Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.12, Issue 38, December 2023

Assessing the risk of mortality caused by heat stress in Iran's metropolises

Faegeh Almasi[1], Manuchehr Farajzadeh[2*], Yousef Ghavidel Rahimi[3]

1. PhD Student of Climatology, Tarbiat Modares University, Tehran , Iran
2. *Corresponding Author*, Professor of Climatology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Associate Professor of Climatology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 27 May 2023
Revised: 21 June 2023
Accepted: 16 July 2023

Keywords:
Heat stress, Mortality, Summer, UTCI index, Iran.

ABSTRACT

Thermal stress is one of the risk factors for mortality. The research aims to identify the potential of the Universal Thermal Climate Index (UTCI) as a heat-related health risk indicator in Iran. Using 32 years of daily meteorological data, UTCI values in different percentiles were computed to identify excess mortality periods in five cities of Tehran, Ahvaz, Mashhad, Shiraz, and Isfahan in the summer season. Frequency patterns of summer UTCI index classes were identified. Threshold percentiles of minimum and maximum index values were extracted for each station. The results of the research showed that the summer values of the index vary between -1.9 and 55.4 degrees Celsius. In total, 18.08% of the night temperature (minimum temperature of thermal climate index) and 97.64% of the daily temperature (maximum temperature of thermal climate index) of the studied days were associated with heat stress. During the studied period, 10% of summer days are in the conditions related to the maximum UTCI index values in three classes of strong, very strong, and severe heat stress. Correlation with mortality data from 5 stations showed that the relationship between UTCI and the number of deaths depends on the bioclimate of the station and that the number of deaths increases in very strong and severe heat stress conditions, that is when UTCI Above 38 and 46 degrees Celsius. The fitting of the categories of heat stress on the number of deaths with the trend of the LOWESS function showed that the distribution of deaths according to the UTCI index had a diverse nature and was seen as V-, U-, and J-shapes. The increase in mortality depends on the levels of heat stress, and at 35 degrees Celsius and above, i.e. entering the moderate heat stress category of the UTCI index, an increase in mortality is evident.

Cite this article: Almasi, F., Farajzadeh, M., & Ghavidel Rahimi, Y. (2023). Assessing the risk of mortality caused by heat stress in Iran's metropolises. Journal of Natural Environmental Hazards, 12(38), 131-148. DOI: 10.22111/jneh.2023.45769.1963

© Manuchehr Farajzadeh.
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2023.45769.1963

* Corresponding Author Email: farajzam@modares.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۸، دی ۱۴۰۲

ارزیابی ریسک مرگ و میر ناشی از تنش گرمایی در کلانشهرهای ایران

فائقه الماسی[۱]، منوچهر فرج زاده[۲*]، یوسف قویدل رحیمی[۳]

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران
۲. استاد دانشگاه تربیت مدرس تهران (نویسنده مسئول)
۳. دانشیار دانشگاه تربیت مدرس تهران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

واژه‌های کلیدی:
تنش گرمایی، مرگ و میر، تابستان، شاخص UTCI، ایران.

چکیده

تنش های گرمایی یکی از عوامل خطر در مرگ و میر به شمار می رود. هدف پژوهش، شناخت پتانسیل شاخص جهانی آب و هوای حرارتی (UTCI) به عنوان شاخص خطر سلامت مرتبط با گرما در ایران است. با استفاده از ۳۲ سال داده های روزانه هواشناسی، مقادیر UTCI در صدک های مختلف برای شناسایی دوره های مرگ و میر بیش از حد در پنج شهر تهران، اهواز، مشهد، شیراز و اصفهان در فصل تابستان تعریف شد. الگوهای فراوانی طبقات شاخص UTCI تابستانه شناسایی شد. آستانه صدک های مقادیر حداقل و حداکثر شاخص برای هر ایستگاه استخراج شد. نتایج پژوهش نشان داد مقادیر تابستانی شاخص بین ۵۵/۴ تا ۱/۹- درجه سانتیگراد متغیر است. در مجموع ۱۸/۰۸٪ دمای شبانه (دمای حداقل شاخص اقلیم حرارتی) و ۹۷/۶۴ ٪ دمای روزانه (دمای حداکثر شاخص اقلیم حرارتی) روزهای مورد مطالعه همراه با تنش گرمایی بوده است. در طول دوره مورد مطالعه ۱۰ درصد روزهای تابستان در شرایط مرتبط با مقادیر حداکثر شاخص UTCI در سه کلاس تنش گرمایی قوی، بسیار قوی و شدید قرار دارند. همبستگی با داده های مرگ و میر از ۵ ایستگاه نشان داد که رابطه بین UTCI و تعداد مرگ و میر بستگی به آب و هوای زیستی ایستگاه دارد و تعداد مرگ و میر در شرایط تنش گرمایی بسیار قوی و شدید افزایش می یابد، یعنی زمانی که UTCI بالای ۳۸ و ۴۶ درجه سیلسیوس است. برازش رده های تنش گرمایی بر تعداد مرگ و میرها با روند تابع LOWESS نشان داد پراکندگی مرگ و میر در راستای شاخص UTCI ماهیت متنوعی داشته و بصورت اشکال بالابر -V، -U، J دیده شد. میزان افزایش مرگ و میر بستگی به سطوح تنش گرمایی دارد و در حدود ۳۵ درجه سیلسیوس و بالاتر، یعنی ورود به محدوده رده تنش گرمایی متوسط شاخصUTCI ، افزایش مرگ و میر مشهود است.

استناد: الماسی, فائقه, فرج زاده, منوچهر, قویدل رحیمی, یوسف. (۱۴۰۲). ارزیابی ریسک مرگ و میر ناشی از تنش گرمایی در کلانشهرهای ایران. مخاطرات محیط طبیعی, ۱۲(۳۸)، ۱۴۸-۱۳۱. DOI: 10.22111/jneh.2023.45769.1963

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© فائقه الماسی، منوچهر فرج زاده*، یوسف قویدل رحیمی.

*- منوچهر فرج زاده (نویسنده مسئول)

Email: farajzam@modares.ac.ir

مقدمه

تغییرات آب و هوایی به عنوان بزرگترین تهدید جهانی سلامت در قرن ۲۱ توصیف شده است و زندگی میلیاردها انسان را درمعرض خطر بیشتری قرار می دهد (کاستلو،[1] ۲۰۰۹). در نتیجه تغییرات اقلیمی، میانگین دمای هوا در سطح جهانی طی ۱۰۰ ساله گذشته روند افزایشی را در فراوانی، شدت و مدت زمان وقایع شدید گرمایی یا امواج گرما نشان می دهد (پرکینست،[2] ۲۰۱۲). شرایط محیطی که بطور بالقوه برای سلامتی انسان مضر باشد هم در محیط های داخلی و هم خارجی رخ می دهند (مک گرگور [3]و همکاران، ۲۰۱۵). در محیط های داخلی مانند منازل و محیط های اداری آسیب های ناشی از امواج گرما عمدتاً با دما، رطوبت و تابش حرارتی نمایش داده می شوند در محیط های آزاد، دیگر عناصر اقیمی مانند باد و تابش مستقیم نیز در نظر گرفته می شود. بعنوان مثال ترکیب درجه حرارت بالا و رطوبت، بدون تهویه و نور مستقیم خورشید بارگرمایی به نام " تنش گرمایی" ایجاد می کند که می تواند توانایی بدن انسان را در حفظ دمای تعادل در محدوده ی عملکرد مطلوب فیزیولوژیکی تضعیف نماید (مک گرگور و ونوس[4]، ۲۰۱۸). رطوبت زیاد و وزش باد کم نیز تنش حرارتی برای افراد را نیز تشدید می کند (رابینسون[5]، ۲۰۰۱). امروزه ارتباط بین فیزیولوژی بدن انسان و پاسخ سیستم قلب و عروق به گرما بسیار بحث برانگیز شده است. از آنجایی که دمای بدن انسان در طول زندگی ثابت و در حدود ۳۷ درجه سانتیگراد است آسایش دمایی زمانی تأمین می گردد که سامانه تنظیم حرارتی بدن، دما را ثابت نگه دارد و این امر هنگامی امکان پذیر است که توازن دمایی بدن یعنی دفع و جذب گرمای بدن متعادل بماند. تأثیر دما بر سلامت انسان متأثر از بقیه متغیر های جوی و نیز شرایط جسمی و روانی افراد است (حیدری[6] و همکاران، ۲۰۱۷). این اثرات احتمالاً در نواحی مختلف و براساس حساسیت پذیری افراد جامعه، مقدار و طول مدت مواجهه و همچنین توانایی افراد در برقراری سازش با تغییرات دمایی متفاوت خواهد بود. چنانچه افزایش دمایی همراه با افزایش رطوبت محیط برای چند روز متوالی اتفاق بیفتد (موج گرمایی) و یا دمای شب هنگام کاهش محسوسی پیدا نکند، مواجهه با گرمای فوق العاده کشنده حتمی خواهد بود (حیدری و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش تنش گرمایی، مکانیسم حرارتی انسان به خطر می افتد بدن گرمای بیشتری را نسبت به اتلاف گرما، تولید یا جذب می نماید و دمای داخلی شروع به افزایش می کند که باعث ناراحتی، اختلالات سیستمی در بدن و در نهایت مرگ می شود (هاونیث[7] و فیالا[8]، ۲۰۱۶). تنش گرمایی بالا مرگ و میر قلبی و عروقی و تنفسی را تشدید می کند که به مراتب بیش از مرگ و میر ناشی از سکته های مغزی است (باسو[9] و سامت[10]، ۲۰۰۲ و باسینی[11] و همکاران، ۲۰۰۸). با این حال روابط بین دما و سلامتی نه یکنواخت و نه قابل پیش بینی است بلکه تحت تأثیر تعدادی از عوامل پیچیده و متقابل از جمله بیولوژیکی، محیطی، پزشکی، اجتماعی و جغرافیایی است (کلینبرگ[12]، ۲۰۰۲). بنابراین اگرچه دمای زیاد به عنوان یک رویداد هواشناختی در نظر گرفته می شود ولی نمی توان آن را بدون

1 costello
2 perkinst
3 McGregor
4 Venos
5 Robinson
6 Heidari
7 Havenith
8 Fiala
9 Basu
10 Samet
11 Baccini
12 Klineberg

