

Thermal Profile of Iran in Summer Season using Thermo-hygrometric Index (THI)

Asghari Mehdi¹, Fallah Ghalhari Gholamabbas², Akhlaghi Pirposhteh Elham³, Farhang Dehghan Somayeh^{4,5}

1. Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran. ORCID ID: 0000-0002-5776-1631

2. Professor, Department of Geography and Tourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. ORCID ID: 0000-0003-3499-9070

3. PhD Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. ORCID ID: 0000-0003-2182-4044

4.Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

5.Department of Occupational Health Engineering and Safety at Work, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. (Corresponding Author), Tel: +9821 22432040, Email: somayeh.farhang@gmail.com. ORCID ID: 0000-0002-6607-6396

ABSTRACT

Background and Aim: The thermo-hygrometric index (THI) represents the combined effects of two quantities of air temperature and relative humidity on living organisms and the occurrence of environmental stress, which is expected to change in the coming decades due to the consequences of global warming. Therefore, this study aims to analyze the thermal image of Iran using THI in the summer season of Iran during a statistical period of 30 years.

Materials and Methods: The data related to the average of two variables of air temperature (Celsius) and relative humidity (percentage) daily from 60 synoptic meteorological stations for a statistical period of 30 years (1985-2014) from the summer season of Iran were obtained from the Iranian Meteorological Organization. The THI was calculated for the summer season. The Mann-Kendall statistical test was used to investigate the changes in air temperature, relative humidity and THI.

Results: The trend of temperature parameter changes for the summer season has been increasing in 88.38 percent of Iranian cities, and this increasing trend has been statistically significant in 66.03 percent of these monitored stations. Considering the Sens slope, the most significant increase in the temperature parameter was seen at Yasouj station (+1.050 °C/decade). The trend of changes in temperature-humidity index has been increasing in 75% of the cities, and this increasing trend has been statistically significant in 71.43% of these stations. The most significant increase in THI was seen at Qaemshahr station (+0.449°C/decade). Also, the trend of changes in relative humidity has decreased in 88.3% of cities, and this decreasing trend has been statistically significant in 58.5% of these stations. The most significant decrease in relative humidity was seen in Zabul station (-5.700 °C/decade).

Conclusion: For a statistical period of 30 years in Iran, in the summer season, the trend of changes in THI has been generally increasing and the trend of changes in relative humidity has been decreasing. Considering the phenomenon of climate change and global warming, heat stress evaluation using the THI seems necessary for the general awareness of people and the adoption of prevention policies in the country.

Keywords: Temperature, Humidity, Heat Stress Disorders, Iran, Trends

Received: Aug 14, 2022

Accepted: March 17, 2024

How to cite the article: Asghari Mehdi, Fallah Ghalhari Gholamabbas, Akhlaghi Pirposhteh Elham, Farhang Dehghan Somayeh. Thermal Profile of Iran in Summer Season using Thermo-hygrometric Index (THI). SJKU 2025;30(1):114-138.

Copyright © 2018 the Author (s). Published by Kurdistan University of Medical Sciences. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial License 4.0 (CCBYNC), where it is permissible to download, share, remix, transform, and buildup the work provided it is properly cited. The work cannot be used commercially without permission from the journal

سیمای حرارتی ایران در فصل تابستان با استفاده از شاخص دما - رطوبت (THI)

مهدی اصغری^۱، غلامعباس فلاح قاهری^۲، الهام اخلاقی پیرپشته^۳، سمیه فرهنگ دهقان^۴

۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران، کد ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۲-۵۷۷۶-۱۶۳۱

۲. استاد، گروه جغرافیا و گردشگری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، کد ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۳-۳۴۹۹-۹۰۷۰

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، کد ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۳-۲۱۸۲-۴۰۴۴

۴. دانشیار، مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۵. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

پست الکترونیک: somayeh.farhang@sbmu.ac.ir، تلفن: ۰۲۱۲۲۴۳۲۰۴۰، کد ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۲-۶۶۰۷-۶۳۹۶

چکیده

زمینه و هدف: شاخص دما - رطوبت THI، معرف تأثیرات توامان این کمیت دما و رطوبت نسبی بر موجودات زنده و بروز تنش‌های محیطی است که با توجه به پیامدهای گرمایش جهانی، انتظار می‌رود مقدار این شاخص در دهه‌های آتی دچار تغییر شود؛ لذا هدف این مطالعه تجزیه و تحلیل سیمای حرارتی ایران با استفاده از شاخص دما - رطوبت (THI) طی یک دوره آماری ۳۰ ساله در فصل تابستان است.

مواد و روش‌ها: داده‌های مربوط به متوسط دو متغیر دمای هوا (سلسیوس) و رطوبت نسبی (درصد) روزانه از ۶۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵) مربوط به فصل تابستان کشور ایران از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. شاخص THI برای فصل تابستان محاسبه شد. از آزمون آماری من-کندال جهت بررسی روند تغییرات دمای هوا، رطوبت نسبی و شاخص THI استفاده گردید.

یافته‌ها: تغییرات پارامتر دما برای فصل تابستان در ۸۸/۳۸ درصد از شهرهای ایران روند افزایشی داشته است که این روند افزایشی در ۶۶/۰۳ درصد از این ایستگاه‌های مورد پایش از نظر آماری معنی‌دار بوده است. با در نظر گرفتن شیب سنس، بیشترین افزایش معنی‌دار پارامتر دما در ایستگاه یاسوج $+1.050\text{ }^{\circ}\text{C/decade}$ دیده شد. تغییرات شاخص دما - رطوبت در ۷۵ درصد از شهرها روند افزایشی داشته است که این روند افزایشی در ۷۱/۴۳ درصد از این ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بوده است. بیشترین افزایش معنی‌دار شاخص دما - رطوبت در ایستگاه قائم‌شهر $(+0.449\text{ }^{\circ}\text{C/decade})$ دیده شد. همچنین تغییرات رطوبت نسبی در ۸۸/۳ درصد از شهرها روند کاهشی داشته است که این روند کاهشی در ۵۸/۵ درصد از این ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بوده است. بیشترین کاهش معنی‌دار درصد رطوبت نسبی در ایستگاه زابل $-5.700\text{ }^{\circ}\text{C/decade}$ دیده شد.

نتیجه‌گیری: برای یک دوره آماری ۳۰ ساله در ایران در فصل تابستان روند تغییرات دما و شاخص THI به صورت کلی افزایشی و روند تغییرات رطوبت نسبی کاهش بوده است. با توجه پدیده تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی، ارزیابی استرس گرمایی با استفاده از شاخص THI که هر دو پارامتر دما و رطوبت را در نظر می‌گیرد، برای آگاهی عمومی افراد و اتخاذ سیاست‌های پیشگیری در کشور امری ضروری به نظر می‌رسد.

کلمات کلیدی: دما، رطوبت، بیماری‌های استرس گرمایی، ایران، روند تغییرات

وصول مقاله: ۱۴۰۱/۵/۲۳؛ اصلاحیه نهایی: ۱۴۰۲/۱۲/۲۱؛ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷

مقدمه

مطالعه تغییر مقادیر عوامل جوی به واسطه اهمیت تأثیر آن بر ساختار آب و هوای کره زمین همواره مورد توجه پژوهشگران و متخصصان بوده است. افزایش دما طی ۴۰ سال گذشته و کاهش پوشش برف و یخ از جمله شواهد تغییر اقلیم است. گرمایش جهانی ممکن است باعث تغییرات مهمی در فرآیندهای مختلف آب - اقلیم شده و میانگین و واریانس مقادیر متغیرهای اقلیمی مانند رطوبت نسبی، بارش، تشعشع خورشیدی و غیره را به طور معنی داری تغییر دهد (۱). تغییر اقلیم به عنوان پدیده‌ای که طیف وسیعی از جنبه‌های زندگی بشر را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، به یکی از اصلی‌ترین موضوعات مورد تحقیق در چند سال اخیر تبدیل شده است. با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به خصوص گاز CO₂، میانگین دمای کره زمین نیز متقابلاً افزایش می‌یابد. میانگین جهانی دما تحت سناریوهای مختلف و بسته به منطقه جغرافیایی در اواسط قرن بیست و یکم در محتمل‌ترین شرایط تحت سناریوهای مختلف بین ۰/۴ تا ۲/۶ درجه سلسیوس و در اواخر قرن بین ۰/۳ تا ۴/۸ درجه سلسیوس نسبت به میانگین دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) افزایش خواهد یافت (۲). بسیاری از جغرافی‌دانان معتقدند که با انحراف محدوده دمای مطلوب که بین ۱۸ - ۲۵ درجه سانتیگراد است، تعداد مرگ‌ومیرها افزایش می‌یابد. همچنین اثر استرس‌زای دما بر مرگ‌ومیر توسط محققان فراوانی به اثبات رسیده است، به این صورت که هر قدر دما از محدوده آسایش انسان بیشتر فاصله گیرد، میزان استرس و بیماری‌های زمینه‌ای بیشتر و در نتیجه تعداد فوت‌شدگان نیز افزایش می‌یابد (۳).

