حرارت بالا بر روی بدن انسان به خوبی شناخته شده است. دماهای بالا دارای اثرات قابل توجهی بر سلامت انسان است و به چالشی برای بهداشت عمومی و سرویس‌های حفاظت مدنی تبدیل شده است. یکی از عمده‌ترین پیامدهای تغییرات آب و هوایی آینده، افزایش امواج گرمایی در بسیاری از جوامع خواهد بود. این چنین امواج گرمایی در آینده شدیدتر هم خواهد شد. بیماری ناشی از گرما می‌تواند از شرایط ملایم مانند خارش یا گرفتگی عضلات تا شرایط بسیار جدی مثل سکته تغییر نماید. عواملی مانند قرار گرفتن در معرض هوای گرم، نور خورشید، ورزش یا کار در هوای گرم و فضای بسته با تهویه ضعیف می‌تواند خطر تنش گرمایی را افزایش دهد. حرارت همچنین می‌تواند یک وضعیت پزشکی موجود به عنوان مثال بیماری قلبی را حادتر نماید (۱). با توجه به موارد فوق، هدف از انجام تحقیق حاضر ارزیابی روند تغییرات فراوانی وقوع تنش‌های گرمایی است، چرا که با افزایش آگاهی از روند تغییرات تنش‌های گرمایی می‌توان برنامه‌های مناسب آمادگی و مقابله با کاهش مرگ و میر مرتبط با رخدادهای هوای گرم را بر سلامت افراد تدوین نمود.

## روش تحقیق

داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه شاخص زیست اقلیمی (PET) شامل متوسط درجه حرارت (بر حسب °C)، رطوبت نسبی (بر حسب درصد)، ابرناکی (بر حسب Octa)، سرعت باد (بر حسب m/s) و فشار بخار آب (بر حسب hpa) در مقیاس روزانه طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ میلادی به مدت ۵۰ سال از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید.

مدل‌ها و شاخص‌های مختلفی در دهه‌های اخیر برای توضیح و کمی نمودن پدیده‌های ترموفیزیولوژی بدن انسان ایجاد شده است (۲۹). در این تحقیق شاخص PET که یکی از جامع‌ترین شاخص‌های زیست اقلیمی است توسط نرم افزار Rayman 1.2 برای هر روز به تفکیک شهر محاسبه گردید. جدول ۱ مقادیر آستانه شاخص PET را نشان می‌دهد. براساس جدول ۱، مقادیر بالاتر از ۳۵ °C به عنوان روزهای همراه با تنش گرمایی شناسایی و فراوانی وقوع آنها برای دوره گرم سال (فصل بهار و تابستان) استخراج و روند آن با استفاده از آزمون Mann-Kendall مورد بررسی قرار گرفت. برای حذف و از بین بردن افت و خیزهای کوتاه مدت سری‌های زمانی نیز از میانگین متحرک ۱۱ ساله استفاده شده است. لازم به ذکر است محاسبات و نمودارهای لازم در محیط نرم‌افزار Minitab 16 و Excel انجام شده است.

جدول ۱- مقادیر آستانه شاخص PET برای تنش‌های گرمایی (۱۱)

پارامتر	آستانه
آسایش گرمایی	$18 < PET < 29$ °C
تنش سرمایی	$PET < 8$ °C
تنش گرمایی	$PET > 35$ °C
روز داغ	$PET > 41$ °C

## آزمون روند Mann-Kendall:

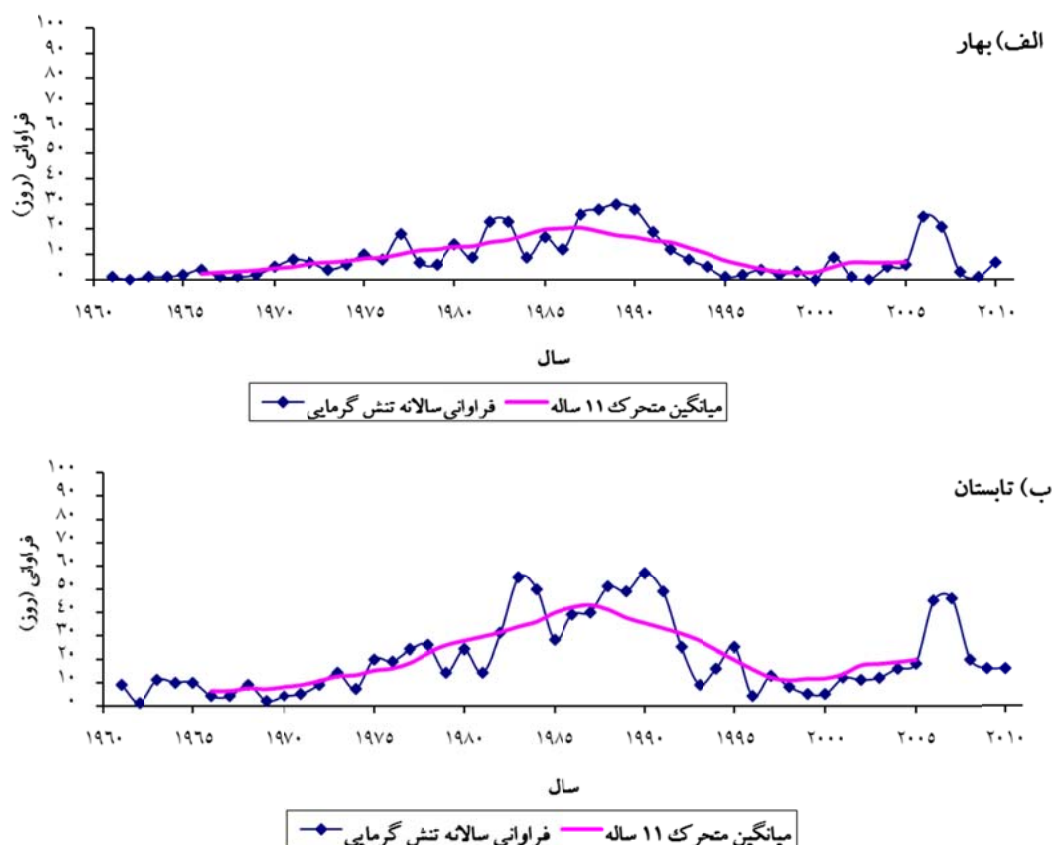
در این تحقیق جهت بررسی روند فراوانی وقوع تنش‌های گرمایی و معنی دار بودن آن در سری زمانی فصلی از آزمون