توجه به اثراتش بروی جنبه های مختلف زندگی انسان مورد ارزیابی قرار داد (تانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۰). از سوی دیگر عملکرد افراد به مقدار زیاد تابع عوامل محیط زیست آنان است (کاهایا[2]، ۲۰۰۷ و هنکوک[3] و همکاران، ۲۰۰۷). آستانه های گرمایی می تواند با روش ها و شاخص های مختلف محاسبه گردد (چانگنن[4]، ۱۹۹۸). وجود آستانه های گرمایی مختلف در تعاریف گوناگون، گویای این مطلب است که هرچند گرما یک پدیده ی هواشناسی است اما آستانه ی دمایی آن می تواند متأثر از ویژگیهای مکانی هر منطقه باشد بطوریکه در هرمنطقه جغرافیایی براساس ویژگیهای محیطی و اقلیمی آن، می توان آستانه ی دمایی معینی تعریف کرد (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲). در سطح جهان مطالعات زیادی در زمینه شناسایی و اثرات گرما به ویژه روی سلامت انسان صورت گرفته است (کمبل[5] و همکاران، ۲۰۱۸، دی ناپولی[6] و همکاران، ۲۰۱۸، ناپولی و همکاران، ۲۰۱۹، موریج[7]، ۲۰۱۷، واگنر[8] و همکاران، ۲۰۱۸) و به این نتیجه رسیده اند که رابطه مستقیمی بین گرما و مرگ و میر وجود دارد. در ارتباط با تأثیر گرما بر شاخص سلامت جامعه در ایران می توان به مقالات زیر اشاره کرد: (محمدی، ۱۳۸۵) در بررسی تأثیر ارتباط بین عناصر اقلیمی و آلاینده های هوای تهران با مرگ و میرهای ناشی از بیماریهای قلبی (دوره ی مطالعاتی ۲۰۰۳-۱۹۹۹) به این نتیجه رسیدند که بین عناصر آب و هوایی همچون دما، فشار هوا و رطوبت نسبی با فوت شدگان بیماری های قلبی عروقی رابطه و همبستگی قوی و معنی دار وجود دارد. (قنبری و همکاران، ۱۳۹۰) در بررسی رابطه توزیع جغرافیایی فوت شدگان بر اثر انواع بیماریها با مولفه های اقلیمی در استان اصفهان به این نتیجه رسیدند که بین فوت شدگان در اثر انواع بیماری های مطالعه شده و متغیر دما ارتباط مستقیم وجود دارد. (خورشید دوست و همکاران، ۱۳۹۰) طی مطالعاتی در شهر سنندج با عنوان تأثیر عناصر اقلیمی و آلاینده ها بر بیماری هی قلبی عروقی و آسم طی سالهای (۲۰۰۱-۲۰۰۸) به این نتیجه رسیدند که در ارتباط با عناصر اقلیمی، افزایش هرواحد از عناصر میانگین دما، میانگین حداکثر رطوبت نسبی، و سرعت باد غالبا مرگ ومیر حاصل از سکته قلبی را به ترتیب ۱۶٪ ، ۶۰٪ و ۲,۰۲ ٪ افزایش یافته است. (یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۴) طی بررسی های انجام شده بر مراجعات بیماران قلبی عروقی شهر بندرعباس دریافتند که شرایط جوی و تغییرات ان از جمله تنش گرمایی یکی از علل تشدید بیماری به شمار می رود. و همبستگی مثبت قوی و معناداری در سطح آلفای ۰,۰۱ بین شاخص تنش گرمایی و مراجعات قلبی بندرعباس وجود دارد. (باعقیده و همکاران، ۱۳۹۶) به بررسی مقایسه ای تنش های حرارتی در سواحل شمال و جنوب ایران با محوریت سلامت و گردشگری پرداختند. نتایج نشان داد سطوح مختلفی از تنش های حرارتی در سواحل شمال و جنوب کشور وجود دارد که این موضوع برای سواحل جنوبی با وجود تنش های گرمایی شدید در بازه زمانی طولانی، حادتر می باشد. (ضابطیان و همکاران، ۱۳۹۷) مدل تجربی مرتبط با مطالعات سنجش سازگاری روانی گرما را با استفاده از مفهوم سازی و مطالعه مبانی و تجارب موفق جهانی استخراج نمودند. نتایج سلسله مراتبی نشان داد که وزن بعد روانی بسیار بیشتر از بعد مکانی است و برنامه ریزی برای مدیریت رفتارها در

1 Tong
2 Kahaya
3 Hancock
4 Changnon
5 Campbell
6 Di Napoli
7 Murage
8 Wagner

فضای شهری عاملی بسیار مهمتر از برنامه ریزی کالبدی به منظور ارتقای آسایش ادراک شده شهروندان است. (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷) دریافتند که هرمکان، متناسب با ویژگیها و خصوصیات محلی خود در زمانهای مختلف، آستانه های دمایی متفاوت دارد. بالاترین آستانه دمای موج گرما در دوره گرم سال در شرایط موجود و آینده مربوط به ناحیه اقلیمی خوزستان وکمترین آستانه مربوط به قسمتهایی از نوار شمالی و شمال غرب کشور بوده است. (براتی و همکاران، ۱۴۰۰) به بررسی آماری همدیدی شهرهای رکورددار گرما در ایران طی دوره گرم سال پرداختند.

در حال حاضر با توجه به پیشینه مطالعات صورت گرفته در مناطق مختلف جهان در ارتباط با مخاطرات گرمایش جهانی و دغدغه دست اندرکاران سلامت در حفظ جان افراد، لزوم انجام پژوهش های گسترده ضروری می نماید. مطالعات مختلفی در سنجش شاخص UTCI بعنوان یک شاخص آسایش اقلیمی در ایران صورت گرفته است ولی تا کنون مطالعه ای مبنی بر سنجش پتانسیل شاخص UTCI در اثر گذاری گرما بر میزان مرگ و میر انجام نشده است. در این پژوهش تلاش می گردد به ارزیابی شرایط زیست اقلیمی تابستانه در پنج شهر تهران، اهواز، شیراز، مشهد و اصفهان بوسیله شاخص جهانی اقلیم حرارتی[۱] پرداخته شود و پتانسیل آن را به عنوان یک شاخص خطر سلامت مرتبط با گرما مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

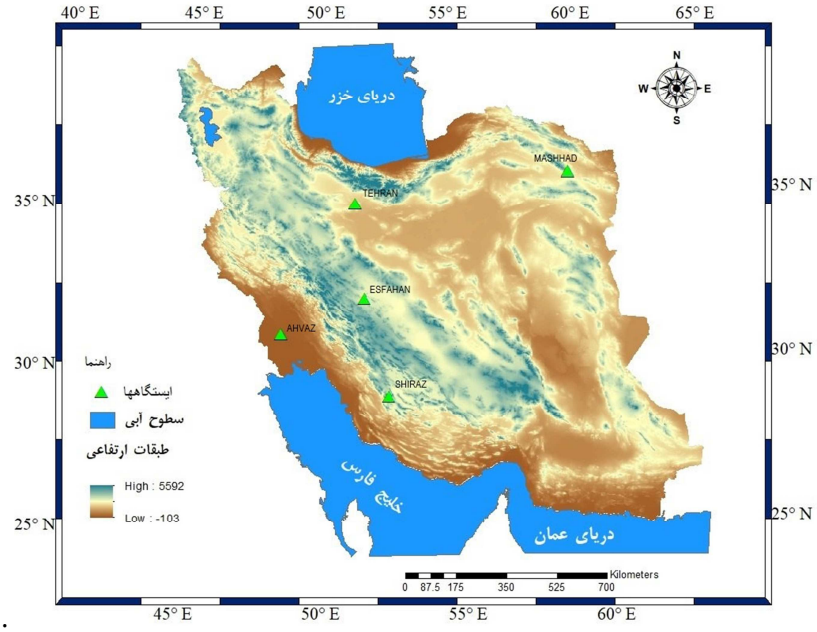
داده ها و روش ها

شاخص جهانی اقلیم حرارتی از داده های هواشناسی درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت نسبی بصورت روزانه در بازه زمانی تابستان ۱۹۹۰ – ۲۰۲۱ در پنج ایستگاه سینوپتیک اهواز، تهران، اصفهان، شیراز و مشهد محاسبه شد. موقعیت مکانی ایستگاه های مورد مطالعه در شکل (۱) آورده شده است. برای محاسبه شاخص UTCI ابتدا میانگین های تابشی (Tmrt) از طریق نرم افزار ریمن[۲] محاسبه شد و خروجی های حاصل وارد نرم افزار بیوکلیما[۳] شدند حداقل، حداکثر و میانگین روزانه شاخص محاسبه شد سپس برای تعیین آستانه های شاخص، صدک های ۹۰، ۹۵، ۹۸، ۹۹,۵ از میانگین ۱۵ روزه شاخص برآورد شد. مدت زمان میانگین متحرک طبق پژوهش های قبلی در مورد گرما (فیشر[۴] و اسچار[۵]، ۲۰۱۰) به ۱۵ روز تنظیم شده است انتخاب این صدک ها با استفاده تاریخی آنها در زمینه تحقیقات گرما توجیه می شود. صدک های بالا و بسیار بالا در مطالعات تأثیر گرما بر مرگ و میر استفاده می شود (زو[۶] و همکاران، ۲۰۱۶). به عنوان مثال، صدک های ۹۵، ۹۸، ۹۹,۵ قبلا به عنوان شاخص مرتبط با مرگ و میر بیش از حد و به طور کلی اثرات منفی بر سلامتی ناشی از دمای شدید هوا در فرانسه مورد بررسی قرار گرفته اند (واگنر[۷] و همکاران، ۲۰۱۲، پاسکال[۸] و همکاران، ۲۰۰۶، ۲۰۱۳). صدک های ۹۰ و ۹۵ معمولا به عنوان آستانه هایی در تعریف و شناسایی رویدادهای موج گرما در برابر رویدادهای غیر موج گرمایی اتخاذ می شود (پرکینس[۹] و الکساندر[۱۰]،

[1] UTCI
[2] Rayman
[3] Bioklima
[4] Fischer
[5] Schar
[6] Xu
[7] Wagner
[8] Pascal
[9] Perkins
[10] Alexander

۲۰۱۳). سپس درصد فراوانی وقوع تابستانی طبقات تنش گرمایی شاخص جهانی اقلیم حرارتی برای هر ایستگاه محاسبه شد. جهت بررسی رفتار کلی شاخص در فصل تابستان، سری‌های زمانی مقادیر حداکثر، حداقل روزانه شاخص از مجموعه داده‌های تنش گرمایی در یک میانگین ۱۰ روزه محاسبه و نمودار روند درون فصلی برای هر شهر استخراج گردید.