در شکل‌گیری شرایط آسایش انسان از دیدگاه اقلیمی، چهار عنصر دما، رطوبت، باد و تابش نقش دارند. در بین این عناصر دما و رطوبت تأثیر بیشتری در سلامت و راحتی انسان دارند به این دلیل بیشتر مدل‌های سنجش آسایش انسان بر اساس این دو عنصر استوار شده است (۴). درجه حرارت زیاد باعث افزایش ضربان قلب و افزایش جریان خون به

سمت پوست می‌شود که به صورت عرق خود را نشان می‌دهد. اگر گرمای وارده به بدن در حدی باشد که بدن نتواند با دفع آن کاهش دما داشته باشد، بدن شروع به گرم شدن می‌کند و شخص به استرس گرمایی نزدیک می‌شود. در واقع این تنش با افزایش دمای بدن ایجاد می‌شود و مرگ و میر و عوارض ناشی از آن در تابستان با افزایش گرما افزایش می‌یابد (۵).

دما و رطوبت از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده اقلیم هر مکانی هستند. مقدار بخار آب موجود در هوا تا حد زیادی تحت تأثیر دما است. احتمال تراکم و بارش و فشار هوا نیز با این عامل تعیین می‌شود. دما و رطوبت هوا تقریباً تمام جنبه‌های زندگی موجودات زنده را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۶). دما و رطوبت بر فعالیت‌های انسان مانند کشاورزی، صنعت، ساخت‌وساز ساختمان‌ها و انتخاب زیستگاه تأثیر می‌گذارد. اگرچه بخار آب درصد کمی از اتمسفر را تشکیل می‌دهد، اما مهم‌ترین گاز مربوط به آب و هوا است. آن محدود به اتمسفر پایین است و مقدار آن از زمان به زمان و مکان به مکان به طور قابل توجهی در نوسان است. بنابراین، بارش از نظر توزیع بسیار متغیر است و این واقعیت عامل اصلی تغییرات آب و هوایی است (۷).

استرس گرمایی خطرات مستقیم و غیرمستقیم قابل توجهی برای سلامت انسان به همراه دارد. پیش‌بینی می‌شود تحت تغییرات آب‌وهوایی، میانگین دما و فراوانی و شدت رویدادهای تنش گرمایی شدید افزایش یابد. ایران که در یک منطقه خشک تا نیمه‌خشک قرار دارد، می‌تواند تغییرات شدید دما و رطوبت را تجربه کند که به طور بالقوه چالش‌های بهداشت عمومی مرتبط با استرس گرمایی را تشدید می‌کند. برای تسهیل انطباق بهتر با این تهدیدات حرارتی، نقشه‌های خطر تنش گرمایی با وضوح مکانی بالا مهم هستند (۸).

برای ارزیابی میزان راحتی و آسایش انسان، شاخص‌ها و مدل‌های مختلفی توسط پژوهشگران مختلف به کار گرفته شده است. در بیشتر ارزیابی‌ها سعی شده تا با استفاده از آمار

در این میان انتظار می‌رود شاخص دما رطوبت که صرفاً مبتنی بر عوامل هواشناسی بوده، در اقلیم آبی دچار تغییرات اساسی گردد. ارزیابی تغییرات شاخص دما رطوبت، می‌تواند پیش‌بینی‌کننده مناسبی برای تأثیرات سوء گرمایش جهانی بر موجودات زنده باشد. مطالعه حاضر در نظر دارد از طریق تحلیل داده‌های هواشناسی ثبت شده در فصل تابستان ایران طی یک دوره ۳۰ ساله، به بررسی روند تغییرات شاخص دما - رطوبت به‌عنوان یک شاخص عدم آسایش ناشی از مواجهه با گرما بپردازد. شایان‌ذکر است که معدود مطالعه‌ای را می‌توان یافت که به بررسی روند تغییرات شاخص دما - رطوبت در فصل تابستان در سطح وسیع ایران (۶۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و ۶ اقلیم مختلف) طی یک دوره ۳۰ ساله پرداخته باشد. در این مطالعه روند تغییرات یک شاخص آسایش حرارتی منتج از دو پارامتر هواشناسی دما و رطوبت نسبی مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج این مطالعه می‌تواند از دیدگاه راحتی و آسایش انسانی، به‌عنوان پایه و اساس بسیاری از برنامه‌ریزی‌های مدیریتی به‌ویژه بهداشتی و درمانی و همچنین توریستی و گردشگری مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

محدوده مکانی این مطالعه گستره کشور ایران با وسعتی معادل ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع با عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۲ درجه شرقی می‌باشد.

ناحیه‌بندی اقلیمی

در این مطالعه جهت طبقه‌بندی اقلیمی در ایران از طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (De Martonne) استفاده گردید. این طبقه‌بندی بر مبنای شاخص خشکی (Aridity) بنا نهاده شده است و در آن از دما و بارندگی برای تعیین نوع اقلیم استفاده

و اطلاعات هواشناسی مانند دما، رطوبت، باد، تابش خورشیدی و یا ترکیبی از آنها میزان آسایش برآورد گردد. این شاخص‌ها داده‌های آب‌وهوایی را به شکلی ارائه می‌کنند که نشان‌دهنده واکنش افراد به شرایط آب‌وهوایی است و در طبقه‌بندی عددی، درجاتی را از بسیار مناسب تا بسیار نامناسب در برمی‌گیرند (۹). این شاخص‌ها تفسیر تأثیرات پیچیده عناصر جوی را از آسایش انسان آسان‌تر می‌کنند و امکان مقایسه مکان‌های مختلف را از دیدگاه اقلیم آسایشی فراهم می‌آورند (۴).

کثرت و تنوع گروه‌های در معرض خطر گرمایی از یک سو و ناکارآمدی بسیاری از شاخص‌های آسایش حرارتی موجود در تعیین میزان بار گرمایی وارده بر فرد از سوی دیگر باعث شده است که تلاش‌های بسیاری در جهت تعیین ریسک گرمایی افراد در معرض محیط‌های گرم صورت گیرد. شاخص دما - رطوبت (Temperature Humidity Index, THI) یکی از این شاخص‌ها است که جهت برآورد اثرات توأم دما و رطوبت در ارتباط با سطح استرس حرارتی بکار می‌رود. با توجه به اینکه اندازه‌گیری این دو پارامتر زمان و هزینه بر نمی‌باشد و نیازی به استفاده از برخی تخمین‌ها، حسگرهای پیشرفته و یا محاسبات پیچیده ندارد، می‌تواند به راحتی و دقت کافی از این شاخص برای ارزیابی استرس حرارتی بهره جست و این شاخص به طور گسترده ابزار مفیدی برای پیش‌بینی اثرات گرمای محیطی در نظر گرفته می‌شود (۲). در مطالعه شیخی و همکاران (۲۰۲۱) نیز بررسی تأثیر تغییر اقلیم در دو ایستگاه‌های رامسر و بابلسر از شاخص دما - رطوبت استفاده شد (۱۰). مطالعه عسگری و همکاران (۲۰۱۷)، باهدف پیش‌نگری کمی اثرات محتمل تغییر اقلیم به کمک شاخص گرمایی (THI) در ایران انجام گرفت (۱۱). اصغری و همکاران نیز روند شاخص‌های آسایش حرارتی مانند THI در سه اقلیم مختلف ایران (ایستگاه‌های اراک، بندرعباس و ساری) برای یک دوره ۱۵ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۰) را ارزیابی نمودند (۱۲).

اقليم مدیترانه‌ای (Mediterranean): در این اقليم شاخص خشکی در محدوده بین ۲۰ تا ۲۴ قرار می‌گیرد.

اقليم نیمه‌مرطوب (Semi-humid): در این اقليم شاخص خشکی در محدوده بین ۲۴ تا ۲۸ قرار می‌گیرد.

اقليم مرطوب (Humid): در این اقليم شاخص خشکی در محدوده بین ۲۸ تا ۳۵ قرار می‌گیرد.

اقليم بسیار مرطوب (Very Humid): در این اقليم شاخص خشکی بزرگ‌تر یا مساوی ۳۵ است.