Mann-Kendall استفاده شد. آزمون Mann-Kendall آزمونی ناپارامتری بوده که توسط Mann (۳۰) و Kendall (۳۱) ارائه شده است. این آزمون برای تعیین معنی‌داری روندهای خطی و غیرخطی مناسب است. در این آزمون فرض صفر ( $H_0$ ) مبنی بر عدم وجود روند و فرض مقابل ( $H_1$ ) مبنی بر وجود روند در سری زمانی است. در این آزمون تصادفی بودن داده‌ها با عدم وجود روند مشخص می‌شود (۳۲). لازم به ذکر است به دلیل جلوگیری از افزایش حجم مقاله از پرداختن به جزئیات محاسبه این آماره‌ها اجتناب شده است. خوانندگان محترم برای جزئیات بیشتر می‌توانند به منبع (۳۳) مراجعه نمایند.

## یافته‌ها

## - مشهد

مشهد به عنوان نماینده اقلیم نیمه خشک از شمال شرق کشور انتخاب شده است. آماره بدست آمده از آزمون Mann-Kendall (۱/۴۵) نشان می‌دهد تعداد روزهای گرم در فصل بهار در مشهد افزایش یافته، اما معنی‌دار نیست. میانگین تعداد روزهای همراه با تنش در فصل بهار در این ایستگاه ۹ روز بدست آمده است. همانطور که در شکل ۲ (الف) ملاحظه می‌شود، بیشترین فراوانی روزهای همراه با تنش گرمایی بین ۲۸ تا ۳۰ روز بوده که در سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۸ رخ داده است. مقدار آماره آزمون من کندال در فصل تابستان ۲/۵۸ بدست آمده که افزایش معنی‌دار این شاخص را در سطح اطمینان ۹۹ درصد تایید می‌کند. میانگین تعداد روزهای همراه با تنش در این فصل نیز افزایش یافته و به ۲۰ روز رسیده است. با توجه به شکل ۲ (ب)، بیشترین فراوانی روزهای همراه با تنش گرمایی در فصل تابستان به ۵۷ روز می‌رسد که در مقایسه با فراوانی روزهای گرم در فصل بهار دو برابر افزایش یافته و مربوط به سال‌های ۱۹۸۷-۱۹۹۰ است.



شکل ۲- روند تغییرات تنش‌های گرمایی شهر مشهد در الف) فصل بهار و ب) فصل تابستان در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

- رشت

در فصل بهار میانگین تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی در این شهر ۲۰/۳ روز بدست آمده است. تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی از ابتدای دوره تا سال ۱۹۸۲ میلادی نوسان ملایمی داشته ولی از سال ۱۹۸۳ تا ۱۹۹۰ افزایش یافته و مجدداً از سال ۱۹۹۱ کاهش یافته است (شکل ۳ الف). آماره آزمون Mann-Kendall ۲/۳۶- بدست آمده که تایید کننده روند کاهشی معنی‌دار این شاخص در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. شکل ۳ ب) نمودار تغییرات فراوانی روزهای همراه با تنش گرمایی را در فصل تابستان نشان می‌دهد. مقدار آماره آزمون Mann-Kendall در فصل تابستان ۰/۰۸- بدست آمده که حاکی از وجود روند کاهشی فراوانی روزهای همراه با