انتخاب میانگین متحرک ۱۰ روزه جهت حذف نوسانات بوده است. سپس برای بررسی ارتباط و همپوشانی روزهای همراه با مقادیر بالای شاخص و روزهای مرگ و میرهای بیش از حد، دوره ی تابستانی سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ در سطح پنج ایستگاه در نظر گرفته شد. این بازه ی زمانی از آن جهت بکار گرفته شد که آمار مربوط به مرگ و میر از سازمان ثبت احوال فقط برای سالهای ۲۰۰۲/۱/۱ تا ۲۰۰۵/۱۲/۳۰ در دسترس قرار گرفت. ابتدا نمودارهای پراکندگی مرگ و میر برای هر ایستگاه از مجموعه داده مرگ و میر روزانه تابستان، تولید شد سپس ارتباط مرگ و میرهای روزانه تابستان و میانگین حداکثر مقادیر روزانه شاخص جهانی اقلیم حرارتی نشان داده شد. خطوط رگرسیون در کل فصل تابستان با هموارسازی پراکندگی وزن محلی [1]تعریف شدند



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده های مرگ و میر

دیتای مرگ و میر یا بر اساس عوارض ایجاد شده (که با افزایش پذیرش در بیمارستان اندازه گیری می شوند (سمنزات[2] و همکاران، ۱۹۹۹) یا بر اساس تعداد مرگ و میر (شریدان[3] و کالکستین[4]، ۲۰۰۴) ثبت شده بررسی می

1 LOWESS curve
2 Semenzaet
3 Sheridan
4 Kalkstein

شوند. علاوه بر این، اساس تجزیه تحلیل مرگ و میر روزانه به هر علتی که گزارش شده است مدنظر قرار گرفته شد. تعداد مرگ و میرهایی که طبق تعریف رسمی به عنوان مرگ های ناشی از گرما شناخته می شوند، شامل مرگ ومیرهای ناشی از تأثیرات مستقیم گرما و نیز مرگ و میرهایی که گرما به عنوان نقش بالقوه کمک کننده درمرگ های قلبی عروقی و تنفسی داشته، شناخته شده است (دنگو[1] و همکاران، ۱۹۹۷ و مک گرگوری[2] و همکاران، ۲۰۱۵). در راستای این امر، مطالعه حاضر بر روی تمام داده های مرگ و میر تمرکز دارد. پایگاه داده های روزانه مرگ و میر از ۱/۱/ ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵/۱۲/۳۰ می باشد که از سازمان ثبت احوال کل کشور دریافت شد. این پایگاه داده به مرگ و میر کلی اشاره می کند که ممکن است مرتبط با گرما باشند اما به این ترتیب برچسب گذاری نشده است. باید یادآور شد که برآورد کمیت مرگ و میر بیش از حد با کم کردن مرگ و میر مورد انتظار از مرگ و میر مشاهده شده انجام گردیده است (گسلینگت[3] و همکاران، ۲۰۰۹). مرگ و میر مورد انتظار یا "خط پایه" یک مقدار عادی روزانه است که برای محاسبه تغییرات جمعیتی در طول زمان استاندارد شده است (شریدان[4] و همکاران، ۲۰۰۴) از مرگ و میر مورد انتظار، مرگ و میر اضافی روزانه قابل انتساب به گرما را می توان تخمین زد.

شاخص جهانی اقلیم حرارتی (UTCI)

این شاخص برای هر اقلیم و در هر مقیاس زمانی، مورد استفاده قرار می گیرد. در سال ۱۹۹۹ انجمن بین المللی زیست هواشناسی یک گروه تحقیقاتی ویژه ای برای ابداع شاخص اقلیم حرارتی جهانی (UTCI) تشکیل داد. شاخص به عنوان دمای معادل محیط از یک محیط مرجع با پاسخ فیزیولوژیکی شخص به محیط واقعی تعریف شده است. مقدار شاخص به درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت نسبی و میانگین دمای تابشی بستگی دارد و بصورت زیر نوشته می شود.

$$UTCI= f(Ta;Tmrt;Va;Vp)=Ta + Offset(Ta; Tmrt; Va;Vp) \quad (۱)$$

در رابطه فوق Ta: دمای هوا، Tmrt: میانگین دمای تابشی، Va: سرعت باد، Vp: فشار بخار آب است (بلازجسکی[5] و همکاران، ۲۰۱۳). این شاخص بر اساس رابطه زیر نیز قابل محاسبه است:

$$UTCI = 3.21 + 0.872*Ta + 0.2459*Tmrt – 2.5078*Va – 0.0176*RH \quad (۲)$$

تعدیل بین دمای هوای محیط مرجع یعنی UTCI و دمای هوای محیط واقعی، به مقادیر Ta به درجه سانتیگراد، دمای متوسط تابشی (Tmrt) به درجه سانتیگراد، سرعت باد (Va) به متر در ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری و رطوبت به درصد بستگی دارد که رطوبت می تواند به صورت رطوبت نسبی (RH) یا فشار بخار آب (Vp) بیان می شود (بلازجسکی[6] و همکاران، ۲۰۱۳). ورودی دخیل جهت محاسبه UTCI میانگین درجه حرارت تابشی (Tmrt) است. این ورودی ویژگی اثر حرارتی تابش خورشیدی است و درجه حرارت را برای انسان بیان می کند و نشان دهنده دمای

1 Donoghue
2 McGergor
3 Goslinget
4 Sheridan
5 Blazejczyk
6 Blażejczyk

سطح یکنواخت از یک محوطه فرضی است که شخص را احاطه کرده است و بر اساس رابطه ریاضی زیر قابل محاسبه است:

$$Tmrt = [(R' + 0.5.Lg + 0.5.La) / (Sh . S)] 0.25 + (-273) \quad (۳)$$

در رابطه فوق R' : تابش خورشیدی جذب شده توسط انسان برهنه، Lg: تابش زمین، La: تابش برگشتی، Sh ضریب قابلیت انتشار برای بدن انسان که برابر ۰/۹۵ است و S : ثابت استفان بولتزمان (5.667 × 10 -8 W .m-2..k-4) (بلازجسکی، ۲۰۱۱). UTCI در قالب یک مقیاس ارزیابی ساخته شده از ده سطح تنش بیان می شود. هر سطح، که توسط محدوده خاصی از مقادیر شاخص تعریف می شود نشان دهنده بار ناشی از پاسخ های فیزیولوژیکی و تنظیم کننده حرارت بدن انسان هنگام پاسخ به شرایط محیط واقعی است (بلازجسکی و همکاران، ۲۰۱۳). از آنجایی که این مطالعه بر فصل تابستان متمرکز است، هفت سطح تنش از تنش سرمایی متوسط تا تنش گرمایی شدید در نظر گرفته شده است. جدول ۱ طبقه بندی های این شاخص را بر اساس معیارهای اقلیمی و فیزیولوژیکی نشان می دهد.

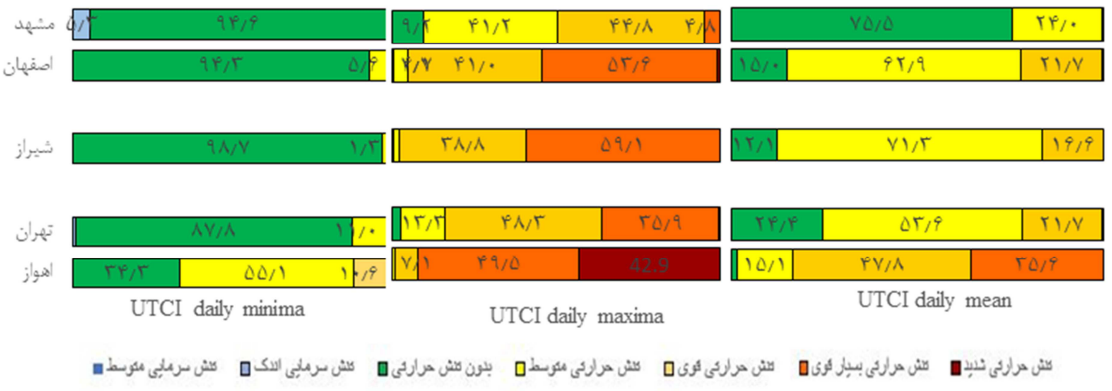
جدول ۱: طبقات شاخص UTCI و اقدامات حفاظتی

UTCI (°C)	شرایط تنش حرارتی	اقدامات حفاظتی
+۴۶ <	تنش گرمایی شدید	خنک کردن و نوشیدن مایعات بیش از ۰/۵ لیتر در یک ساعت - نداشتن فعالیت فیزیکی
+۴۶ تا +۳۸	تنش گرمایی بسیار قوی	استفاده از وسایل خنک کننده – قرار گرفتن در مکان سایه دار- نوشیدن مایعات بیش از ۰/۵ لیتر در ساعت- کاهش فعالیت فیزیکی
+۳۸ تا +۳۲	تنش گرمایی قوی	نوشیدن مایعات ۰/۲۵ لیتر در هر ساعت- کاهش موقت فعالیت فیزیکی
+۳۲ تا +۲۶	تنش گرمایی متوسط	نوشیدن مایعات ۰/۲۵ لیتر در هر ساعت
+۲۶ تا +۹	بدون تنش گرمایی	تنظیم حرارت فیزیولوژیکی برای حفظ آسایش حرارتی کافی است
+۹ تا ۰	تنش سرمایی اندک	استفاده از دستکش و کلاه
۰ تا -۱۳	تنش سرمایی متوسط	تشدید فعالیت – محافظت صورت و اندام ها در برابر سرما
-۱۳ تا -۲۷	تنش سرمایی قوی	تشدید فعالیت – محافظت صورت و اندام ها در برابر سرما – استفاده از لباس گرم
-۲۷ تا -۴۰	تنش سرمایی بسیار قوی	تشدید فعالیت – محافظت صورت و اندام ها در برابر سرما – استفاده از لباس گرم – کاهش زمان حضور در محیط های بیرون
-۴۰ >	تنش سرمایی شدید	ماندن در خانه – استفاده از پوشش لباس گرم برای محافظت در برابر سرما و سوزباد

منبع (بلازجسکی و همکاران، ۲۰۱۳)