ناحیه‌بندی اقلیمی کشور ایران بر اساس طبقه‌بندی دومارتن در شکل ۱ آماده است (۱۳). مطابق این ناحیه‌بندی ۵۱٪ در ایستگاه‌های تحت بررسی در ناحیه خشک، ۳۲٪ در ناحیه نیمه‌خشک، ۵٪ در ناحیه مرطوب، ۵٪ در ناحیه بسیار مرطوب، ۲٪ در ناحیه نیمه‌مرطوب و ۵٪ در ناحیه مدیترانه‌ای واقع شده‌اند (جدول ۲).

می‌شود. جهت تعیین نوع اقليم یک منطقه و طبقه‌بندی آن از معادله تجربی ۱ استفاده می‌شود (۱۳).

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن

I: شاخص خشکی

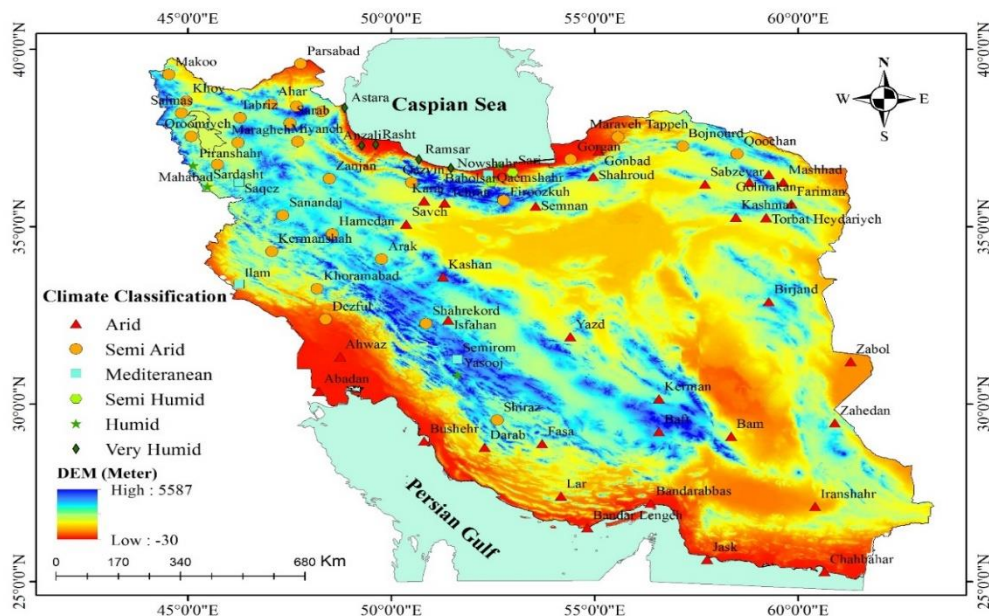
P: میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر

T: متوسط درجه‌حرارت سالانه بر حسب درجه سلسیوس است.

دومارتن در این سیستم، شش نوع اقليم را مشخص نمود که عبارت‌اند از (۱۳):

اقليم خشک (Arid): در این اقليم شاخص خشکی کمتر از ۱۰ است.

اقليم نیمه‌خشک (Semi-arid): شاخص خشکی در این اقليم بین ۱۰ تا ۲۰ قرار دارد.



شکل ۱. ناحیه‌بندی اقلیمی کشور ایران بر اساس طبقه‌بندی دومارتن

جدول ۱. مقادیر آستانه THI (°C) (۴۱)

نوع آسایش / عدم آسایش زیست اقلیم	سطح عدم آسایش حرارتی	مقدار THI
عدم آسایش زیست اقلیم به دلیل خنک شدن بیش از حد	سرماى بیش از حد	$-20 < THI \leq -10$
	بسیار سرد	$-10 < THI \leq -1.8$
	سرد	$-1.8 < THI \leq +13$
	خنک	$+13 < THI \leq +15$
عدم آسایش زیست اقلیم	راحت	$+15 < THI \leq +20$
	گرم	$+20 < THI \leq 26.5$
	بسیار گرم	$+26.5 < THI \leq +30$
	بسیار گرم و مرطوب	$THI > +30$

جمع آوری داده‌ها

باتوجه به ثبت منظم و قابل اطمینان بودن داده‌های هواشناسی، در این مطالعه از تحلیل داده‌های هواشناسی در کشور ایران استفاده شد. داده‌های مربوط به متوسط دو متغیر دمای هوا (سلسیوس) و رطوبت نسبی (درصد) روزانه از ۶۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) از فصل تابستان کشور ایران از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. شاخص THI برای فصل تابستان محاسبه شد. این ایستگاه‌ها دارای کامل‌ترین دوره آماری در بین همه ایستگاه‌های کشور بوده و سعی بر آن بوده است که از ایستگاه‌هایی که دارای ۵ درصد و کمتر نقص آماری در طول دوره بوده‌اند، استفاده شود. مشخصات مربوط به ایستگاه‌های موردنظر شامل عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بود.

شاخص دما - رطوبت

شاخص دما - رطوبت (THI) شاخص مناسبی جهت برآورد اثرات توأم دما و رطوبت در ارتباط با سطح استرس حرارتی است. این شاخص که تأثیر ترکیبی دمای هوا و رطوبت نسبی بر سلامت انسان و همچنین حرکت هوا در منطقه را بیان می‌کند، در سال ۱۹۵۹ از سوی سرویس ملی هواشناسی ایالات متحده ارائه شده است. بر حسب شاخص

THI، طبقه‌بندی شرایط آب‌وهوایی، هم برای هوای گرم و هم برای هوای سرد وجود دارد (جدول ۱). این شاخص، شرایطی را نشان می‌دهد که در آن مقادیر خاصی از رطوبت اتمسفر بر مکانیسم‌های تنظیم حرارت انسان تأثیر می‌گذارد، بنابراین وضعیت ناراحتی زیست‌اقلیمی به دلیل گرمای بیش از حد یا شرایط بیش از حد خنک کننده را تشدید می‌کند. هدف این شاخص بررسی تأثیرات مستقیم سطوح متفاوت بر آسایش حرارتی انسان است. این شاخص به‌عنوان شاخص آب‌وهوایی کارآمدی برای کاهش اثرات زیان‌آور استرس حرارتی مطرح گردیده است (۲). این شاخص از دمای هوا و رطوبت نسبی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود که در آن T میانگین دمای روزانه (درجه سلسیوس) و RH میانگین رطوبت نسبی (%) است. مطابق فرمول، مقدار این شاخص با افزایش دما و رطوبت نسبی افزایش می‌یابد.

$$THI (°C) = T - (0.55 - 0.0055RH) \times (T - 14.5) \quad (\text{رابطه ۲})$$

این شاخص، دمای واقعی محیط را که به طور مؤثر توسط ارگانیسم انسان درک می‌شود، در شرایط مشخصی از رطوبت و دمای هوا که از طریق معادله ۱ محاسبه شده است، بیان می‌کند.

بررسی روند تغییرات

و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (۱۵).

شیب سنس (Sen's Slope)

جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک‌روند در یک سری زمانی، استفاده از روش ناپارامتریک سنس می‌تواند یکی از روش مناسب در این زمینه باشد. این روش ابتدا توسط Theil در سال ۱۹۵۰ ارائه و سپس توسط Sen در سال ۱۹۶۸ بسط و گسترش داده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون من-کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات سری زمای استوار است. این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یک روند خطی باشد (۱۶).

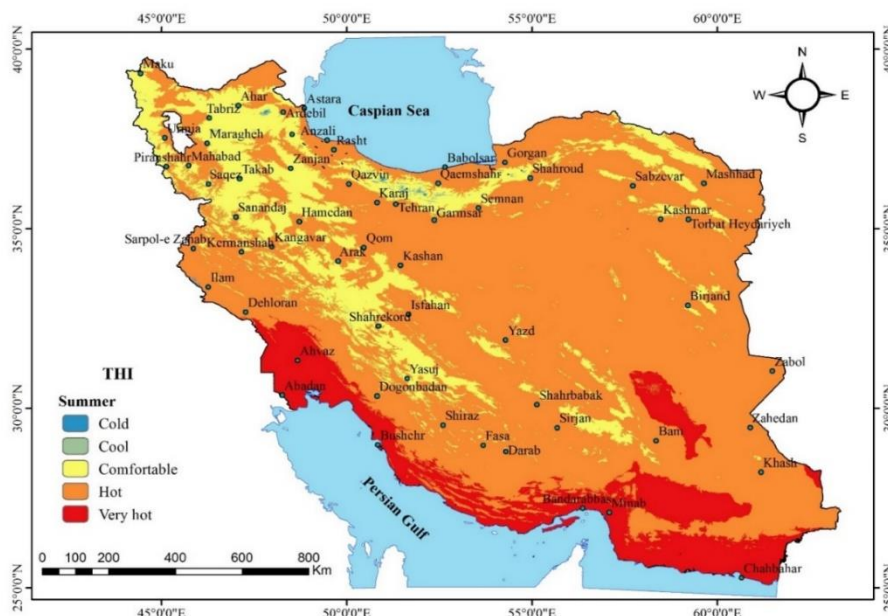
تجزیه و تحلیل آماری

جهت تجزیه و تحلیل نتایج و رسم گراف‌ها از نرم‌افزار SPSS Ver. 21 و Microsoft Office Excel 2013 استفاده گردید.