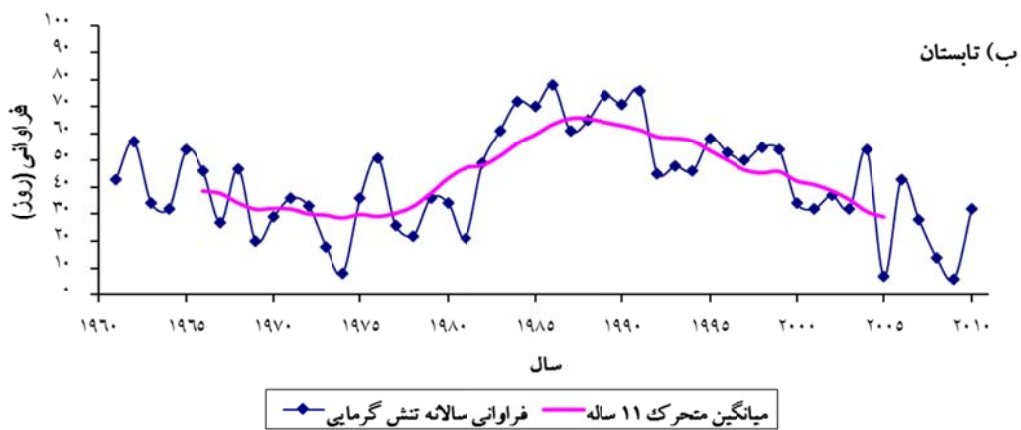
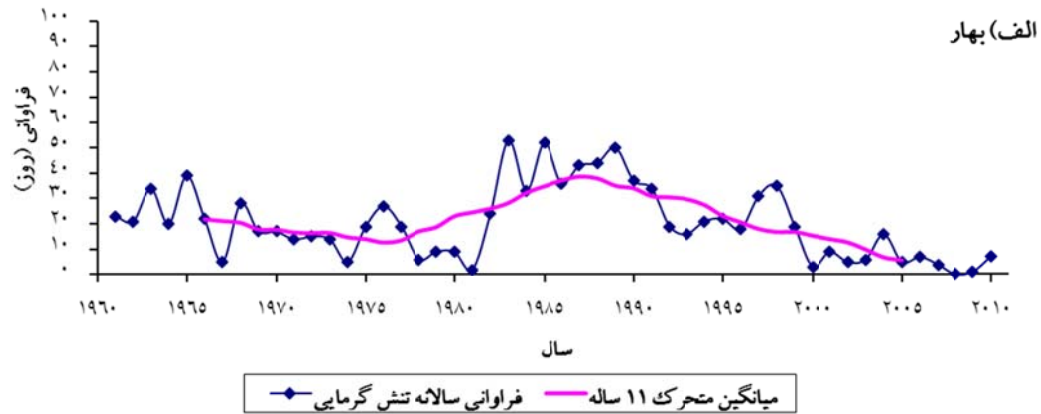
تنش گرمایی است که معنی‌دار نیست. میانگین تعداد روزهای همراه با تنش در فصل تابستان به ۴۲ روز می‌رسد که در مقایسه با فصل بهار دو برابر افزایش یافته است.

- تبریز

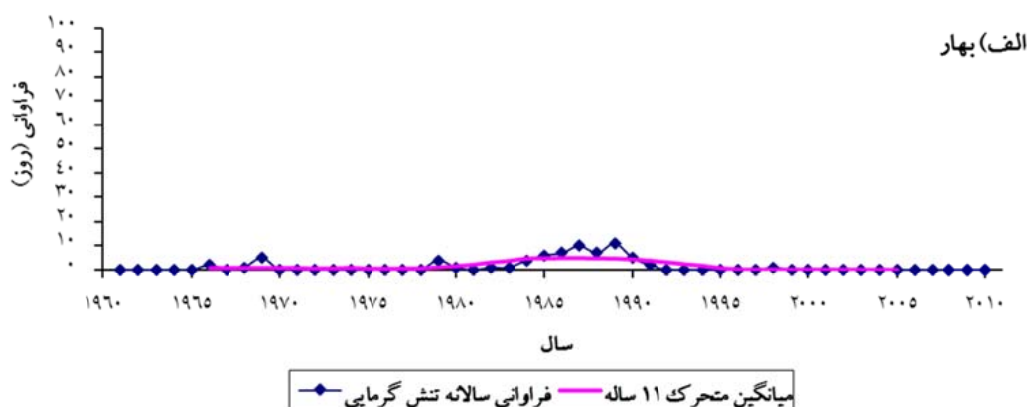
براساس آماره بدست آمده از آزمون Mann-Kendall (۰/۵۵-)، فراوانی تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی در طول فصل بهار، کاهشی بوده، اما معنی‌دار نیست. در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۸۹ فراوانی روزهای گرم به ۱۱ روز می‌رسد اما در مجموع نوسانات تنش‌های گرمایی زیاد نبوده و در ۷۸ درصد از سال‌های مورد مطالعه بین صفر تا یک روز است (شکل ۴ الف). میانگین تعداد روزهای همراه با تنش در این ایستگاه ۱/۳

بعد سیر نزولی پیدا می‌کند. فراوانی تنش‌های گرمایی در این فصل، بین صفر تا ۴۸ روز بوده و میانگین تعداد روزهای همراه با تنش در این ایستگاه ۹ روز است.

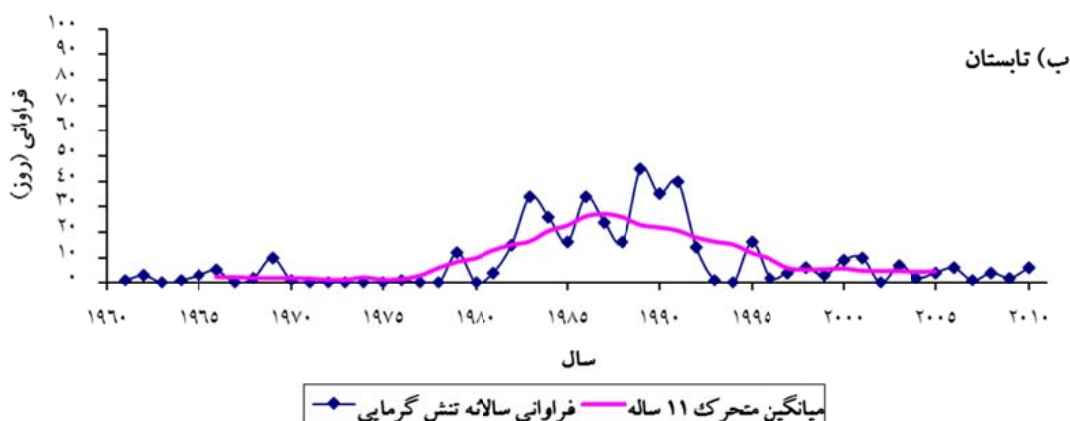
روز است. در فصل تابستان نوسانات روزهای همراه با تنش گرمایی در این ایستگاه افزایشی بوده اما معنی‌دار نیست (شکل ۴ ب). از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ روند صعودی بوده و در دهه