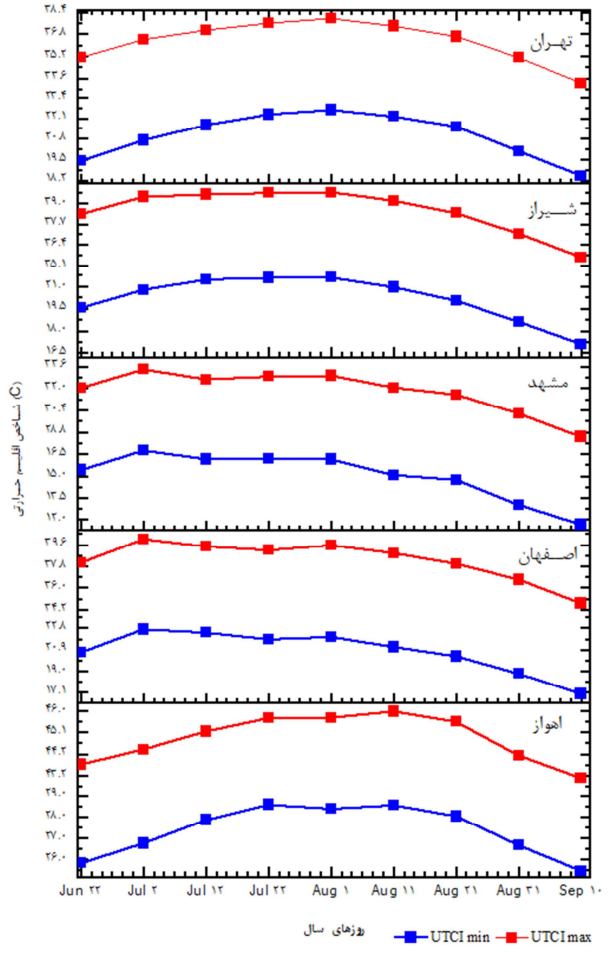
نتایج و بحث

نمودارهای حرارتی زیست اقلیمی مشتق‌شده از داده‌های ۱۹۹۰ – ۲۰۲۱ نشان می‌دهد که فراوانی وقوع کلاس های UTCI در تابستان از شهری به شهر دیگر متفاوت است و سازگاری محلی انسان با تنش گرمایی به آب و هوا نیز بستگی دارد (شکل ۲). در حالی که مقادیر حداقل روزانه UTCI بیانگر شرایط یکنواخت تری است، مقادیر میانگین و حداکثر روزانه UTCI جزئیات بیشتری را در مورد زیست اقلیم شهرهای منتخب ارائه می دهد. بالاترین درصد مقادیر حداکثر روزانه UTCI در ایستگاه تهران و مشهد به ترتیب با ۴۸/۳ و ۴۴/۸ به تنش گرمایی قوی تعلق دارد در حالیکه بیشترین درصد شاخص به سمت مرکز ایران در ایستگاه های اصفهان، شیراز ، شرایط گرمایی بسیار قوی به میزان ۵۳/۶، ۵۹/۱ درصد را نشان می دهد و بسمت جنوب غرب در ایستگاه اهواز شرایط گرمایی شدید با ۴۲/۹ درصد بالاترین میزان تنش را به خود اختصاص داده است. بعبارتی دیگر بیش از ۹۰ درصد از دمای روزانه تابستان ایستگاه اهواز تنش گرمایی بسیار قوی و تنش گرمایی شدید را تجربه می‌کند و در مرکز ایران، ایستگاه های تهران، شیراز و اصفهان بیش از ۵۰ درصد روزهای تابستان را در شرایط تنش گرمایی بسیار قوی و شرایط تنش گرمایی قوی طی می کند. ایستگاه مشهد تحت شرایط تنش گرمایی زیاد و تنش گرمایی متوسط در حداکثر روزانه خود قرار می گیرد. مقادیر حداقل روزانه UTCI از الگوی متفاوتی پیروی می کند. همه ی ایستگاه ها بجز ایستگاه اهواز، بالاترین درصد را به شرایط بدون تنش گرمایی اختصاص داده اند این درصدها در ایستگاه تهران ۸۷/۸، در ایستگاه شیراز ۹۸/۷، در ایستگاه اصفهان ۹۴/۳ و در ایستگاه مشهد ۹۴/۶ می باشد در حالیکه ایستگاه اهواز ۵۵/۱ درصد، را به تنش گرمایی متوسط اختصاص داده است. مقادیر میانگین روزانه UTCI در شمال شرق ایران در ایستگاه مشهد ۷۵/۵ درصد شرایط بدون تنش گرمایی ، در ایستگاه اهواز ۴۷/۸ درصد شرایط تنش گرمایی بسیار قوی، در ایستگاه های تهران ۵۳/۶ درصد ، شیراز ۷۱/۳ درصد و در اصفهان ۶۲/۹ درصد تنش گرمایی متوسط بیشترین فراوانی را نشان می دهد. بطور کلی می توان گفت در مجموع پنج ایستگاه ۹۷/۶۴ درصد روزهای تابستان دارای تنش گرمایی روزانه (UTCImax) هستند و ۱۸/۰۸ درصد دارای تنش گرمایی شبانه (UTCImin) هستند.



شکل ۲: درصد فراوانی طبقات تنش گرمایی برای پنج شهر مورد مطالعه، از سمت چپ به ترتیب مقادیر حداقل شاخص UTCI، مقادیر حداکثر شاخص UTCI و مقادیر میانگین شاخص UTCI

در شکل (۳) سری درون فصلی تنش گرمایی منعکس شده است. میانگین ۱۰ روزه حداقل و حداکثر روزانه UTCI در ایستگاه اهواز با فاصله زیاد نسبت به بقیه ایستگاه ها قرار دارد. با این حال در همه ی ایستگاه ها، سری درون فصلی تابستانه مشابه و به سمت آخر تابستان کاهشی است نگاه دقیق تر به رفتار تابستانی UTCI در ایستگاه اهواز نشان از افزایش شاخص تا حدود ۱۰ روز آخر تیرماه دارد و به اوج خود می رسد و در ۲۰ روز اول مرداد تقریباً در همان مقدار باقی می ماند و پس از آن کاهش می یابد. در ایستگاه مشهد ابتدای فصل تابستان در ۱۰ روز ابتدای تیرماه مقادیر شاخص افزایش ولی از اواسط تیرماه کاهشی می شود. در سه ایستگاه دیگر شیراز، اصفهان و تهران مقادیر شاخص ابتدا افزایشی و در ۱۰ روز آخر مرداد ماه کاهشی است که این نشان دهنده سازگاری با سطوح بالا تنش گرمایی است که در نیمه دوم تابستان اتفاق می‌افتد و آسیب‌پذیری بالقوه جمعیت محلی زمانی که رویدادهای گرمای شدید در قسمت اول تابستان اتفاق می‌افتد، می‌باشد.



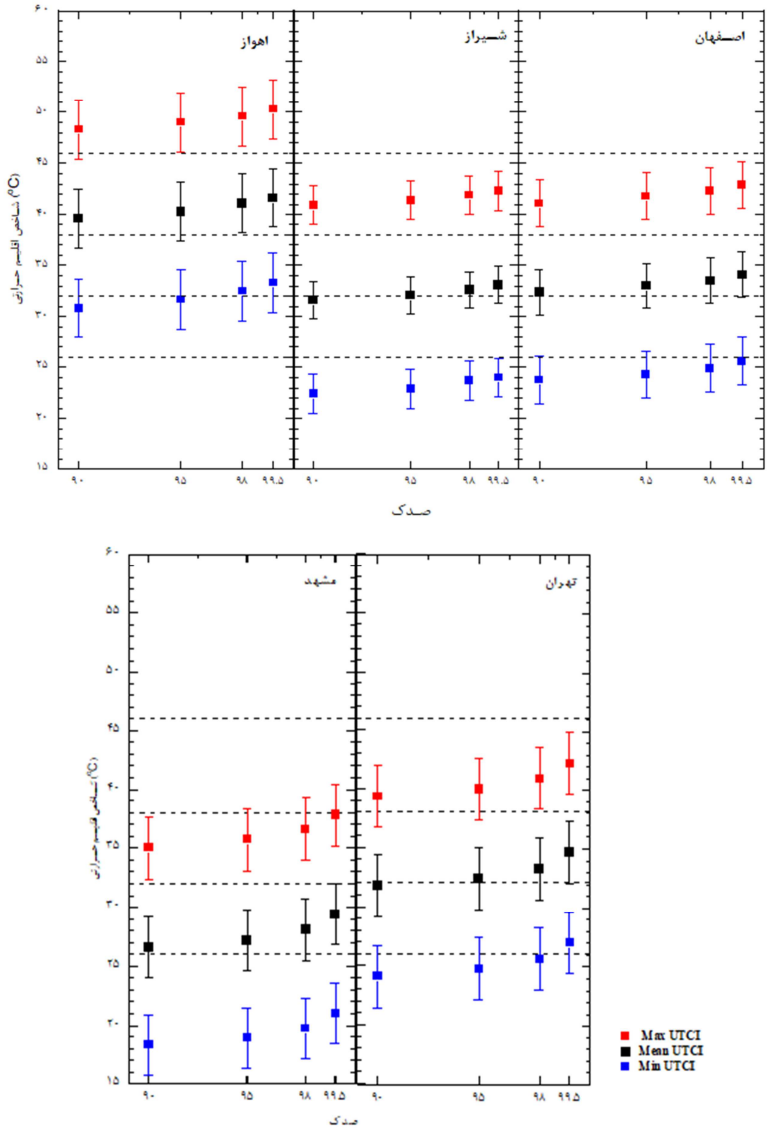
شکل ۳: سری درون فصلی مقادیر حداقل روزانه شاخص UTCI (خطوط آبی رنگ) و حداکثر روزانه شاخص UTCI (خطوط قرمز رنگ). نقاط روی خطوط به مقادیر میانگین ۱۰ روزه اشاره دارد

آستانه ی تنش گرمایی شاخص اقلیم حرارتی UTCI

از مجموعه داده های تنش گرمایی، زیست اقلیم های متفاوت مقادیر آستانه های شاخص UTCI در صدک های ۹۰، ۹۵، ۹۸ و ۹۹,۵ برای هر پنج ایستگاه اهواز، تهران، شیراز، اصفهان و مشهد محاسبه شده و در شکل (۴) منعکس شده است. آستانه صدک های شاخص UTCI در ایستگاه اهواز بالاترین مقدار و ایستگاه مشهد پایین ترین مقدار را نشان می دهد. آستانه صدک ۹۰ مقادیر حداکثر شاخص ایستگاه اهواز عمدتا در رده تنش گرمایی شدید، ایستگاه تهران، اصفهان و شیراز در رده تنش گرمایی بسیار قوی و برای ایستگاه مشهد در رده تنش گرمایی قوی قرار می گیرد. این نتیجه نشان می دهد ۱۰٪ احتمال دارد در طول فصل تابستان شرایط مرتبط با حداکثر مقدار UTCI در ایستگاه اهواز بالاتر از ۴۶ درجه سانتیگراد (تنش گرمایی شدید)، در ایستگاه های تهران، اصفهان و شیراز بالاتر از ۳۸ درجه سانتیگراد (تنش گرمایی بسیار قوی) و در ایستگاه مشهد، بالاتر از ۳۲ درجه سانتیگراد (تنش گرمایی قوی) برسد. رویدادهایی که با تنش گرمایی قوی، بسیار قوی و شدید در حداکثر UTCI مشخص می شوند، جمعیت محلی را در معرض بار گرمایی بالاتر از آنچه که با آن سازگار هستند، و پیامدهای منفی بالقوه برای سلامتی آنها قرار می دهند.