یافته‌ها

میانگین شاخص THI در اقلیم‌های مختلف و ایستگاه‌های موردبررسی طی دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان در جدول ۲ آورده شده است. موقعیت مکانی هر ایستگاه و پهنه بندی کشور ایران بر اساس میانگین این شاخص طی دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان در شکل ۲ مشخص است. کشور ایران از نظر آسایش حرارتی در فصل تابستان، در جنوب کشور در محدوده "خیلی گرم"، در شرق، شمال شرقی و نیمی از مرکز کشور در محدوده "گرم" و همچنین در شمال غربی و نیمی از مرکز کشور در محدوده "راحت" قرار داشت.

از آزمون آماری من - کندال با کمک نرم‌افزار Minitab ver17.1.0 نیز جهت بررسی روند تغییرات دمای هوا، رطوبت نسبی و شاخص THI طی دوره زمانی موردبررسی استفاده گردید. پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه تغییرات آنها بر اساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تعیین شود. آزمون من کندال جزو متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌روند. با استفاده از این روش تغییرات داده‌ها شناسایی، نوع و زمان آن مشخص می‌گردد. در این روش تنها روند افزایش یا کاهش یک متغیر در یک سری زمانی سنجیده می‌شود. آزمون من - کندال می‌تواند برای جواب‌دادن به این پرسش که آیا مقدار مرکزی یا میانه یک سری زمانی به‌مرورزمان تغییر کرده است یا خیر، بکار رود. به‌منظور انجام آزمون من - کندال نیازی به نرمال بودن توزیع داده‌ها نیست. این آزمون به طور گسترده‌ای برای کاربردهای عمومی توسط سازمان هواشناسی جهانی توصیه شده است (۱۴). این آزمون ابتدا توسط Mann (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط Kendall (۱۹۷۰) بسط و توسعه یافت. این روش در همان سال‌ها مورد تأیید سازمان جهانی هواشناسی قرار گرفت. فرض صفر آزمون من - کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. در بررسی حاضر این آزمون برای سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی



شکل ۲. پهنه بندی کشور ایران از نقطه نظر میانگین شاخص THI (°C) در فصل تابستان

جدول ۲. میانگین شاخص THI در اقلیم‌های مختلف و ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان

ایستگاه	میانگین شاخص THI (°C)	سطح عدم آسایش حرارتی	نوع اقلیم
آبادان	27/8 ± 1/37	خیلی گرم	خشک
آستارا	22/9 ± 1/87	گرم	بسیار مرطوب
ابوموسا	30 ± 1	خیلی گرم	خشک
اراک	21/12 ± 1/73	گرم	نیمه خشک
اردبیل	17/13 ± 2/17	راحت	نیمه خشک
ارومیه	20/27 ± 1/68	گرم	نیمه خشک
اصفهان	22/22 ± 1/24	گرم	خشک
انزلی	24/15 ± 1/95	گرم	بسیار مرطوب
اهر	19/27 ± 2	راحت	نیمه خشک
اهواز	27/74 ± 1/4	خیلی گرم	خشک
ایلام	27/74 ± 1/3	گرم	مدیترانه‌ای
بابلسر	24/7 ± 1/77	گرم	مرطوب
بیم	24/9 ± 1/3	گرم	خشک
بندرعباس	30/12 ± 1	بسیار گرم و مرطوب	خشک
بوشهر	28/97 ± 1/47	خیلی گرم	خشک
بیرجند	21/55 ± 1/38	گرم	خشک
تبریز	21/27 ± 1/73	گرم	نیمه خشک
تربت حیدریه	21/66 ± 1/36	گرم	خشک
تهران	23/73 ± 1/4	گرم	خشک

نیمه خشک	راحت	۱۹/۶۵±۱/۹	تکاب
خشک	گرم	۲۳/۵±۱/۳	خاش
مد پترانه ای	راحت	۱۷/۴±۲/۱	خلخال
خشک	گرم	۲۰/۷±۱/۳	داراب
خشک	خیلی گرم	۲۸±۱/۳	دهلران
بسیار مرطوب	گرم	۲۳/۶±۱/۹۴	رشت
خشک	گرم	۲۵/۶۵±۱/۳۷	زابل
خشک	گرم	۲۲/۳۵±۱/۲۲	زاهدان
نیمه خشک	راحت	۱۹/۷۵±۱/۷۷	زنجان
خشک	گرم	۲۳/۲۹±۱/۳۶	سبزوار
نیمه خشک	گرم	۲۴/۸±۱/۴۶	سرپل ذهاب
مد پترانه ای	گرم	۲۰/۱±۱/۸۵	سقز
خشک	گرم	۲۳/۹۶±۱/۴۵	سمنان
نیمه خشک	گرم	۲۱/۶±۱/۵۷	سنندج
خشک	گرم	۲۲/۶±۱/۴	سیرجان
خشک	گرم	۲۱/۷۶±۱/۵۷	شاهرود
خشک	گرم	۲۱/۷±۱/۳۶	شهر بابک
نیمه خشک	راحت	۱۹/۶۳±۱/۳۷	شهرکرد
نیمه خشک	گرم	۲۲/۸±۱/۴۶	شیراز
خشک	گرم	۲۳±۱/۷	فسا
نیمه مرطوب	گرم	۲۳/۷±۱/۸۶	قائم شهر
نیمه خشک	گرم	۲۱/۶±۱/۴۵	قزوین
خشک	گرم	۲۴/۱±۱/۲	قم
نیمه خشک	راحت	۱۹/۸۵±۲	ماکو
نیمه خشک	گرم	۲۱±۱/۷	مراغه
خشک	گرم	۲۲±۱/۴۸	مشهد
نیمه خشک	گرم	۲۱±۱/۵	مهاباد
خشک	خیلی گرم	۳۰±۱	میناب
نیمه خشک	گرم	۲۰/۳۲±۱/۵۳	همدان
مرطوب	گرم	۲۱/۴۵±۱/۶۷	پیرانشهر
خشک	خیلی گرم	۲۸/۵۲±۱/۳	چابهار
خشک	گرم	۲۴/۶±۱/۲	کاشان
خشک	گرم	۲۳/۵±۱/۳۷	کاشمر
خشک	گرم	۲۲/۵۸±۱/۵۲	کرج
نیمه خشک	گرم	۲۱/۹۲±۱/۴	کرمانشاه
نیمه خشک	گرم	۲۱/۲۲±۱/۵۹	کنگاور
خشک	گرم	۲۳/۵±۱/۳۷	گر مسار
نیمه خشک	گرم	۲۴/۶۸±۱/۷	گرگان

خشک	گرم	۲۵/۴±۱/۲	گچساران
مرطوب	گرم	۲۱/۲۳±۱/۲	ياسوج
خشک	گرم	۲۱/۲۳±۱/۲۵	يزد

نتایج ارزیابی روند تغییرات پارامتر دما برای فصل تابستان در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق نتایج بدست آمده از جدول شماره ۳، پارامتر دما برای فصل تابستان برای تمام شهرها روند افزایشی داشته است، بجز شهرهای گچساران، ایلام، کاشمر، سقز، شهر بابک، سیرجان و تکاب که روند در آنها کاهش یافته است. بطور کلی پارامتر دما برای فصل تابستان در ۸۸/۳۸ درصد از ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است و در ۶۶/۰۳ درصد از این ایستگاه‌ها این روند افزایشی از نظر آماری معنی دار بوده است. با در نظر گرفتن شیب سنس، بیشترین افزایش معنی دار پارامتر دما در ایستگاه یاسوج $+1.050\text{ }^{\circ}\text{C/decade}$ دیده شد.