شکل ۳- روند تغییرات تنش‌های گرمایی شهر رشت در فصل بهار (الف) و فصل تابستان (ب) در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰



شکل ۴- روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی شهر تبریز در فصل بهار (الف) و فصل تابستان (ب) در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

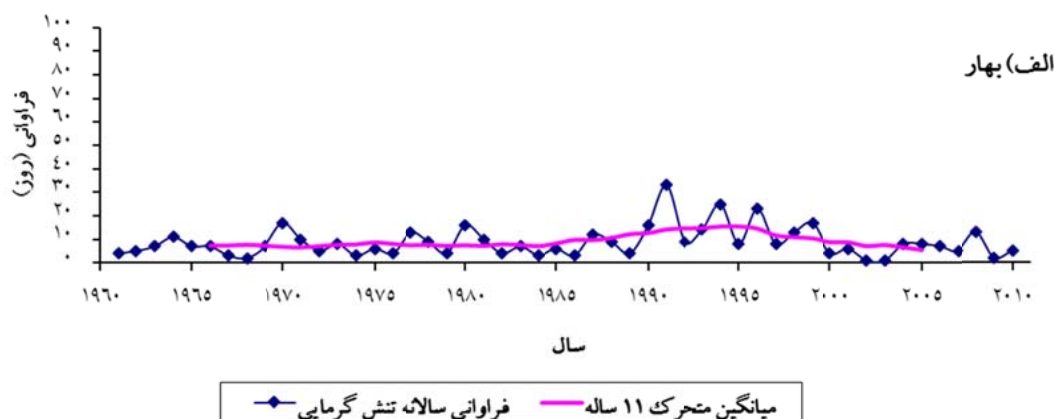


ادامه شکل ۴- روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی شهر تبریز در الف) فصل بهار و ب) فصل تابستان در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

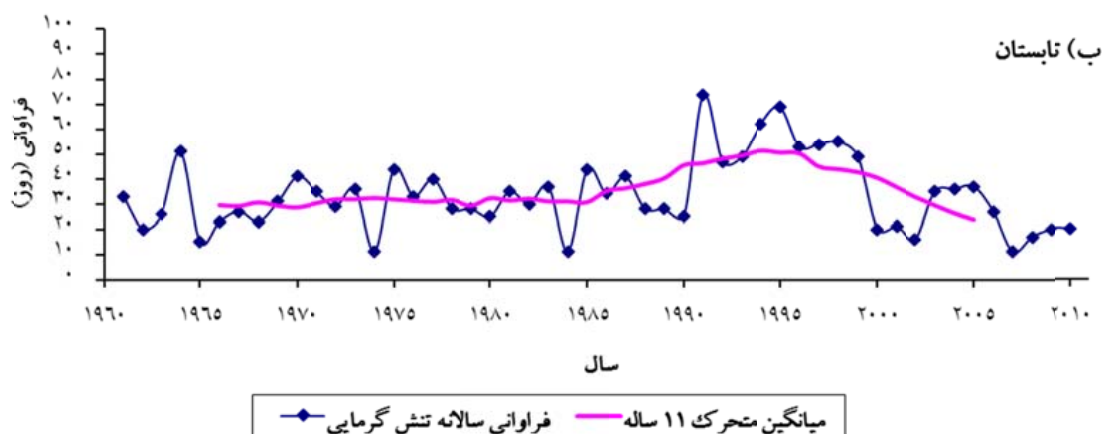
### - اصفهان

فصل تابستان (شکل ۵ ب) روند تغییرات تنش‌های گرمایی تقریباً مشابه فصل بهار است، یعنی در سال‌های ابتدای دوره نوسانات نسبتاً ملایم بوده و اختلاف زیادی با مقدار میانگین (۳۳/۷) ندارد. در سال ۱۹۹۱ فراوانی روزهای همراه با تنش گرمایی نیز افزایش یافته و به ۷۴ روز می‌رسد. پس از آن نوسانات کاهشی بوده و تا انتهای دوره ادامه دارد. مقادیر آزمون Mann-Kendall در فصول بهار (۰/۴۷) و تابستان (۰/۵۲) افزایشی است، اما در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست.

بررسی روند تنش‌های گرمایی در شهر اصفهان نشان می‌دهد تغییرات این شاخص در سال‌های ابتدای دوره نسبتاً ملایم بوده، از سال ۱۹۸۶ به تدریج افزایش می‌یابد و در سال ۱۹۹۱ به ۱۰۷ روز یعنی حداکثر مقدار در طول دوره آماری می‌رسد (شکل ۵ الف). پس از آن روند نزولی شده و تا انتهای دوره ادامه می‌یابد. تنش‌های گرمایی تا سال ۱۹۸۶ روند خاصی نداشته و پس از آن شروع به افزایش می‌نماید. میانگین تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی در این شهر ۸/۶ روز است. در



شکل ۵- روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی شهر اصفهان در الف) فصل بهار و ب) فصل تابستان در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