حداقل آستانه UTCI در ایستگاه اهواز در رده " تنش گرمایی متوسط" و " تنش گرمایی قوی" قرار گرفته است. در ایستگاه تهران و اصفهان، حداقل آستانه در دو رده "بدون تنش گرمایی " و " تنش گرمایی متوسط" و برای ایستگاه شیراز و مشهد در دسته "بدون تنش گرمایی " است. مقادیر حداقل در اهواز بطور میانگین بین ۳۶-۲۸ درجه سانتیگراد، در تهران بین ۳۰-۲۲ درجه سانتیگراد، در اصفهان و شیراز بین ۲۸-۲۱ درجه سانتیگراد و در مشهد بین ۲۴-۱۶ درجه سانتیگراد است. آستانه‌های میانگین UTCI در تقاطع بین دسته‌های تنش گرمایی متوسط، تنش گرمایی قوی و تنش گرمایی بسیار قوی قرار می گیرند. میانگین آستانه UTCI مرتبط با صدک ۹۸ و ۹۹,۵ در ایستگاه های اصفهان، شیراز، تهران نزدیک یا بالاتر از ۳۲ درجه سانتیگراد، برای ایستگاه مشهد بالاتر از ۲۶ درجه سانتیگراد و برای ایستگاه اهواز بالاتر از ۳۸ درجه سانتیگراد است که این آستانه ها مقادیر را به طور بالقوه معنی دار می کند. عملکرد حداکثر و حداقل دمای هر ایستگاه بعنوان یک آستانه دمایی، بر اساس دمای هوای ۲ متری نشان می دهد این آستانه دمایی با آستانه های UTCI متفاوت است. این مساله به دلیل وابستگی UTCI به سایر پارامترهای هواشناسی است که همراه با دمای هوا برای تعریف شرایط محیطی مؤثر بر تعادل انرژی حرارتی انسان استفاده می شود. اگرچه UTCI وابستگی خطی به دمای هوا دارد، ولی به تغییرات رطوبت، سرعت باد و تشعشع نیز بسیار حساس است (بلازجسکی۱ و همکاران، ۲۰۱۲؛ پاپنبرگ۲ و همکاران، ۲۰۱۵). برای مثال، به طور کلی آستانه‌های حداکثری UTCI بالاتر از صدک‌های دمای هوای مربوطه هستند، که این امر نشان‌دهنده پتانسیل شاخص UTCI در ایجاد سطوح بالاتر تنش حرارتی نسبت به سایر متغیرهای هواشناسی است.

1 Blazejczyk
2 Pappenberger

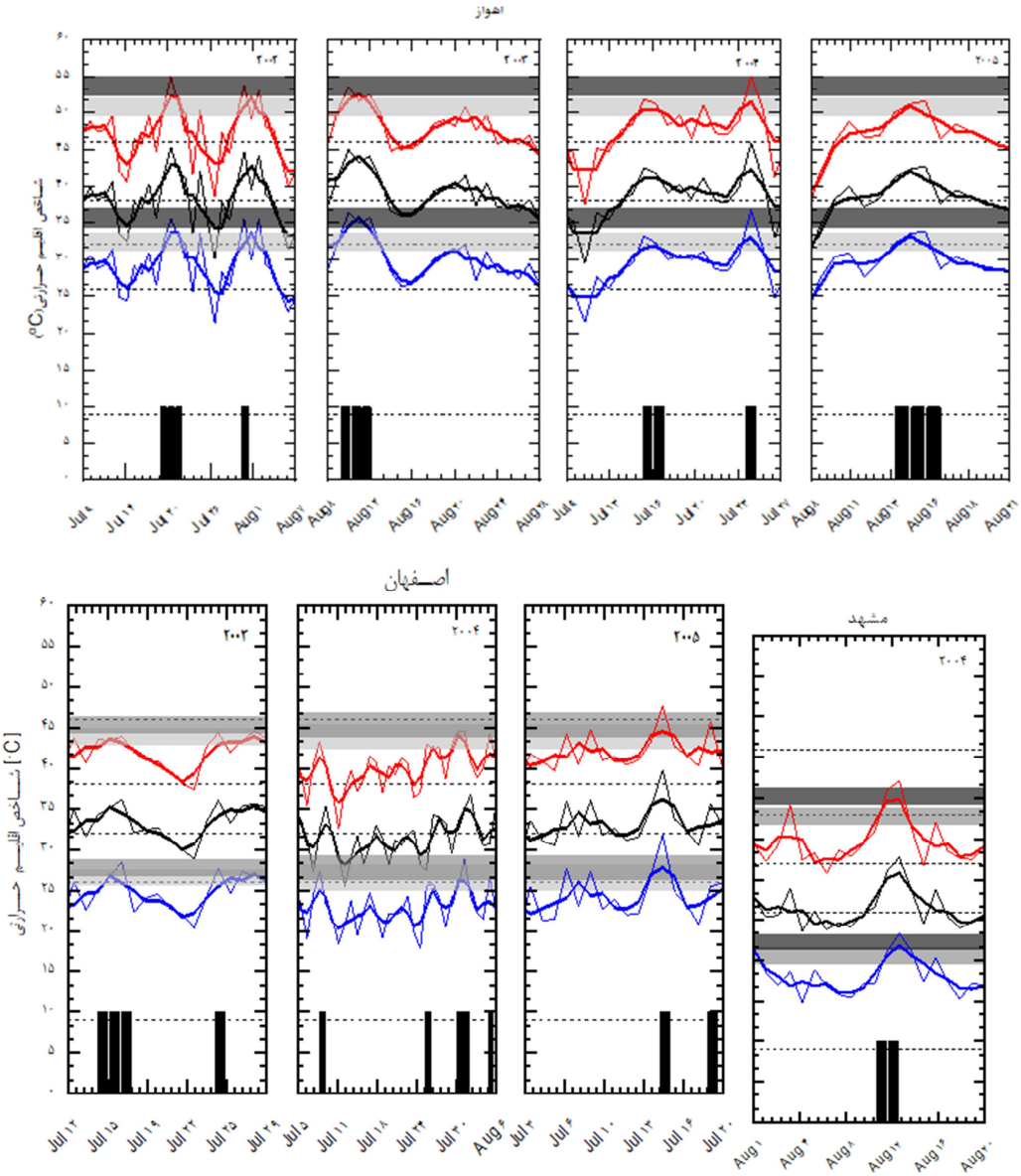


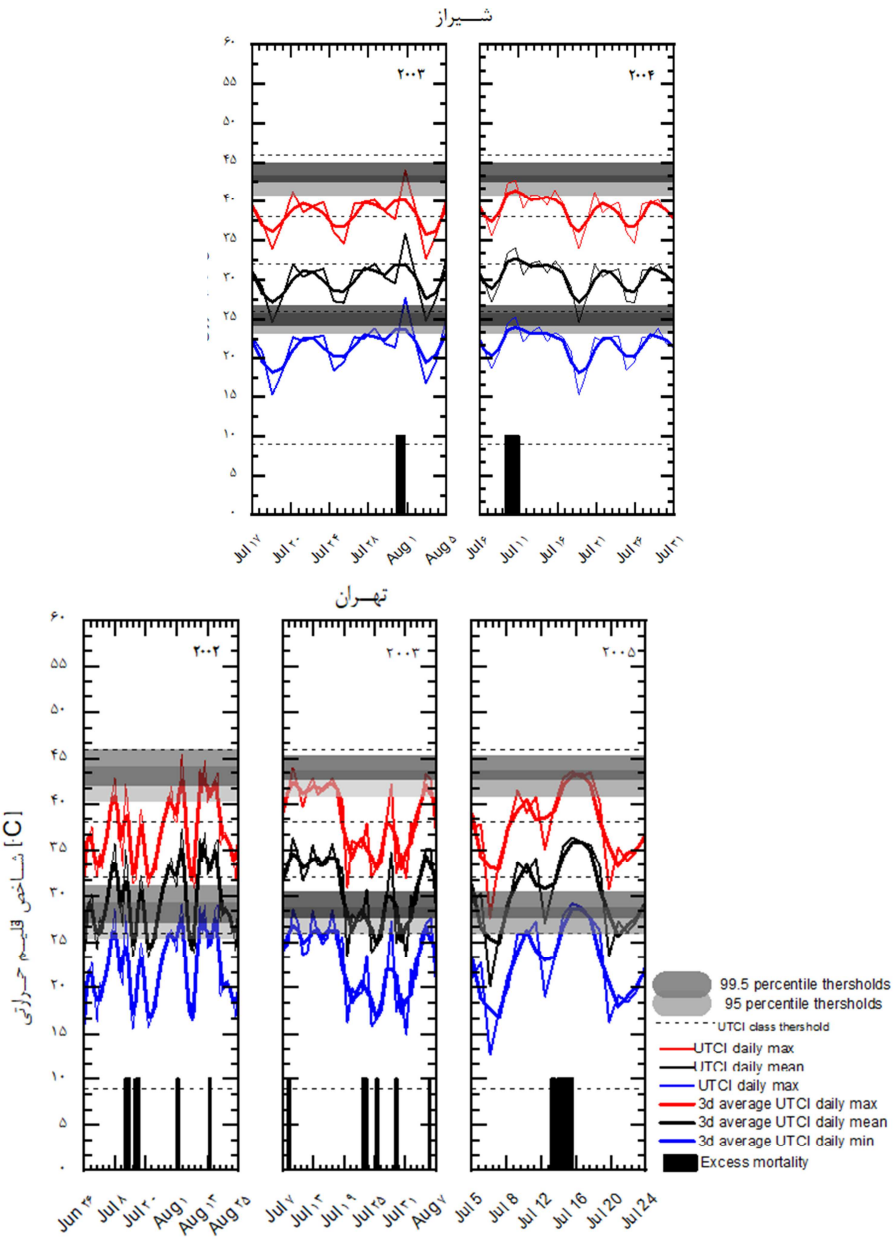
شکل ۴: مقادیر شاخص UTCI و دمای هوا مرتبط با صدک های ۹۰، ۹۵، ۹۸ و ۹۹.۵. (مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب با رنگ آبی، قرمز و مشکی مشخص شده است). نقاط Erorr Bar نشان دهنده تغییرپذیری مقادیر صدک های شاخص در فصل تابستان است. خطوط خط چین طبقات شاخص UTCI را نشان می دهد.

شرایط زیستی شاخص اقلیم حرارتی جهانی و مرگ و میر

مقایسه سری های زمانی UTCI با مرگ و میر های بیش از حد، بینش های بیشتری را در مورد ارتباط بینUTCI ، تنش گرمایی و اثرات سلامتی در پنج شهر در نظر گرفته شده در این مطالعه ارائه می دهد (شکل ۵) مقدار حداکثر UTCI در ایستگاه اهواز به بالای ۴۶ درجه سانتیگراد یا بیشتر (تنش حرارتی شدید) و نزدیک یا بالای صدک ۹۵ افزایش یافت. در ایستگاه های تهران، اصفهان، شیراز و مشهد مقدار حداکثر شاخص UTCI بالای ۳۸ درجه

سانتیگراد (تنش حرارتی بسیار قوی) و نزدیک صدک ۹۹,۵ رسید. مقادیر حداقل UTCI در ایستگاه اهواز بین ۳۸- ۳۲ درجه سانتیگراد (تنش حرارتی زیاد)، ایستگاه شیراز و مشهد بین ۲۶-۹ درجه سانتیگراد (بدون تنش حرارتی) و برای ایستگاه تهران بین ۳۲-۲۶ درجه سانتیگراد (تنش حرارتی متوسط) محاسبه شد. مقادیر میانگین UTCI ایستگاه اهواز بین ۴۶-۳۸ درجه سانتیگراد (تنش حرارتی بسیار زیاد)، ایستگاه تهران و اصفهان بین ۳۸-۳۲ درجه سانتیگراد (تنش حرارتی زیاد) و برای ایستگاه شیراز و مشهد بین ۳۲-۲۶ درجه سانتیگراد (تنش حرارتی متوسط) محاسبه شد. این سطوح از تنش گرمایی غیرمعمول و تشدید شده، بیوکلیماتولوژی روز و شب تهران، اهواز، مشهد، شیراز و اصفهان را مشخص کرد. در واقع مقادیر حداکثر و حداقل UTCI روی صدک ۹۹,۵ و ۹۵ در نوسان بوده، که نشان‌دهنده سهم برابر تنش گرمایی روزانه و شبانه در هر پنج ایستگاه است.