در فصل تابستان، ۶۲/۵ درصد ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در محدوده "آسایش"، ۳۰ درصد در محدوده "تاحدی آسایش"، ۵ درصد در محدوده "عدم آسایش جدی" و ۲/۵ درصد در محدوده "خطرناک" قرار داشتند. بالاترین میانگین دمای ثبت شده مربوط به ایستگاه زابل ($^{\circ}\text{C}$ $33/90 \pm 2/47$) و کمترین مربوط به ایستگاه اردبیل ($^{\circ}\text{C}$ $17/75 \pm 2/70$) بود. بالاترین درصد رطوبت نسبی در ایستگاه چابهار ($\%$ $82/10 \pm 5/86$) و کمترین آن در ایستگاه یزد ($\%$ $15/20 \pm 5/95$) دیده شد. باتوجه به طبقه‌بندی اقلیمی ایران ۳۵ شهر (۵۸٪) دارای اقلیم خشک، ۱۹ شهر (۳۲٪) دارای اقلیم نیمه خشک، ۳ شهر (۵٪) دارای اقلیم مدیترانه ای و ۳ شهر (۵٪) دارای اقلیم خیلی مرطوب بودند.

جدول ۳. روند تغییرات پارامتر دما طی دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان

ایستگاه	Z	P-value	روند	شیب سنس
آبادان	۰/۶۶	۰/۲۵۳	افزایشی	۰/۰۶
آستارا	۳/۲۲	۰/۰۰۶	افزایشی	۰/۵۶
ابوموسا	۲/۸۷	۰/۰۰۲	افزایشی	۰/۳۵
اراک	۰/۲۴	۰/۴۰۱	افزایشی	۰/۰۵
اردبیل	۳/۶۷	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۷۳
ارومیه	۲/۶۴	۰/۰۰۸	افزایشی	۰/۵۳
اصفهان	۱/۲۱	۰/۱۶۷	افزایشی	۰/۲۳
انزلی	۱/۱۴	۰/۰۰۸	افزایشی	۰/۴۹
اهر	۰/۹۶	۰/۱۶۷	افزایشی	۰/۵۲
اهواز	۳/۵۱	۰/۰۰۰۲	افزایشی	۰/۶۷
ایلام	-۰/۴۵	۰/۳۲۳	کاهشی	-۰/۰۹
بابلسر	۳/۶۲	۰/۰۰۴	افزایشی	۰/۳۶
بام	۲/۹۶	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۴۸
بندرعباس	۱/۴۶	۰/۰۰۶	افزایشی	۰/۳۰
بوشهر	۱/۳۵	۰/۰۸۷	افزایشی	۰/۱۴

۰/۴۴	افزایشی	۰/۰۰۲	۲/۷۸	بیرجند
۰/۵۸	افزایشی	۰/۰۰۷	۲/۹۲	تبریز
۰/۳۶	افزایشی	۰/۰۰۱	۲/۹۷	تربت حیدریه
۰/۳۴	افزایشی	۰/۰۱۱	۰/۳۱	تهران
-۰/۰۱	افزایشی	۰/۴۵۴	-۰/۱۱	تکاب
۰/۱۵	افزایشی	۰/۲۹	۰/۵۵	خاش
۰/۷۷	افزایشی	۰/۰۰۷	۰/۸۰	خلخال
۰/۱۷	افزایشی	۰/۱۶۳	۰/۹۸	داراب
۰/۱۳	افزایشی	۰/۲۵۳	۰/۶۶	دهلران
۰/۳۰	افزایشی	۰/۰۳۷	۰/۷۸	رشت
۰/۸۶	افزایشی	۰/۰۰۴	۰/۳۱	زابل
۰/۴۹	افزایشی	۰/۰۰۱	۰/۰۶	زاهدان
۰/۴۳	افزایشی	۰/۰۰۵	۰/۵۳	زنجان
۰/۳۳	افزایشی	۰/۰۱۷	۲/۱۰	سبزوار
۰/۲۲	افزایشی	۰/۲۴۲	۰/۶۹	سرپل ذهاب
-۰/۰۸	کاهشی	۰/۴۳۶	-۰/۱۶	سقز
۰/۴۸	افزایشی	۰/۰۰۸	۳/۱۴	سمنان
۰/۲۳	افزایشی	۰/۰۷۴	۱/۴۴	سنندج
-۰/۰۵	کاهشی	۰/۲۷۷	-۰/۵۸	سیرجان
۰/۳۲	افزایشی	۰/۰۱۱	۲/۲۶	شاهرود
-۰/۳۵	کاهشی	۰/۰۴۸	-۱/۶۶	شهر بابک
-۰/۱۵	افزایشی	۰/۱۱۹	-۱/۱۷	شهرکرد
۰/۲۳	افزایشی	۰/۰۳۷	۱/۷۸	شیراز
۰/۳۴	افزایشی	۰/۰۱	۰/۹۶	فسا
۰/۶۲	افزایشی	۰/۰۰۱	۳/۶۳	قائم شهر
۰/۳۲	افزایشی	۰/۰۱۴	۲/۱۷	قزوین
۰/۵۲	افزایشی	۰/۰۰۱	۳/۰۱	قم
۰/۳۰	افزایشی	۰/۰۶۶	۱/۴۹	ماکو
۰/۸۱	افزایشی	۰/۰۰۳	۳/۹۹	مراغه
۰/۷۳	افزایشی	۰/۰۰۳	۳/۹۹	مشهد
۰/۵۶	افزایشی	۰/۰۰۵	۳/۲۸	مهاباد
۰/۱۵	افزایشی	۰/۲۱	۰/۸۰	میناب
۰/۵۷	افزایشی	۰/۰۰۵	۳/۸۵	همدان
۰/۳۵	افزایشی	۰/۱۴۹	۱/۰۳	پیرانشهر
۰/۱۴	افزایشی	۰/۱۵	۱/۰۳	چابهار
۰/۱۵	افزایشی	۰/۱۳۴	۱/۱۰	کاشان
۰/۳۵	کاهشی	۰/۰۶۷	-۱/۴۹	کاشمر
۰/۱۴	افزایشی	۰/۳۴۷	۰/۳۹	کرج

۰/۷۱	افزایشی	۰/۰۰۲	۳/۴۶	کرمانشاه
۰/۰۹	افزایشی	۰/۳۶۶	۰/۳۳	کنکاور
۰/۸۷	افزایشی	۰/۰۰۱	۴/۱۶	گرمسار
۰/۵	افزایشی	۰/۰۰۳	۳/۳۸	گرگان
۰/۱۸	کاهشی	۰/۲۶۲	-۰/۶۳	گچساران
۱/۰۵	افزایشی	۰/۱۰۲	۱/۲۶	ياسوج
۰/۶۰	افزایشی	۰/۰۰۱	۳/۵۶	یزد

فصل تابستان در ۸۸/۳ درصد از ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است و در ۵۸/۵ درصد از این ایستگاه‌ها این روند کاهشی از نظر آماری معنی‌دار است. با در نظر گرفتن شیب سنس، بیشترین کاهش معنی‌دار درصد رطوبت نسبی در ایستگاه زابل ($-5.700\text{ }^{\circ}\text{C/decade}$) دیده شد.

نتایج ارزیابی روند تغییرات رطوبت نسبی برای فصل تابستان در جدول ۴ ارائه شده است. مطابق نتایج بدست روند تغییرات رطوبت نسبی برای فصل تابستان برای تمام شهرها روند کاهشی داشته است، بجز شهرهای بوشهر، دهلران، خوانگوار، قزوین، شهرکرد، یاسوج و زنجان که روند افزایشی داشته است. بطور کلی تغییرات رطوبت نسبی برای

جدول ۴. روند تغییرات پارامتر رطوبت نسبی طی دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان

ایستگاه	Z	P-value	روند	شیب سنس
آبادان	-۱/۲۱	۰/۱۱۱	کاهشی	-۰/۶۴
آستارا	-۲/۵۹	۰/۰۰۴	کاهشی	-۱/۹۶
ابوموسا	-۰/۰۶	۰/۴۷۴	کاهشی	۰/۰۱۶
اراک	-۲/۴۹	۰/۰۰۶	کاهشی	-۲/۳۷
اردبیل	-۰/۹۶	۰/۱۶۷	کاهشی	-۱/۳۲
ارومیه	-۱/۸۹	۰/۰۲۹	کاهشی	-۱/۴
اصفهان	-۳/۹۶	۰/۰۰۳	کاهشی	-۲/۷
انزلی	-۳/۴۹	۰/۰۰۲	کاهشی	-۲/۶۵
اهر	-۱/۷۱	۰/۰۴۳	کاهشی	-۲
اهواز	-۰/۸۲	۰/۲۰۵	کاهشی	۰/۵۸
ایلام	-۰/۶۴	۰/۲۵۹	کاهشی	-۰/۳۴
بابلسر	-۳/۵۶	۰/۰۰۱	کاهشی	-۱/۳۸
بام	۳/۲۴	۰/۰۰۵	کاهشی	-۱/۴
بندرعباس	-۰/۹۹	۰/۱۵۸	کاهشی	-۰/۷۳
بوشهر	۲/۷۱	۰/۰۰۳	افزایشی	۲/۱۱
بیرجند	-۰/۱۷	۰/۴۲۹	کاهشی	-۰/۲
تبریز	-۱/۶۷	۰/۰۴۶	کاهشی	-۱/۲۶
تربت حیدریه	-۱/۱۹	۰/۱۱۵	کاهشی	-۱/۴
تهران	-۱/۷۱	۰/۰۴۳	کاهشی	-۱/۶۷