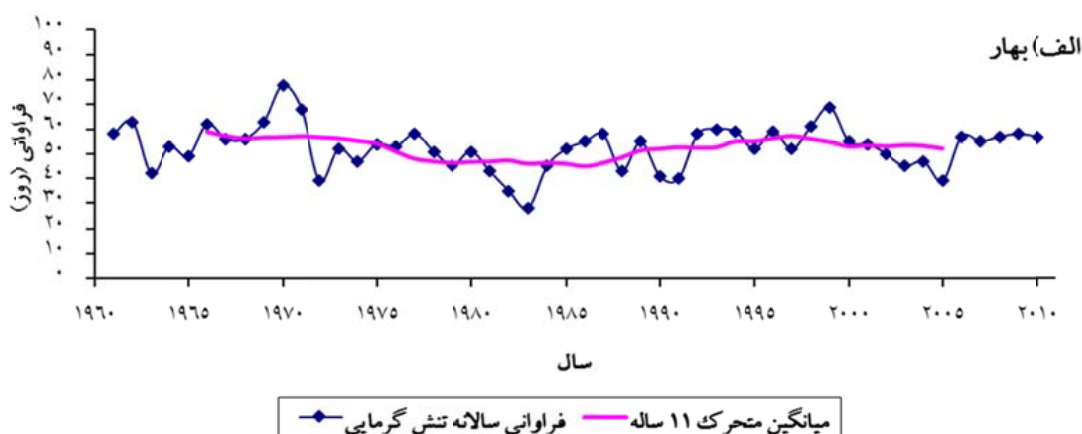


ادامه شکل ۵- روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی شهر اصفهان در الف) فصل بهار و ب) فصل تابستان در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

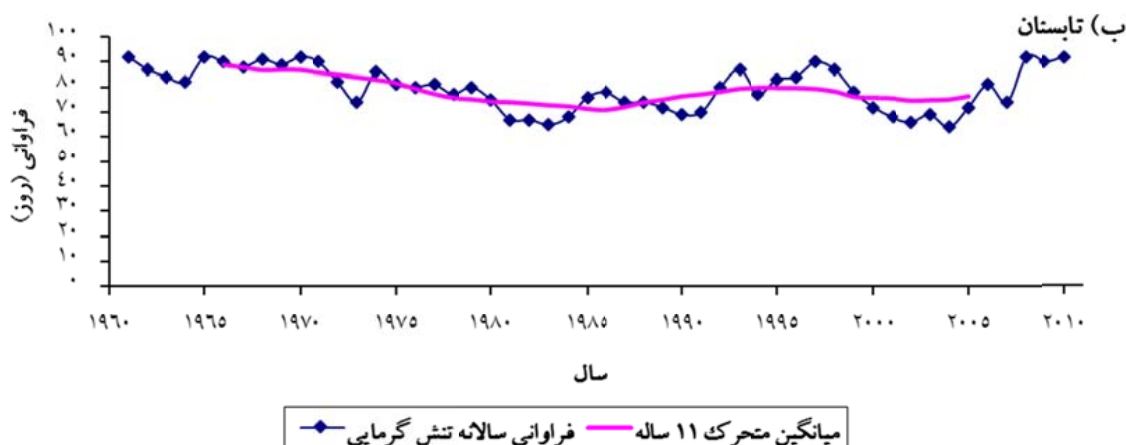
#### - بندر عباس

با تنش گرمایی روند کاهشی داشته و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است (شکل ۶ الف). میانگین روزهای همراه با تنش گرمایی در این فصل به ۸۰ روز می‌رسد. در فصل تابستان، سال ۱۹۶۱ بیشترین فراوانی تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی (۹۲ روز) را به خود اختصاص داده است (شکل ۶ ب). جدول ۲ نتایج بدست آمده از تحلیل روند تنش‌های گرمایی را با آزمون Mann-Kendall در شهرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

نتیجه آزمون من کندال حاکی از روند کاهشی تنش‌های گرمایی این ایستگاه در طی فصول بهار (۰/۱۲-) و تابستان (۲/۵۸-) است. با توجه به شکل ۱۰، تعداد روزهای همراه با تنش در فصل بهار از ابتدای دوره تا سال ۱۹۸۶ روند کاهشی داشته و پس از آن افزایش تدریجی را نشان می‌دهد. میانگین تعداد روزهای همراه با تنش در این فصل ۵۳ روز است. در فصل بهار، بیشترین فراوانی تنش‌های گرمایی مربوط به سال ۱۹۷۰ به میزان ۷۸ روز بوده؛ اما در تابستان فراوانی روزهای همراه



شکل ۶- روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی شهر بندر عباس در الف) فصل بهار و ب) فصل تابستان در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰



ادامه شكل ۶- روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی شهر بندر عباس در الف) فصل بهار و ب) فصل تابستان در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

جدول ۲- نتایج بدست آمده از تحلیل روند با آزمون Mann-Kendall

تابستان		بهار		ایستگاه آماره Mann-Kendall
Pvalue	آماره آزمون	Pvalue	آماره آزمون	
۰/۰۰۴	۲/۵۸	۰/۰۷	۱/۴۵	مشهد
۰/۴۶	-۰/۰۸	۰/۰۱	-۲/۳۶	رشت
۰/۰۵۷	۱/۸۰	۰/۲۸	-۰/۵۵	تبریز
۰/۲۹	۰/۵۲	۰/۳۱	۰/۴۷	اصفهان
۰/۰۰۴	-۲/۵۸	۰/۴۴	-۰/۱۲	بندرعباس