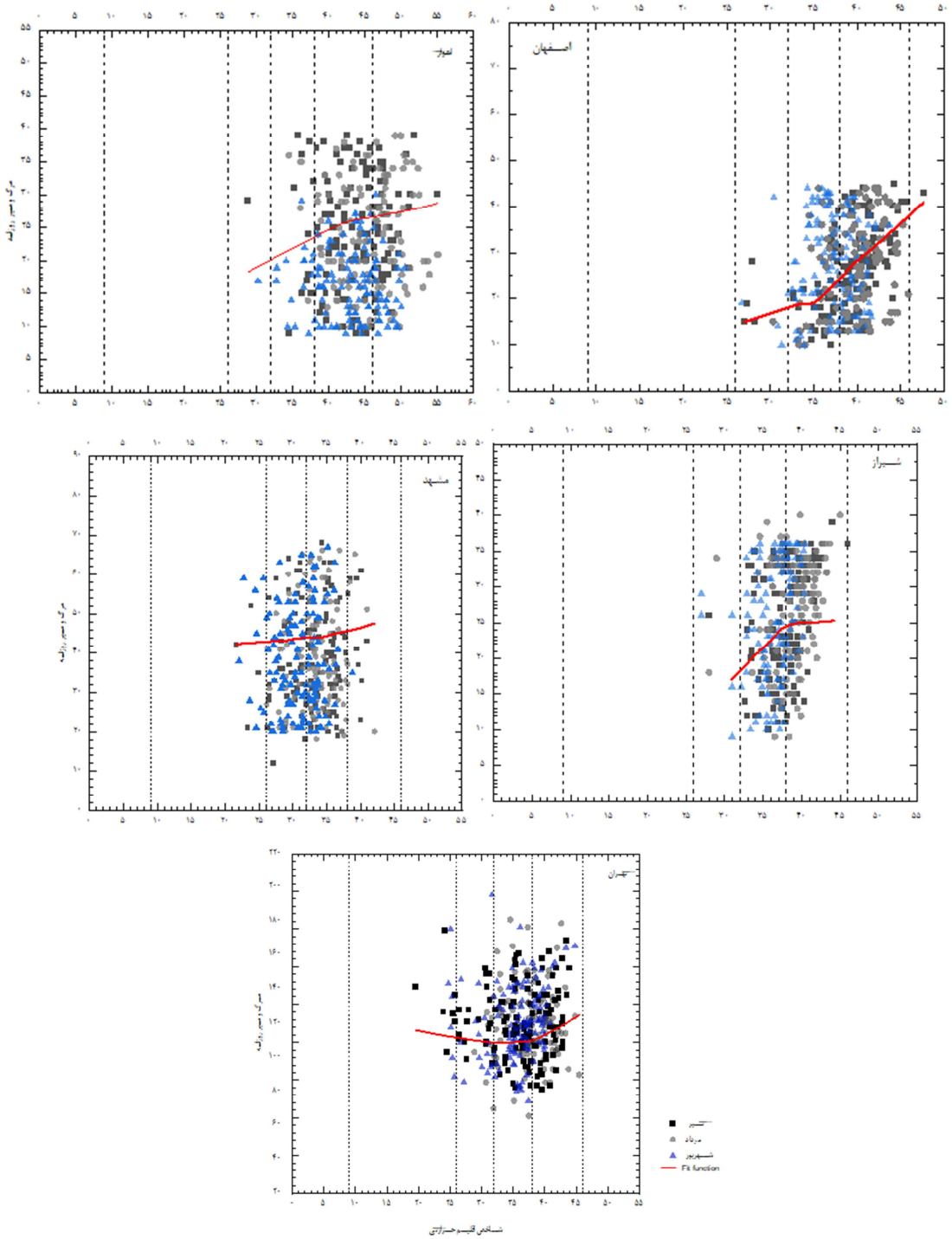


شکل ۵: سری زمانی مقادیر حداقل (رنگ آبی)، مقادیر میانگین (رنگ مشکی) و مقادیر حداکثر (رنگ قرمز) در طول رویدادهای همراه با مرگ و میر بیش از حد ناشی از گرما. مقادیر شاخص UTCI بصورت میانگین ۳ روزه نمایش داده می شود. نوارهای مربوط به صدک ۹۵ و ۹۹,۵ برای مقایسه نشان داده شده است. خط چین ها طبقات مختلف شاخص را نشان داده است.

شاخص اقلیم حرارتی جهانی و پراکندگی مرگ و میر

به منظور ارزیابی تأثیر تنش گرمایی بر سلامت انسان در محدوده پنج ایستگاه مورد مطالعه، توزیع تعداد مرگ و میر ناشی از تمامی عوامل در حداکثر مقادیر مختلف UTCI مورد بررسی قرار گرفت. (شکل ۶) نمودار پراکندگی مرگ و

میر و شاخص UTCI نشان می دهد که داده ها به طور کلی در خوشه ها گروه بندی می شوند. یک خوشه بر اساس کشور در یک یا چند دسته تنش گرمایی قرار می گیرد. به عنوان مثال، در اهواز، مرگ و میرها به طور کلی با شرایط تنش گرمایی شدید و تنش گرمایی بسیار قوی همراه است. در اصفهان و شیراز، مرگ و میر بیشتر در شرایط تنش گرمایی قوی و بسیار قوی رخ می دهد. در تهران، مرگ و میر ناشی از شرایط تنش گرمایی متوسط و تنش گرمایی قوی و بسیار قوی است. در مشهد مرگ و میرها در شرایط تنش گرمایی متوسط و تنش گرمایی قوی رخ می دهد. برای هر یک از این گروه‌ها، مقوله‌های تنش گرمایی که توسط یک خوشه در بر می‌گیرند، منعکس‌کننده بیوکلیمای حرارتی یک کشور هستند. تأثیر یک رده تنش گرمایی بر تعداد مرگ و میرها با روند تابع LOWESS که برای برازش خوشه‌ها استفاده می‌شود، آشکار می شود. LOWESS روش رگرسیون غیرپارامتری است که مدل های رگرسیون چندگانه را با یک مدل مبتنی بر k نزدیکترین همسایگی ترکیب می کنند. به طور کلی نقاط داده ای که در مجاورت خط تابع قرار دارند وزن بیشتری نسبت به نقاط داده ای که دور هستند دریافت می کنند. روند مرگ و میر متاثر از شاخص UTCI به طور کلی به طبقه بندی تنش گرمایی که یک خوشه در آن قرار می گیرد بستگی دارد.برای خوشه ی اهواز در محدوده تنش گرمایی بسیار قوی و تنش گرمایی شدید، ارتباط بین UTCI و مرگ و میر شیب افزایشی است ولی با افزایش UTCI تا ۴۰ درجه سانتیگراد، شیب افزایش مرگ و میر ملایم تر می شود. با حرکت UTCI به سمت شرایط تنش گرمایی قوی و بسیار قوی در خوشه اصفهان و شیراز، ارتباط بین UTCI و مرگ و میر یک شکل J واضح پیدا می کند و شیب ها به ترتیب در ۳۵ و ۳۹ درجه سانتیگراد تندتر می شوند. خوشه مشهد تقریبا مسطح یا کمی Vشکل است یعنی با افزایش UTCI به ۳۵ درجه سانتیگراد، تعداد مرگ و میرها شروع به افزایش می کند. برای تهران ارتباط U شکل است و ابتدا با افزایش UTCI تا مرز ۳۵ درجه سانتیگراد، تعداد مرگ و میرها کاهش یافته سپس با افزایش UTCI به بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد، تعداد مرگ و میرها شروع به افزایش می کند. همانطور که قابل مشاهده است در همه ی خو شه ها، با ورود شاخص UTCI به محدوده ی ۳۵ درجه سانتیگراد (تنش گرمایی قوی) تعداد مرگ و میرها شروع به افزایش می کند. اهمیت این نتایج دو چندان است. اول، ارتباط مقوله‌ی شاخص UTCI را به‌عنوان محدوده ای که بر اساس مقادیر قابل توجه فیزیولوژیکی تعریف شده است، برجسته می‌کند. دوم، تأثیر پیشرونده و بزرگتر بار حرارتی شاخص را در افزایش مرگ و میر تأیید می کند زیرا شرایط از نظر گرمایی تنش زاتر می شود. این اثر ممکن است به ویژه در مناطقی قابل توجه باشد که تحت سلطه زیست اقلیم های گرمایی با تنش گرما و روابط قوی مرگ و میر UTCI هستند، در حالی که رویدادهای گرمای شدید کوتاه مدت ممکن است تأثیرات بیشتری در کشورهایی داشته باشند که با زیست اقلیم حرارتی خنثی تر و روابط ضعیف تر UTCI-مرگ و میر مشخص می شوند که مطالعات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است. تجزیه و تحلیل حاضر نشان می دهد که رابطه مرگ و میر و UTCI به شدت با زیست اقلیم حرارتی که یک جمعیت در معرض آن قرار گرفته و سازگار شده ارتباط دارد.



شکل ۶: نمودارهای پراکندگی مقادیر میانگین ماهانه مرگ‌های ناشی از تنش گرمایی و مقادیر حداکثر روزانه UTCI برای دوره ۲۰۰۵-۲۰۰۲. خطوط نقطه چین طبقات مختلف تنش UTCI را نشان می دهد.