تکاب	-۰/۹۵	۰/۱۶۹	کاهشی	-۱/۱۴
خاش	-۳/۴۰	۰/۰۰۳	کاهشی	-۲/۴۲
خلخال	-۲/۶۰	۰/۰۰۴	کاهشی	-۳/۳۷
داراب	-۲/۵۵	۰/۰۰۵	کاهشی	-۱/۱۶
دهلران	۱/۸۱	۰/۰۳۴	افزایشی	۱/۲۴
رشت	-۱/۶۷	۰/۰۴۶	کاهشی	-۱
زابل	-۳/۷۸	۰/۰۰۷	کاهشی	-۵/۷
زاهدان	۳/۷۱	۰/۰۰۱	کاهشی	-۲/۳۳
زنجان	۱/۵۷	۰/۰۵۸	افزایشی	۱/۳۵
سبزوار	-۳/۰۳	۰/۰۰۱	کاهشی	-۲/۶
سرپل ذهاب	-۱/۵۴	۰/۰۶۱	کاهشی	-۰/۵۳
سقز	-۰/۸۲	۰/۲۰۵	کاهشی	-۱/۲۳
سمنان	-۲/۵۶	۰/۰۰۵	کاهشی	-۱/۵۲
سنندج	-۱/۷۴	۰/۰۴	کاهشی	-۱
سیرجان	-۳/۲۸	۰/۰۰۵	کاهشی	-۲/۰۵
شاهرود	۰/۱۷	۰/۴۲۹	افزایشی	۰/۱۷
شهر بابک	-۲/۸۰	۰/۰۰۲	کاهشی	-۱/۶۲
شهرکرد	-۰/۸۰	۰/۲۱۱	کاهشی	-۰/۶۳
شیراز	-۲/۱۴	۰/۰۱۶	کاهشی	-۱/۴۲
فسا	-۰/۱۴	۰/۴۴۳	کاهشی	-۰/۰۹۴
قائم شهر	-۳/۲۲	۰/۰۰۶	کاهشی	-۱/۸۵
قزوین	۰/۷۱	۰/۲۳۷	افزایشی	۰/۵۷
قم	-۱/۸۵	۰/۰۳۱	کاهشی	-۱
ماکو	۰/۸۲	۰/۲۰۵	کاهشی	-۱/۳۵
مراغه	-۱/۹۲	۰/۰۲۷	کاهشی	-۱/۷۴
مشهد	-۳/۶۰	۰/۰۰۱	کاهشی	-۵/۲
مهاباد	-۲/۶۰	۰/۰۰۴	کاهشی	-۳/۰۵
میناب	-۰/۸۶	۰/۱۹۲	کاهشی	-۰/۸۱
همدان	۲/۸۱	۰/۰۰۲	کاهشی	-۳/۷۳
پیرانشهر	-۰/۱۳	۰/۴۴۵	کاهشی	۰/۲۲
چابهار	-۱/۴۲	۰/۰۷۶	کاهشی	-۱
کاشان	-۰/۲۸	۰/۱۸۶	کاهشی	-۰/۱۴
کاشمر	-۲/۳۷	۰/۰۰۸	کاهشی	-۱/۷۴
کرج	-۰/۸۹	۰/۱۸۶	کاهشی	-۰/۷۵
کرمانشاه	-۳/۴۲	۰/۰۰۳	کاهشی	-۲/۲۲
کنگاور	۱/۷۱	۰/۴۳۰	افزایشی	۰/۷۸
گرمسار	-۴/۷۱	۰/۰۰۱	کاهشی	-۳/۳
گرگان	-۲/۴۶	۰/۰۰۶	کاهشی	-۱/۶۵

کچساران	-۱/۱۱	۰/۱۳۲	کاهشی	-۰/۶۵
یاسوج	۱/۲۶	۰/۱۰۲	افزایشی	۱/۰۵
یزد	-۵/۷۸	۰/۰۰۱	کاهشی	-۲/۷

نتایج ارزیابی روند تغییرات شاخص دما - رطوبت برای فصل تابستان در ۷۵ درصد از ایستگاه ها روند افزایشی داشته است و در ۷۱/۴۳ درصد از این ایستگاه ها این روند افزایشی از نظر آماری معنی دار بوده است. با در نظر گرفتن شیب سنس، بیشترین افزایش معنی دار شاخص دما-رطوبت در ایستگاه قائمشهر $(+0.449^{\circ}\text{C/decade})$ دیده شد.

نتایج ارزیابی روند تغییرات شاخص دما - رطوبت برای فصل تابستان در جدول ۵ ارائه شده است. مطابق نتایج بدست آمده روند تغییرات شاخص دما-رطوبت برای فصل تابستان برای تمام شهرها روند افزایشی داشته است، بجز شهرهای آبادان، اراک، چابهار، گچساران، اصفهان، ایلام، کرج، کاشمر، خاش، سقز، شهربابک، سیرجان، تکاب، یاسوج، زابل که روند در آنها کاهشی بوده است. بطور کلی

جدول ۵. روند تغییرات شاخص دما-رطوبت طی دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان

ایستگاه	Z	P-value	روند	شیب سنس
آبادان	-۰/۵۳	۰/۲۹	کاهشی	۰/۰۶
آستارا	۲/۶۱	۰/۰۰۴	افزایشی	۰/۳۳
ابوموسا	۳	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۲۳
اراک	-۱/۱۷	۰/۱۱	کاهشی	-۰/۱۱
اردبیل	۳/۶۷	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۶
ارومیه	۲/۳۹	۰/۰۰۸	افزایشی	۰/۲۷
اصفهان	-۰/۶۷	۰/۲۴	کاهشی	۰/۰۷
انزلی	۲/۲۱	۰/۰۱	افزایشی	۰/۲۹
اهر	۰/۸۲	۰/۲	افزایشی	۰/۱۲
اهواز	۲/۹۹	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۳۴
ایلام	۰/۴	۰/۳۴	افزایشی	-۰/۰۴
بابلسر	۱/۹۲	۰/۰۲	افزایشی	۰/۲۴
بام	۱/۲۴	۰/۰۹	افزایشی	۰/۱۳
بندرعباس	۱/۲۸	۰/۰۹	افزایشی	۰/۰۹
بوشهر	۲/۵۳	۰/۰۰۵	افزایشی	۰/۳۴
بیرجند	۲/۶	۰/۰۰۴	افزایشی	۰/۲۴
تبریز	۳/۰۳	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۳۲
تربت حیدریه	۲/۰۲	۰/۰۲	افزایشی	۰/۱۳
تهران	۰/۲۱	۰/۴۱	افزایشی	۰/۱۴
تکاب	۰/۰۱	۰/۴۶	کاهشی	-۰/۰۰۲
خاش	۱/۴۴	۰/۰۷	کاهشی	-۰/۲۱
خلخال	۳/۷۷	۰/۰۰۸	افزایشی	۰/۴۷
داراب	-۰/۳۵	۰/۳۶	افزایشی	-۰/۰۲
دهلران	-۰/۲	۰/۴۱	افزایشی	۰/۰۶
رشت	۱/۴۶	۰/۰۷	افزایشی	۰/۱۷