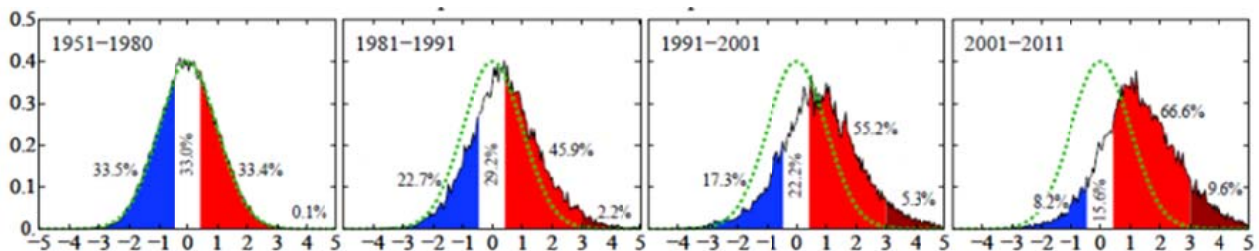
رشت ۲۰، تبریز ۲، اصفهان ۹ و بندرعباس ۵۳ روز بوده است. در این فصل، تنها آماره آزمون Mann-Kendall در شهر رشت در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. در تابستان آماره بدست آمده از آزمون من کندال برای مشهد (۲/۵۸)، رشت (-۰/۰۸)، تبریز (۱/۸۰)، اصفهان (۰/۵۲) و بندرعباس (-۲/۵۸) بوده است که نشان‌دهنده تغییرات افزایشی این شاخص در ایستگاه‌های مشهد، تبریز و اصفهان و روند کاهش‌ی این شاخص در ایستگاه‌های رشت و بندرعباس است. در این فصل مشهد در سال‌های ۱۹۸۴-۱۹۸۲ و ۱۹۹۰-۱۹۸۷، رشت در سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۸۱، تبریز در سال‌های ۱۹۹۱-

#### بحث

براساس آزمون Mann-Kendall تغییرات تنش‌های گرمایی در فصل بهار در ایستگاه‌های مشهد (۱/۴۵) و اصفهان (۰/۴۷) افزایشی و در تبریز (-۰/۵۵)، رشت (-۲/۳۶) و بندرعباس (-۰/۱۲) کاهش‌ی بوده است. با توجه به نمودارها، مشهد در سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۸، رشت در سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۸۳، تبریز در سال‌های ۱۹۸۹-۱۹۸۷، اصفهان در سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۸۶ و بندرعباس در سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۸۶ بیشترین تعداد روزهای داغ را در طول فصل بهار تجربه کرده‌اند. میانگین تعداد روزهای همراه با تنش در فصل بهار در ایستگاه مشهد ۹،

آنها همچنین نشان داده است ۸۲ درصد کل امواج گرمایی، در دهه‌های اخیر رخ داده است. مقایسه نمودارهای فصلی شاخص دمای معادل فیزیولوژیک حاکی از آن است که در مجموع دهه ۱۹۹۰-۱۹۸۰ در طول پنجاه سال گذشته بیشترین روزهای همراه با تنش گرمایی را به خود اختصاص داده است. این یافته با نتیجه مطالعه Hansen و همکاران (۳۵) مطابقت دارد که در آن از آمار ۶۱۴۷ ایستگاه هواشناسی برای ارزیابی توزیع احتمال دما در نیمکره شمالی استفاده شده است. به عنوان مثال، شکل ۷ ناهنجاری دمای تابستانه خشکی‌های نیمکره شمالی را در دهه‌های ۱۹۹۱-۱۹۸۱، ۲۰۰۱-۱۹۹۱ و ۲۰۱۱-۲۰۰۱ نسبت به دوره مرجع ۱۹۸۰-۱۹۵۱ نشان می‌دهد. مشاهدات نشان می‌دهند که فراوانی ناهنجاری‌های گرم غیر معمول در سه دهه گذشته افزایش یافته است. حرکت دهه به دهه منحنی زنگوله‌ای به سمت راست و ظهور تعداد زیاد ناهنجاری‌های حدی گرم، نشانه‌ای از گرمایش جهانی است. همانطور که مشاهده می‌شود، فراوانی وقوع دماهای تابستانه خشکی‌های نیمکره شمالی در هر سه دهه نسبت به دوره مرجع مورد مطالعه افزایش یافته است. همچنین درصد مربوط به رخداد‌های فرین گرم (Warm Extreme Event) نیز ۹/۶ درصد است که نسبت به دوره مرجع مورد مطالعه (۰/۱ درصد)، رشد تقریباً ۱۰۰ درصد را نشان می‌دهد.

۱۹۷۶ و اصفهان و بندرعباس در سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۸۶ گرم‌ترین روزها را داشته‌اند. میانگین تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی در ایستگاه مشهد ۲۰، رشت ۴۲، تبریز ۹، اصفهان ۳۴ و بندرعباس ۸۰ روز بوده است. با وجودی که روند تغییرات تنش‌های گرمایی رشت در بهار و بندرعباس در تابستان کاهش یافته است، اما میانگین تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی در این دو شهر دارای بالاترین مقدار است. گرمای بندرعباس در مقایسه با رشت به واسطه نزدیک‌تر بودن به خط استوا و عرض جغرافیایی پایین‌تر بیشتر از سواحل دریای مازندران است. شهر مشهد در فصل تابستان تنها شهری است که دارای روند افزایشی معنی‌دار تنش‌های گرمایی در سطح ۱ درصد است. این موضوع نیاز به مراقبت اورژانسی و پیشگیری‌های تکمیلی مرتبط با امواج گرمایی را در این شهر تایید می‌نماید. نتایج تحقیق Esmaili و همکاران (۲۰) نیز که با هدف پهنه‌بندی آسایش اقلیمی با استفاده از شاخص دمای فیزیولوژیک انجام شده است، بیانگر افزایش وقوع تنش‌های گرمایی در مناطق پست و جنوبی است. نتایج پژوهش حاضر؛ با نتایج بدست آمده توسط Martinez و همکاران (۳۴) نیز مطابقت دارد. نتایج آنها حاکی از وجود روند افزایشی تنش گرمایی است. به عنوان مثال در شهر مکزیکالی که دارای بالاترین میزان ثبت بیماری‌های مربوط به حمله گرماسست، روند امواج گرمای مشاهده شده افزایشی بوده است. نتایج



شکل ۷- فراوانی وقوع ناهنجاری دمای تابستانه (August و July, June) خشکی‌های نیمکره شمالی نسبت به دوره مرجع ۱۹۸۰-۱۹۵۱ بر حسب انحراف معیارهای محلی. ناهنجاری‌های دمایی در دوره ۱۹۸۰-۱۹۵۱ از توزیع نرمال (منحنی سبز رنگ) پیروی می‌نماید که برای تعریف فصول سرد (آبی)، نرمال (سفید) و گرم (قرمز) هر کدام با احتمال تقریباً برابر ۳۳/۳ درصد مورد استفاده قرار گرفته است.