نتیجه گیری

در این پژوهش پتانسیل UTCI به عنوان یک شاخص خطر سلامت مرتبط با گرما در سطح پنج ایستگاه تهران، اهواز، اصفهان، شیراز و مشهد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با استفاده از داده های هواشناسی ۳۲ ساله نمودارهای فراوانی طبقات تنش گرمایی UTCI برای فصل تابستان محاسبه شده است. مقادیر روزانه حداقل، حداکثر و میانگین UTCIبه ترتیب استخراج شد. برای محاسبه آستانه UTCI در صدک‌های اقلیمی معمولاً در زمینه تحقیقات تنش های گرمایی، صدک‌های ۹۰، ۹۵، ۹۸، و ۹۹،۵ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. فراوانی کلاس های مختلف شاخص UTCI محاسبه و درصد روزهای بدون تنش گرمایی و روزهای همراه با تنش گرمایی تعیین شد. آستانه صدک های مقادیر حداقل شاخص UTCI در سه کلاس بدون تنش گرمایی، تنش گرمایی متوسط و تنش گرمایی قوی و برای آستانه صدک های مقادیر حداکثر شاخص UTCI نیز در سه کلاس تنش گرمایی شدید، تنش گرمایی بسیار قوی و تنش گرمایی قوی قرار گرفتند که احتمال رخداد شرایط مرتبط با حداکثر مقدار شاخص UTCI در این سه کلاس در طول تابستان ۱۰٪ می باشد. رویدادهایی که با تنش گرمایی قوی، بسیار قوی و شدید در حداکثر UTCI مشخص می شوند، جمعیت محلی را در معرض بار گرمایی بالاتر از آنچه که با آن سازگار هستند، و پیامدهای منفی بالقوه برای سلامتی آنها قرار می دهند. می‌کند. با در نظر گرفتن مرگ و میر بیش از حد به عنوان تاثیر اصلی گرما بر سلامت انسان، سری های زمانی UTCI با ازمایش این شرط استفاده شده است که روزهای با مقادیر نزدیک و یا بالاتر از آستانه صدک ها، مطابق با روزهای با مرگ و میر بیش از حد مشاهده شده است. نتایج ارائه شده در این مطالعه نشان داد که حداقل و حداکثر شاخص UTCI بین صدک ۹۵ و ۹۹،۵ در نوسان بوده بنابراین سهم تنش گرمایی روزانه و شبانه تقریبا برابر است. سپس داده‌های زیست‌اقلیمی حرارتی با داده‌های مرگ و میر در پنج ایستگاه مرتبط شده است. نمودار پراکندگی مرگ و میر و شاخص UTCI نشان می دهد که داده ها به طور کلی در خوشه ها گروه بندی می شوند. یک خوشه در یک یا چند دسته تنش گرمایی قرار می گیرد. ماهیت ارتباط بین UTCI و تعداد مرگ و میرها متنوع است (بالابر-V ، -U، J شکل) و زیست اقلیم هر شهر را منعکس می کند. نتایج به دست آمده از واکاوی رفتار مرگ و میر در پنج کلانشهر متاثر از شاخص اقلیم حرارتی با پژوهش های کاهایا (۲۰۰۷)، و هنکوک و همکاران (۲۰۰۷) هم راستا بوده، عملکرد متفاوت شاخص با توجه به عوامل محیط زیستی و تاثیرات ویژگیهای مکانی هر منطقه تایید می شود بطوریکه در هر منطقه جغرافیایی بر اساس ویژگیهای محیطی و اقلیمی آن، ماهیت ارتباط متفاوت خواهد بود. تغییرات تأثیر یک رده تنش گرمایی بر تعداد مرگ و میرها با روند تابع LOWESS که برای برازش خوشه‌ها استفاده می‌شود، آشکار می شود. میزان افزایش مرگ و میر بستگی به سطوح تنش گرمایی دارد و در حدود ۳۵ درجه سانتیگراد و یالاتر، یعنی ورود به محدوده کلاس متوسط UTCI افزایش مرگ و میر مشهود است که در این راستا مطالعه ی همبستگی بین تعداد مرگ و میر در اروپا نشان داد که بین شاخص و تعداد مرگ ها به بیوکلیمای کشور بستگی دارد و تعداد مرگ ها در شرایط تنشی متوسط و قوی مثلا وقتی دما بالای ۲۶ و ۳۲ باشد افزایش می یابد (ناپلی[1] و همکاران، ۲۰۱۸). نیز مطابق پژوهش قنبری و همکاران (۱۳۹۰) متوجه شدند بین عناصر اقلیمی همچون دما، فشار هوا و رطوبت نسبی با فوت شدگان بیماری های قلبی عروقی رابطه و همبستگی قوی و معناداری وجود دارد. بدین ترتیب نتایج ارائه شده در این مطالعه یک ارزیابی اولیه از سودمندی بالقوه و مناسب بودن

[1] Napoli

UTCIدر تعریف خطرات مرگ و میر مرتبط با گرما ارائه داده و نقش تنش گرمایی را به‌عنوان خطر سلامتی نشان می‌دهد.

منابع

اسماعیل نژاد، مرتضی؛ خسروی، محمود؛ علیجانی، بهلول؛ مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۲). شناسایی امواج گرمایی ایران. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۱ (۳۳)، ۵۳-۳۹.

باعقیده، محمد؛ شاکری، فهیمه؛ میوانه، فاطمه. (۱۳۹۶). بررسی مقایسه ای تنش های حرارتی در سواحل شمال و جنوب ایران. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، ۳ (۳)، ۱۱-۱.

خورشید دوست، علی محمد؛ محمدپور، کاوه؛ بیورانی، حسین. (۱۳۹۲). تاثیر عناصر اقلیمی و الاینده ها بر روی بیماریها سکته قلبی و آسم در شهر سنندج (۲۰۰۸-۲۰۰۱). فصلنامه فضای جغرافیایی، ۱۳(۴۲)، ۱۲۵-۱۰۳.

رضائی، فرشته. (۱۳۹۷). استاندارد سازی شاخص حدی امواج گرمایی در دوره گرم سال براساس شرایط اب و هوایی ایران. رساله دکتری تخصصی (Ph.D). استاد راهنما دکتر: محمود احمدی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

براتی، غلامرضا؛ مرادی، محمد؛ سعیدی نیا، مریم. (۱۴۰۰). واکاوی همدید شهرهای رکورددار گرما در ایران. مجله پژوهشهای دانش زمین، ۱۲(۲)، ۶۴-۷۳.

ضابطیان، الهام؛ خیرالدین، رضا. (۱۳۹۷). مدل سلسله مراتبی ارزیابی سازگاری روانی در جهت نیل به آسایش حرارتی و حس مکان در فضاهای شهری. فصلنامه مطالعات شهری، ۷(۲۸)، ۹۰-۷۹.

فلاح قالهری، غلامعباس؛ میوانه، فاطمه؛ شاکری، فهیمه. (۱۳۹۴). ارزیابی آسایش حرارتی انسان با استفاده از شاخص جهانی اقلیم حرارتی، مطالعه موردی: استان کردستان. مجله سلامت و محیط زیست، ۸(۳)، ۳۷۸-۳۶۷.

قنبری، یوسف؛ برقی، حمید؛ غیاث، مجید؛ روزبهانی، رضا؛ حجاریان، احمد؛ محمدی، منیره؛ دهدشتی، نعیمه السادات. (۱۳۹۰). بررسی رابطه توزیع جغرافیایی فوت شدگان بر اثر انواع بیماری ها با مولفه های اقلیمی، نمونه موردی استان اصفهان. مجله دانشکده پزشکی اصفهان، ۲۹(۱۶۰)، ۱۷۱۳-۱۷۲۴.

محمدی، حسین. (۱۳۸۵). ارتباط عناصر اقلیمی و الاینده های تهران با مرگ و میر ناشی از بیماریهای قلبی (دوره ی مطالعاتی ۲۰۰۳-۱۹۹۹). فصلنامه پژوهش های جغرافیایی، (۵۸)، ۶۶-۴۷.

یزدان پناه، حجت الله؛ صالحی فرد، عذری؛ گلشاهی، جعفر. (۱۳۹۴)، بررسی تاثیر امواج گرمایی بر تعداد مراجعات قلبی شهر بندرعباس. فصلنامه برنامه ریزی فضایی (جغرافیا)، ۵(۳)، ۶۲-۴۵.

Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Analitis, A., Anderson, HR. (2008). Heat Effects on Mortality in 15 European Cities. Epidemiology, 19(5), pp 711–719. https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318176bfcd PMID: 1852061.

Basu, R., J. M., Samet. (2002). Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiological evidence. Epidemiol. Rev, 24(2), pp 190–202. https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007.

Blażejczyk, K. (2011). Assessment of regional bioclimatic contrasts in Poland. Miscellanea Geographica-Regional Studies on Development, 15(-1), pp 79-91. https://doi:10.2478/v10288-012-0004-7.

——, Y., Epstein, G., Jendritzky, H., Staiger, B., Tinz. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. Int. J. Biometeor, 56(3), pp 515–535. https://doi:org/10.1007/s00484-011-0453-2.

——, G., Jendritzky, P., Bröde, D., Fiala, G., Havenith, Y., Epstein, A., Psikuta, B., Kampmann. (2013). An introduction to the universal thermal climate index. Geogr. Pol, 86(1), pp 5–10. https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1.

Campbell, S., T. A., Remenyi, C. J., White, F. H., Johnston. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health Place*, (**53**), pp 210–221. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.08.017.

Costello, A., et al. (2009). Managing the Health Effects of Climate Change: Lancet and University College London Institute for Global Health Commission. The Lancet, (373), pp 1693-1733. http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60935-1

Changnon, D., Changnon, S.A. Evaluation of Weather Catastrophe Data for Use in Climate Change Investigations. Climatic Change 38, 435–445 (1998). https://doi.org/10.1023/A:1005348112541

Di Napoli, C., F., Pappenberger, H. L., Cloke. (2018). Assessing heat-related health risk in Europe via the universal thermal climate index (UTCI*). Int. J. Biometeor*, (**62**), pp 1155–1165. https://doi.org/10.1007/s00484-018-1518-2.