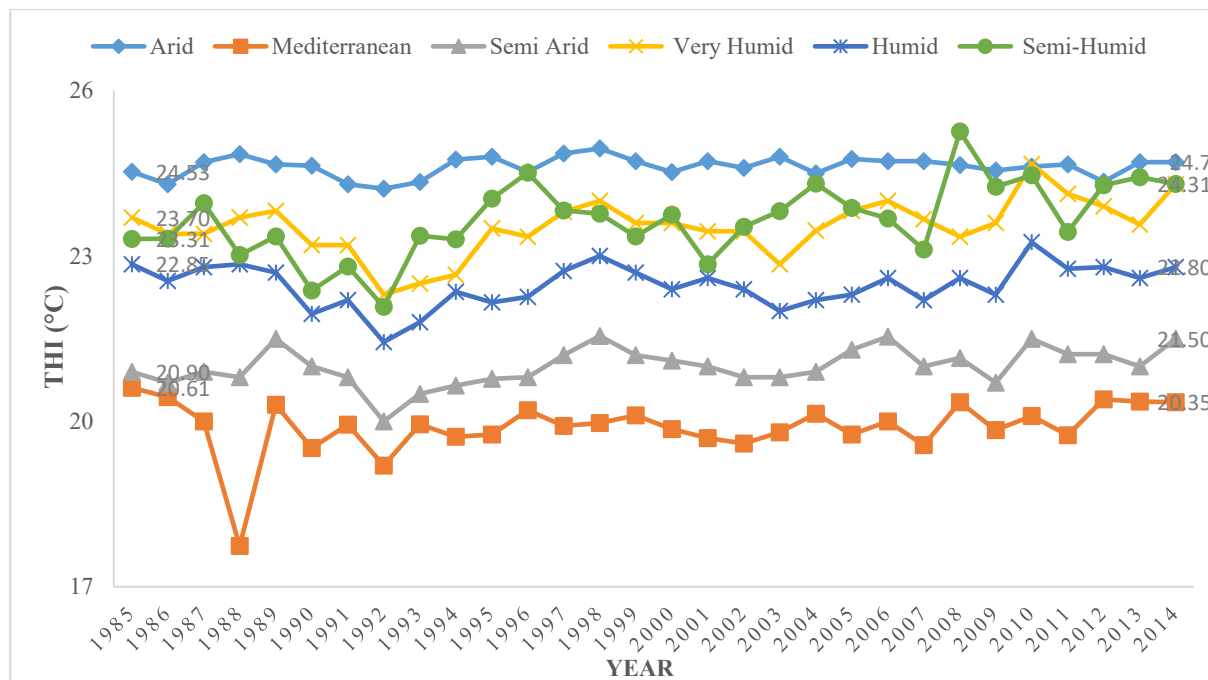
زابل	-۱/۱۷	۰/۱۱	کاهشی	-۰/۱۵
زاهدان	۰/۸۹	۰/۱۸	افزایشی	۰/۰۶
زنجان	۳/۷۱	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۳۸
سبزوار	-۰/۵۷	۰/۲۸	افزایشی	-۰/۰۷
سرپل ذهاب	۱/۱۱	۰/۱۳	افزایشی	۰/۱۴
سقز	۰/۱۷	۰/۴۲	کاهشی	۰/۰۳
سمنان	۰/۸۵	۰/۰۳	افزایشی	۰/۱۳
سنندج	۱/۸۵	۰/۰۳	افزایشی	۰/۱۵
سیرجان	-۱/۸۷	۰/۰۳	کاهشی	۰/۱۹
شاهرود	۳/۰۶	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۲۹
شهر بابک	-۲/۳۴	۰/۰۰۹	کاهشی	-۰/۲۹
شهرکرد	۳/۰۶	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۲۹
شیراز	۰/۲۱	۰/۴۱	افزایشی	۰/۰۶
فسا	۲/۳۹	۰/۰۰۸	افزایشی	۰/۱۷
قائم شهر	۳/۳۹	۰/۰۰۳	افزایشی	۰/۴۴
قزوین	۳/۱۴	۰/۰۰۸	افزایشی	۰/۲۷
قم	۰/۸۹	۰/۰۰۱	افزایشی	۰/۲۴
ماکو	۰/۴۹	۰/۰۶	افزایشی	۰/۲۳
مراغه	۰/۹۲	۰/۰۰۴	افزایشی	۰/۴۴
مشهد	۰/۴۱	۰/۱۲	افزایشی	۰/۰۹
مهاباد	۳/۱۷	۰/۰۰۷	افزایشی	۰/۳
میناب	۰/۰۴	۰/۴۸	افزایشی	۰/۰۱
همدان	۰/۱۴	۰/۰۱	افزایشی	۰/۲۱
پیرانشهر	۱/۷۴	۰/۰۴	افزایشی	۰/۲۱
چابهار	-۰/۲۱	۰/۴۱	کاهشی	-۰/۰۲
کاشان	۰/۴۲	۰/۳۳	افزایشی	۰/۰۷
کاشمر	۳/۵	۰/۰۰۲	کاهشی	۰/۳۵
کرج	-۰/۰۷	۰/۴۷	کاهشی	۰/۰۱
کرمانشاه	۱/۸۹	۰/۰۲	افزایشی	۰/۲۲
کنگاور	۰/۷۱	۰/۲۳	افزایشی	۰/۰۹
گرمسار	۱/۴۲	۰/۰۷	افزایشی	۰/۱۵
گرگان	۲/۷۸	۰/۰۰۲	افزایشی	۰/۳۲
گچساران	-۱/۷۵	۰/۰۳	کاهشی	-۰/۱۷
یاسوج	-۱/۰۴	۰/۱۴	کاهشی	-۰/۱
یزد	۰/۲۱	۰/۴۱	افزایشی	۰/۰۴

زمانی سال ۱۹۸۵ الی ۲۰۱۴ برای شش اقلیم مورد نظر به ترتیب برای اقلیم خشک (۲۴/۶۲)، مدیترانه ای (۱۹/۹۰)، نیمه خشک (۲۱)، خیلی مرطوب (۲۳/۵۳)، مرطوب (۲۲/۴۷) و نیمه مرطوب (۲۳/۶۶) بود. بیشترین میانگین

نتایج ارزیابی شاخص THI برای تابستان برای اقلیم‌های مختلف کشور طی ۳۰ سال در جدول ۶ ارائه شده است. همچنین نمودار ارزیابی روند تغییرات این شاخص در شکل ۳ ارائه شد. میانگین شاخص THI برای تابستان طی بازه

فصل تابستان طی این سال‌ها در نواحی اقلیمی مختلف ایران دارای نواساناتی است، بطوریکه در بیشتر نواحی اقلیمی دارای روند رو به افزایش است.

شاخص THI مربوط به اقلیم خشک و بعد از آن نیمه مرطوب بود. شکل ۳، نمودار تغییرات شاخص THI برای فصل تابستان برای اقلیم‌های مختلف کشور طی دوره ۳۰ ساله را ارائه می‌دهد. مطابق شکل تغییرات شاخص THI در



شکل ۳. نمودار تغییرات شاخص THI برای اقلیم‌های مختلف کشور طی دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان

جدول ۶. شاخص THI (°C) برای اقلیم‌های مختلف کشور طی دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان

سال (میلادی)	خشک	مدیترانه‌ای	نیمه خشک	خیلی مرطوب	مرطوب	نیمه مرطوب
۱۹۸۵	۲۴/۵۳	۲۰/۶۱	۲۰/۹۰	۲۱/۷۰	۲۲/۸۵	۲۲/۳۱
۱۹۸۶	۲۴/۳	۲۰/۴۴	۲۰/۷۰	۲۳/۴۰	۲۲/۵۵	۲۳/۳۲
۱۹۸۷	۲۴/۷	۲۰	۲۰/۹۰	۲۳/۴۰	۲/۸۰	۲۳/۹۶
۱۹۸۸	۲۴/۸۵	۱۷/۷۴	۲۰/۸۰	۲۳/۷۰	۲۲/۸۵	۲۳/۰۲
۱۹۸۹	۲۴/۶۶	۲۰/۳۰	۲۱	۲۳/۸۲	۲۲/۷۰	۲۳/۳۶
۱۹۹۰	۲۴/۶۴	۱۹/۵۲	۲۰/۸۰	۲۳/۲۰	۲۱/۹۵	۲۲/۳۷
۱۹۹۱	۲۴/۳	۱۹/۹۴	۲۰	۲۳/۲۰	۲۲/۲۰	۲۲/۸۱
۱۹۹۲	۲۴/۲۲	۱۹/۲۰	۲۰/۵۰	۲۲/۲۰	۲۱/۸۰	۲۲/۰۸
۱۹۹۳	۲۴/۳۴	۱۹/۹۵	۲۰/۶۵	۲۲/۵۰	۲۲/۳۵	۲۳/۳۶
۱۹۹۴	۲۴/۷۵	۱۹/۷۲	۲۰/۷۷	۲۲/۶۶	۲۲/۱۶	۲۳/۳۰
۱۹۹۵	۲۴/۸	۱۹/۷۶	۲۰/۸۰	۲۳/۵۰	۲۲/۲۶	۲۴/۰۴
۱۹۹۶	۲۴/۵۲	۲۰/۲۰	۲۱/۲۰	۲۳/۳۵	۲۲/۷۳	۲۴/۵