## نتیجه گیری

شده توسط Gomez و همکاران (۳۶) نشان می‌دهد استخرها و دریاچه‌های مصنوعی، باعث ایجاد اثرات سرمایشی در فضای شهرها می‌شوند، چون نسبت به نواحی اطراف خود آلودگی (سپیدایی) کمتری دارند. در خیابان‌های باریک، درختان می‌توانند از عبور نسیم‌ها جلوگیری کنند. فواره‌های آب مخازن باید به گونه‌ای طراحی شوند که اثر نسیم‌ها را برای بهبود آسایش حرارتی در نواحی اطراف تقویت نمایند. لازم به ذکر است یکی از کاستی‌های این تحقیق، عدم اندازه‌گیری و دسترسی به داده‌های هواشناسی در مراکز شهرهاست؛ به همین دلیل در پژوهش حاضر از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده است که در مناطق خارج از شهرها قرار دارند. با توجه به وجود جزیره گرمایی در مراکز شهرها، ممکن است روند تغییرات تنش‌های گرمایی در این مناطق از آنچه در این تحقیق بیان شده است، بیشتر باشد. به همین دلیل لازم است با اندازه‌گیری متغیرهای هواشناسی در نقاط مختلف شهرها، روند تغییرات شاخص‌های زیست‌اقلیمی نظیر شاخص دمای معادل فیزیولوژیک در آینده مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد، روند تغییرات فراوانی وقوع روزهای همراه با تنش گرمایی در ایستگاه‌های مشهد، اصفهان و تبریز طی فصول بهار و تابستان افزایشی بوده است. همانطور که زمین گرم‌تر می‌شود، اهمیت در نظر گرفتن پیامدهای تغییر اقلیم بر وقوع تنش‌های گرمایی بیشتر می‌شود. وجود روند صعودی وقوع تنش‌های گرمایی در ایستگاه‌های مذکور ضرورت توجه به مسئله تنش گرمایی و شیوع امراض را از بعد برنامه ریزی و مدیریت بحران، روز به روز بیشتر می‌کند. از جمله تاثیرات امواج گرمایی بر انسان، گرمزدگی، انقباض حرارتی عضلات و مرگ و میر ناشی از افزایش آلرژی‌ها را می‌توان نام برد. میانگین تعداد روزهای همراه با تنش گرمایی در دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین آمار متعلق به ایستگاه‌های بندرعباس و رشت بوده است که نزدیکی این ایستگاه‌ها به دریا و تخییر بالا را می‌توان از دلایل اصلی آن به شمار آورد. با توجه به اینکه تنش‌های گرمایی برای سلامتی انسان مضر هستند، بایستی با انجام پاره‌ای از اقدامات، اثر آنها را کاهش داد. مطالعات انجام

## منابع

1. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Fourth Assessment Report. New York: Cambridge University Press; 2007.
2. Poumadere M, Mays C, Le Mer S, Blong R. The 2003 heat wave in France: dangerous climate change here and now. Risk analysis. 2005;25(6):1483-94.
3. Tereshchenko I, Filonov A, Gallegos A, Monzón C, Rodríguez R. El Nino 1997-98 and the hydro-meteorological variability of Chapala, a shallow tropical lake in Mexico. Journal of Hydrology. 2002;264(1):133-46.
4. Ferris R, Ellis R, Wheeler T, Hadley P. Effect of high temperature stress at anthesis on grain yield and biomass of field-grown crops of wheat. Annals of Botany. 1998;82(5):631-39.
5. Kjellstrom T. Climate change, direct heat exposure, health and well-being in low and middle income countries. Global Health Action. 2009;2:10.3402/gha.v2i0.1958.
6. Jendritzky G, Tinz B. The thermal environment of the human being on the global scale. Global Health Action. 2009;2:10.3402/gha.v2i0.2005.
7. McMichael A, Haines A, Sloof R, Kovats S. Climate Change and Human Health. Geneva: World Health Organization; 1996.
8. Fallah Ghalhari G, Mayvaneh F, Shakeri F. Evaluation of the thermal comfort and human health by using Universal Thermal Climate Index (UTCI) Case Study: Kurdistan Province. Iranian Journal of Health and Environment. 2015;8(3):367-78 (in Persian).
9. Tebaldi C, Hayhoe K, Arblaster JM, Meehl GA. Going to the extremes- An Intercomparison of Model-Simulated Historical and Future Changes in Extreme Events. Climatic Change. 2006;79(3-4):185-211.
10. Barriopedro D, Fischer EM, Luterbacher J, Trigo