——, C., F., Pappenberger, H. L., Cloke. (2019). Verification of Heat Stress Thresholds for a Health-Based Heat-Wave Definition. J. Appl. Meteor. Climatol, (58), pp 1177–1194. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0246.1.
Fischer, E., C., Schär. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. Nat. Geosci, 6(3), pp 398–403, https://doi.org/10.1038/ngeo866.
Hancock, PA., Ross JM., Szalma JL. (2007). A meta-analysis of performance response under thermal stressors. Hum Factors, 49(5), pp 851–877. DOI:10.1518/001872007X230226.
Havenith, G., D., Fiala. (2016). Thermal indices and thermophysiological modeling for heat stress. Compr. Physiol. 6(1), pp 255–302. https://doi.org/10.1002/cphy.c140051.
Heidari, H., Golbabaei, F., Shamsipour, A., Rahimi Forushani, A., Gaeini, A.(2017). The cut-off point for tympanic temperature as a heat strain index for evaluation of outdoor workers: a field study. Int J Occup Safe Ergonom. 24(2), pp 224-32. https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1281524
Heidari, H., Golbabaei, F., Shamsipour, A., Forushani, AR., Gaeini A. (2015). Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN. J Environ Health Sci Engineer. 13(1), pp 1. https://doi.org/10.1186/s40201-015-0199-6
Kahya, E. (2007). The effects of job characteristics and working conditions on job performance. Int J Ind Ergon. 37(6), pp 515–523. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.02.006
Klinenberg E. (2002). Heat Wave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago.
McGregor, G., Bessemoulin, P., Ebi, K., Menne, B. (2015). Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. World Meteorological Organization, WHO, Geneva, Switzerland. 96 pp.
——, J., Vanos. (2018). Heat: A primer for public health researchers. Public Health. 161(23), pp 138–146. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.11.005.
Murage, P., S. Hajat, R. S., Kovats (2017). Effect of night-time temperatures on cause and age-specific mortality in London. *Environ. Epidemiol.* (2)1. pp e005. https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000005.
Pappenberger, F., G., Jendritzky, H., Staiger, E., Dutra, F., Di Giuseppe, D. S., Richardson, H. L., Cloke (2015). Global forecasting of thermal health hazards: The skill of probabilistic predictions of the universal thermal climate index (UTCI). Int. J. Biometeor. (59)3, pp 311–323, https://doi.org/10.1007/s00484-014-0843-3.
Pascal, M., and Coauthors. (2006). France's heat health watch warning system. Int. J. Biometeor. 50(3), 144–153. https://doi.org/10.1007/s00484-005-0003-x.
——, V., Wagner, A., Le Tertre, K., Laaidi, C., Honoré, F., Bénichou, P., Beaudeau. (2012). Definition of temperature thresholds: The example of the French heat wave warning system. Int.J. Biometeor. 57(1), pp 21–29. https://doi.org/10.1007/s00484-012-0530-1.
Perkins, S. E., Alexander, L. V, Nairn, J. R. (2012) Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells, Geophys. Res. Lett. 39(20), pp 20714. https://doi.org/10.1029/2012GL053361.
——., L., Alexander. (2013). On the measurement of heatwaves. J. Climate. (13)26, pp 4500–4517. https://doi.org/10.1175/JCLID-12-00383.1.
Robinson, PJ. (2001). On the definition of a heat wave. Journal of Applied Meteorology. 40(4), pp 762–765.
Tong, S., Wang, X.Y., Barnett, A.G. (2010). Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. PLoS One 5(8), pp e12155. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012155
Semenza, J. C., J. E. McCullough, W.D., Flanders, M.A., McGeehin, J. R., Lumpkin. (1999). Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. Amer. J. Prev. Med. 16(4), pp 269–277. https://doi.org/10.1016/S0749-3797(99)00025-2.
Sheridan, S., L., Kalkstein. (2004). Progress in heat health warning system technology. Bull. Amer. Meteor. Soc, 85(12), pp 1931–1941. https://doi.org/10.1175/BAMS-85-12-1931.
Wagner, V. U. A., C. Calmet, M., Pascal. (2018). Evolution of heat waves and associated mortality in France, 2004-2014. *Bull. Epidemiol. Hebd.* **16–17**, pp 320–325.
Xu, Z., G. FitzGerald, Y.Guo, B. Jalaludin, S., Tong. (2016). Impact of the heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. Environ. Int. 89–90, pp 193–203. https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.007.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Ismailnejad, Morteza; Khosravi, Mahmoud; Alijani, Bahlul; Masoudian, Seyyed Abulfazl. (2012). Identification of heat waves in Iran. Geography and Development Quarterly. 11(33), pp 39-58. [In Persian]
Baagideh, Mohammad; Shakri, Fahima; Miwaneh, Fatima. (2016). A comparative study of thermal stresses in the north and south coasts of Iran. Journal of Community Health Research, 3(3), pp 1-11. [In Persian]
Khurshid Dost, Ali Mohammad; Mohammadpour, Kaveh and Beorani, Hossein. (2012). The effect of climate elements and futures on heart attack and asthma diseases in Sanandaj city (2001-2008). Geographical Space Quarterly, 13(42), pp 103-125. [In Persian]
Rezaei, Fereshte. (2017). Standardization of the limit index of heat waves in the hot period of the year based on the climatic conditions of Iran. Doctoral Thesis (Ph.D.). Supervisor: Dr. Mahmoud Ahmadi, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University. [In Persian]
Barati, Gholamreza; Moradi, Mohammad; Saidinia, Maryam. (1400). A synopsis analysis of cities with record heat in Iran. Earth Science Research Journal, 12(2), pp 64-73. [In Persian]
Bajiyan, Elham; Khairuddin, Reza. (2017). Hierarchical model to evaluate psychological adaptation to achieve thermal comfort and sense of place in urban spaces. Quarterly Journal of Urban Studies, 7(28). pp 79-90. [In Persian]
Falah Qalhari, Gholam Abbas; Mivaneh, Fatima; Shakri, Fahima. (2014). Evaluation of human thermal comfort using global thermal climate index, case study: Kurdistan province. Journal of Health and Environment, 8(3), pp 378-367. [In Persian]
Ghanbari, Yusuf; Barki, Hamid; Ghiyath, Majid; Rozbahani, Reza; Hajarian; Ahmad, Mohammadi, Munireh, Dehdashti, Naimeh Al-Sadat. (2013). Investigating the relationship between the geographical distribution of those who died due to various diseases and climatic factors, a case study of Isfahan province. Journal of Isfahan Faculty of Medicine, 29(160), pp1713-1724. [In Persian]
Mohammadi, Hossein. (2006). The relationship between climatic elements and futures of Tehran with mortality from heart diseases (study period 1999-2003). Geographical Research Quarterly, (58), pp 66-47. [In Persian]
Yazdan Panah, Hojjatullah; Salehi Fard, Ezri; Gulshahi, Jafar. (2014). Investigating the effect of heat waves on the number of cardiac visits in Bandar Abbas city. Spatial Planning Quarterly (Geography), 5(3), pp 62-45. [In Persian]

References (in English)

Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Analitis, A., Anderson, HR. (2008). Heat Effects on Mortality in 15 European Cities. Epidemiology, 19(5), pp 711–719. https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318176bfcd PMID: 1852061.
Basu, R., J. M., Samet. (2002). Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiological evidence. Epidemiol. Rev, 24(2), pp 190–202. https://doi.org/10.1093/epirev/mxf007.
Blażejczyk, K. (2011). Assessment of regional bioclimatic contrasts in Poland. Miscellanea Geographica-Regional Studies on Development, 15(-1), pp 79-91. https://doi:10.2478/v10288-012-0004-7.
——, Y., Epstein, G., Jendritzky, H., Staiger, B., Tinz. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. Int. J. Biometeor, 56(3), pp 515–535. https://doi:org/10.1007/s00484-011-0453-2.
——, G., Jendritzky, P., Bröde, D., Fiala, G., Havenith, Y., Epstein, A., Psikuta, B., Kampmann. (2013). An introduction to the universal thermal climate index. Geogr. Pol, 86(1), pp 5–10. https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1.
Campbell, S., T. A., Remenyi, C. J., White, F. H., Johnston. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health Place*, (**53**), pp 210–221. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.08.017.
Costello, A., et al. (2009). Managing the Health Effects of Climate Change: Lancet and University College London Institute for Global Health Commission. The Lancet, (373), pp 1693-1733. http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60935-1
Changnon, D., Changnon, S.A. Evaluation of Weather Catastrophe Data for Use in Climate Change Investigations. Climatic Change 38, 435–445 (1998). https://doi.org/10.1023/A:1005348112541
Di Napoli, C., F., Pappenberger, H. L., Cloke. (2018). Assessing heat-related health risk in Europe via the universal thermal climate index (UTCI*). Int. J. Biometeor*, (**62**), pp 1155–1165. https://doi.org/10.1007/s00484-018-1518-2.
——, C., F., Pappenberger, H. L., Cloke. (2019). Verification of Heat Stress Thresholds for a Health-Based Heat-Wave Definition. J. Appl. Meteor. Climatol, (58), pp 1177–1194. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0246.1.
Fischer, E., C., Schär. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. Nat. Geosci, 6(3), pp 398–403, https://doi.org/10.1038/ngeo866.
Hancock, PA., Ross JM., Szalma JL. (2007). A meta-analysis of performance response under thermal stressors. Hum Factors, 49(5), pp 851–877. DOI:10.1518/001872007X230226.
Havenith, G., D., Fiala. (2016). Thermal indices and thermophysiological modeling for heat stress. Compr. Physiol. 6(1), pp 255–302. https://doi.org/10.1002/cphy.c140051.
Heidari, H., Golbabaei, F., Shamsipour, A., Rahimi Forushani, A., Gaeini, A.(2017). The cut-off point for tympanic temperature as a heat strain index for evaluation of outdoor workers: a field study. Int J Occup Safe Ergonom. 24(2), pp 224-32. https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1281524
Heidari, H., Golbabaei, F., Shamsipour, A., Forushani, AR., Gaeini A. (2015). Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN. J Environ Health Sci Engineer. 13(1), pp 1. https://doi.org/10.1186/s40201-015-0199-6

Kahya, E. (2007). The effects of job characteristics and working conditions on job performance. Int J Ind Ergon. 37(6), pp 515–523. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.02.006
Klinenberg E. (2002). Heat Wave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago.
McGregor, G., Bessemoulin, P., Ebi, K., Menne, B. (2015). Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. World Meteorological Organization, WHO, Geneva, Switzerland. 96 pp.
——, J., Vanos. (2018). Heat: A primer for public health researchers. Public Health. 161(23), pp 138–146. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.11.005.
Murage, P., S. Hajat, R. S., Kovats (2017). Effect of night-time temperatures on cause and age-specific mortality in London. *Environ. Epidemiol.* (2)1. pp e005. https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000005.
Pappenberger, F., G., Jendritzky, H., Staiger, E., Dutra, F., Di Giuseppe, D. S., Richardson, H. L., Cloke (2015). Global forecasting of thermal health hazards: The skill of probabilistic predictions of the universal thermal climate index (UTCI). Int. J. Biometeor. (59)3, pp 311–323, https://doi.org/10.1007/s00484-014-0843-3.
Pascal, M., and Coauthors. (2006). France's heat health watch warning system. Int. J. Biometeor. 50(3), 144–153. https://doi.org/10.1007/s00484-005-0003-x.
——, V., Wagner, A., Le Tertre, K., Laaidi, C., Honoré, F., Bénichou, P., Beaudeau. (2012). Definition of temperature thresholds: The example of the French heat wave warning system. Int.J. Biometeor. 57(1), pp 21–29. https://doi.org/10.1007/s00484-012-0530-1.
Perkins, S. E., Alexander, L. V, Nairn, J. R. (2012) Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells, Geophys. Res. Lett. 39(20), pp 20714. https://doi.org/10.1029/2012GL053361.
——., L., Alexander. (2013). On the measurement of heatwaves. J. Climate. (13)26, pp 4500–4517. https://doi.org/10.1175/JCLID-12-00383.1.
Robinson, PJ. (2001). On the definition of a heat wave. Journal of Applied Meteorology. 40(4), pp 762–765.
Tong, S., Wang, X.Y., Barnett, A.G. (2010). Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. PLoS One 5(8), pp e12155. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012155
Semenza, J. C., J. E. McCullough, W.D., Flanders, M.A., McGeehin, J. R., Lumpkin. (1999). Excess hospital admissions during the July 1995 heat wave in Chicago. Amer. J. Prev. Med. 16(4), pp 269–277. https://doi.org/10.1016/S0749-3797(99)00025-2.
Sheridan, S., L., Kalkstein. (2004). Progress in heat health warning system technology. Bull. Amer. Meteor. Soc, 85(12), pp 1931–1941. https://doi.org/10.1175/BAMS-85-12-1931.
Wagner, V. U. A., C. Calmet, M., Pascal. (2018). Evolution of heat waves and associated mortality in France, 2004-2014. *Bull. Epidemiol. Hebd.* **16–17**, pp 320–325.
Xu, Z., G. FitzGerald, Y.Guo, B. Jalaludin, S., Tong. (2016). Impact of the heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. Environ. Int. 89–90, pp 193–203. https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.007.