- RM, García-Herrera R. The hot summer of 2010: re-drawing the temperature record map of Europe. *Science*. 2011;332(6026):220-24.
11. Luterbacher J, Dietrich D, Xoplaki E, Grosjean M, Wanner H. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science*. 2004;303(5663):1499-503.
12. Schär C, Vidale PL, Lüthi D, Frei C, Häberli C, Liniger MA, et al. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*. 2004;427(6972):332-36.
13. Fallah Ghalhari GA. *Essentials and Fundamentals of Meteorology*. Sabzevar: Hakim Sabzevari University Publication; 2014 (in Persian).
14. De Freitas C. Assessment of human bioclimate based on thermal response. *International Journal of Biometeorology*. 1985;29(2):97-119.
15. Rose VE, Cohn B. *Industrial Hygiene*. New York: John Wiley and Sons; 2000.
16. Parsons K. *Human Thermal Environment: The Effects of Hot, Moderate and Cold Temperatures on Human Health, Comfort and Performance*. New York: CRC Press; 2003.
17. Pilcher JJ, Nadler E, Busch C. Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*. 2002;45(10):682-98.
18. Amelung B, Blazejczyk K, Matzarakis A. *Climate Change and Tourism – Assessment and Coping Strategies*. Germany: Maastricht-Warsaw-Friberg; 2007.
19. Thomson MC, Garcia-Herrera R, Beniston M. *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health*. New York: Springer; 2008.
20. Esmaili R, Gandomkar A, Montazeri M. Mapping of Comfort climate Khorasan Razavi using Physiological Equivalent Temperature Index. *Journal of Climate Research*. 2010;3(1,2):110-14.
21. Matzarakis A, Mayer H, Iziomon MG. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*. 1999;43(2):76-84.
22. Matzarakis A, Endler C. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology*. 2010;54(4):479-83.
23. Matzarakis A, De Rocco M, Najjar G. Thermal bioclimate in Strasbourg-the 2003 heat wave. *Theoretical and Applied Climatology*. 2009;98(3-4):209-20.
24. Matuschek O, Matzarakis A. A mapping tool for climatological applications. *Meteorological Applications*. 2011;18(2):230-37.
25. Omonijo AG, Adeofun CO, Oguntoke O, Matzarakis A. Relevance of thermal environment to human health: a case study of Ondo State, Nigeria. *Theoretical and Applied Climatology*. 2013;113(1-2):205-12.
26. Golbabaie F, Monazam Esmaili MR, Hemmatjou R, Yaaghoub P, Reza G, Hosseini M. Comparing the Heat Stress (DI, WBGT, SW) Indices and the Men Physiological Parameters in Hot and Humid Environment. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2012;5(2):245-52 (in Persian).
27. Kalkstein LS, Greene JS. An evaluation of climate/mortality relationships in large US cities and the possible impacts of a climate change. *Environmental Health Perspectives*. 1997;105(1):84.
28. Masoodian S. *The climate of Iran*. Iran: Sharia Toos Publication; 2011 (in Persian).
29. The Association of German Engineers. *Environmental meteorology, interactions between atmosphere and surfaces; calculation of the short-and long wave radiation*. Germany: The Association of German Engineers; 1994.
30. Mann HB. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 1945:245-59.
31. Kendall MG. *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin Book Series; 1975.
32. Hisdal H, Stahl K, Tallaksen LM, Demuth S. Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology*. 2001;21(3):317-33.
33. Rahimzadeh F. *Statistical Methods In Meteorological and Climatological Studies*. Iran: Seyed Bagher Hosseini Publication; 2009 (in Persian).
34. Martínez-Austria PF, Bandala ER, Patiño-Gómez C. Temperature and heat wave trends in northwest Mexico. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2016;91:20-26.
35. Hansen J, Ruedy R, Sato M, Lo K. Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics*.

2010;48:2010RG000345.

36. Gómez F, Pérez Cueva A, Valcuende M, Matzarakis A. Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of acity (Valencia, Spain)- Utility of the physiological equivalent temperature (PET). *Ecological Engineering*. 2013;57:27-39.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Assessing the Seasonal Variability of Thermal Stresses During the Last Half Century in Some Climatic Zones of Iran

Gh Fallah Ghalhari<sup>1,\*</sup>, R Esmaili<sup>2</sup>, F Shakeri<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan-Razavi, Iran

2. Department of Architecture, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

3. Ph.D Student of Urban Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan-Razavi, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 14 March 2016

**Revised:** 5 June 2016

**Accepted:** 11 June 2016

**Published:** 18 September 2016

**Key words:** Climate change, Heat stress, Physiological equivalent temperature index

**\*Corresponding Author:**

[ab\\_fa789@yahoo.com](mailto:ab_fa789@yahoo.com)

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Nowadays, indicators related to human physiology have special roles in human bioclimatic and environmental studies. One of these indices is Physiological Equivalent Temperature (PET). In the present study, trends of physiological equivalent temperature index over the past half century, which is the foundation of plans, especially in the field of health and environment, were evaluated in four climatic regions of Iran (Mashhad, Rasht, Esfahan, Tabriz and Bandar Abbas).

**Material and methods:** In this study, the data required to calculate the heat stress in the daily scale for 50 years during 1961-2010 were obtained from Iranian Meteorological Organization. Then, PET index at the daily scale was calculated and values greater than 35°C were identified for warm periods of the year. In the next step, the seasonal trends were analyzed by Mann-Kendall test.

**Results:** Changes in the frequency of days with heat stress in stations of Mashhad, Isfahan, and Tabriz have been rising during spring and summer. In other words, the greatest amount of positive change has occurred over the long-term average in these cities. The highest frequency of hot days was observed in Rasht and Bandar Abbas stations. The main reason for this subject has to do with how adjacent they were to the sea and the high rate of evaporation in such areas.

**Conclusion:** The 1980s-1990s have been allocated as the most days of hot stress. Upward trend of thermal stress occurring in the studied stations has increased the attention to the problem of heat stress and disease (thermal attack, fainting, muscle cramps) from the field of planning and management of the crisis.

Please cite this article as: Fallah Ghalhari Gh, Esmaili R, Shakeri F. Assessing the seasonal variability of thermal stresses during the last half century in some climatic zones of Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;9(2):233-46.