۲۳/۸۲	۲۳	۲۳/۸۰	۲۱/۵۵	۱۹/۹۲	۲۴/۸۶	۱۹۹۷
۲۳/۷۶	۲۲/۷۰	۲۴	۲۱/۲۰	۱۹/۹۷	۲۴/۹۵	۱۹۹۸
۲۳/۳۵	۲۲/۷۰	۲۳/۶۰	۲۱/۲۰	۲۰/۱۱	۲۴/۷۲	۱۹۹۹
۲۳/۷۵	۲۲/۴۰	۲۳/۶۰	۲۱/۲۰	۱۹/۹۸	۲۴/۵۲	۲۰۰۰
۲۲/۸۵	۲۲/۶۰	۲۳/۴۵	۲۱	۱۹/۷۰	۲۴/۷۲	۲۰۰۱
۲۳/۵۳	۲۲/۶۰	۲۳/۴۵	۲۱/۸۰	۱۹/۶۰	۲۴/۶	۲۰۰۲
۲۳/۸۱	۲۲	۲۲/۸۵	۲۰/۸۰	۱۹/۸۰	۲۴/۸	۲۰۰۳
۲۴/۳۲	۲۲/۲	۲۳/۴۶	۲۰/۹۰	۲۰/۱۴	۲۴/۵	۲۰۰۴
۲۳/۸۷	۲۲/۳	۲۳/۸۲	۲۱/۳۰	۱۹/۷۶	۲۴/۷۶	۲۰۰۵
۲۳/۶۷	۲۲/۶	۲۴	۲۱/۵۴	۲۰	۲۴/۷۲	۲۰۰۶
۲۳/۱۲	۲۲/۲	۲۳/۶۷	۲۱	۲۱/۵۷	۲۴/۷۲	۲۰۰۷
۲۵/۲۶	۲۲/۶	۲۳/۳۵	۲۱/۱۵	۲۰/۳۵	۲۴/۶۵	۲۰۰۸
۲۴/۲۶	۲۲/۳۰	۲۳/۶۰	۲۰/۷۰	۱۹/۸۴	۲۴/۵۵	۲۰۰۹
۲۴/۴۶	۲۳/۲۵	۲۴/۶۷	۲۱/۵۰	۲۰/۱۰	۲۴/۶۲	۲۰۱۰
۲۳/۴۴	۲۲/۷۷	۲۴/۱۳	۲۱/۲۲	۱۹/۷۵	۲۴/۶۶	۲۰۱۱
۲۴/۲۹	۲۲/۸۰	۲۳/۹۰	۲۱/۲۲	۲۰/۴۰	۲۴/۳۵	۲۰۱۲
۲۴/۴۳	۲۲/۶۰	۲۳/۵۷	۲۱	۲۰/۳۶	۲۴/۷	۲۰۱۳
۲۴/۳۱	۲۲/۸۰	۲۴/۳۰	۲۱/۵۰	۲۰/۳۵	۲۴/۷	۲۰۱۴

بحث

است. آنها نتیجه گرفتند که کاهش مقدار بارش باران و افزایش دمای هوا بیانگر آن است که ایران طی چند دهه گذشته خشک تر شده است. اقلیم گرم در مناطق خشک و نیمه خشک جنب حاره‌ای که بیشتر مناطق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد، باعث می‌شود بخار آب بیشتری از طریق گردش کلی جو و قبل از شکل‌گیری بارش به عرض‌های جغرافیایی بالاتر منتقل می‌شود (۱۷).

مطالعه مکاری و همکاران (۲۰۲۰) با هدف بررسی تحلیل روند دمای بیشینه برای سری‌های زمانی ماهانه، سالانه و فصلی با استفاده از آزمون من- کندال و اسپیرمن در مناطق مختلف ایران انجام گرفت. بدین منظور از داده‌های هواشناسی ۳۳ ایستگاه هواشناسی کشور با دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۷۷-۲۰۱۶) استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات زمانی دمای بیشینه، برای برخی شهرها افزایشی و برای برخی نیز کاهش‌ی بوده است (۱۸). لازم به ذکر است برخلاف مطالعه مکاری و همکاران، مطالعه

مطالعه حاضر به تجزیه و تحلیل روند تغییرات استرس حرارتی با استفاده از شاخص THI در فصل تابستان در کشور ایران طی دوره ۳۰ ساله پرداخت. بر اساس نتایج بدست آمده تغییرات پارامتر دما برای فصل تابستان در ۸۸/۳۸ درصد از شهرها دارای روند افزایشی بوده که این روند افزایشی در ۶۶/۰۳ درصد از این ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار گزارش گردید. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده تغییرات روند رطوبت نسبی در فصل تابستان ۸۸/۳ درصد از شهرها کاهش‌ی بوده که این روند کاهش‌ی در ۵۸/۵ درصد از این ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار تعیین شد. علیزاده و نجفی (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۵ منطقه ایران از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۳ روند تغییرات دما و بارش تجمعی سالیانه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که در بیشتر مناطق ایران میانگین دمای روزانه روند افزایشی دارد که نتایج این مطالعه همسو با یافته‌های مطالعه حاضر

شود و تأثیر مواجهه مزمن با گرما نیز شامل بیماری‌های قلبی - عروقی، تأثیر بر سلامت روان، بیماری‌های مزمن کلیوی و مشکلات ناباروری هست (۲۰) (۲۱).

در مطالعه مروری Ebi و همکاران (۲۰۲۱) با هدف بررسی خطرات سلامتی مواجهه با آب و هوای گرم عنوان شد شرایط محیطی گرم و استرس گرمایی مرتبط با آن می‌تواند مرگ و میر و نرخ بروز بیماری‌ها را افزایش دهد، همچنین پیامدهای نامطلوب بارداری را سبب شده و بر سلامت روان تأثیر منفی می‌گذارد. استرس گرمایی بالا همچنین می‌تواند ظرفیت فیزیکی افراد و عملکردهای حرکتی - شناختی آنها را کاهش دهد و عواقب سوء برای بهره‌وری یک کشور داشته باشد و خطر مشکلات سلامت شغلی را نیز افزایش دهد. تقریباً نیمی از جمعیت جهان و بیش از ۱ میلیارد کارگر در معرض گرمای شدید قرار دارند. با این حال، مرگ‌های بیش از حد و بسیاری از خطرات بهداشتی مرتبط با گرما، با برنامه‌های مراقبتی مناسب که شامل استراتژی‌های رفتاری و راه‌حل‌های بیوفیزیکی است، قابل پیشگیری هستند. رویدادهای گرمای شدید در حال تبدیل شدن به ویژگی‌های دائمی فصول تابستان در سراسر جهان هستند و باعث مرگ و میر بیش از حد بسیاری می‌شوند. پیش‌بینی می‌شود که با پیشرفت تغییرات آب و هوایی، مرگ و میر ناشی از گرما بیشتر افزایش یابد و خطرات مرتبط با درجه‌های بالاتر گرمایش جهانی افزایش یابد. به ویژه در مناطق گرمسیری، افزایش گرمایش ممکن است به این معنی باشد که محدودیت‌های فیزیولوژیکی مربوط به تحمل گرما بیشتر در دهه‌های آینده دیده خواهد شد. تغییرات اقلیمی در تعامل با سایر روندها، مانند رشد و پیری جمعیت، شهرنشینی، و توسعه اجتماعی - اقتصادی است که می‌تواند خطرات مربوط به گرما را تشدید یا بهبود بخشد. دمای شهری با گرمای انسانی ناشی از حمل و نقل وسایل نقلیه و اتلاف حرارت از ساختمان‌ها بیشتر می‌شود. اگرچه شواهدی مبنی بر سازگاری با افزایش دما در کشورهای بالا وجود دارد،

حاضر، بررسی روند تغییرات دما، رطوبت نسبی و شاخص THI صرفاً در فصل تابستان مد نظر بوده است که مطابق یافته‌ها در بیشتر شهرها روند افزایشی معنی‌دار دیده شد. بخار آب موجود در جو، با جذب امواج تشعشعی با طول‌موج بلند بر تعادل دمای زمین تأثیر بسزایی می‌گذارد. لذا ارزیابی رطوبت نسبی به منظور ارزیابی استرس حرارتی محیط امری ضروری می‌باشد. در مطالعه تباری و همکاران با هدف تحلیل‌های مکانی و زمانی شاخص رطوبت در ایران دوره زمانی ۱۹۶۶-۲۰۰۵ نشان داد که روندهای شاخص رطوبت بطور کلی به شکل نزولی می‌باشد، اما روندهای معنی‌دار تنها در ۸ ایستگاه از ۴۱ ایستگاه مورد مطالعه یافت می‌شود (۱۹) که نتایج این مطالعه هم راستا با یافته‌های مطالعه فعلی است.

هنگامی که مجموعه اثرات عوامل محیطی (دمای هوا، دمای تابشی، رطوبت و سرعت جریان هوا)، لباس و فعالیت انسان سبب افزایش دمای بدن شود، استرس گرمایی رخ می‌دهد. هر جا استرس گرمایی وجود دارد استرس گرمایی (واکنش بدن نسبت به گرما) شکل می‌گیرد که می‌تواند باعث واکنش‌های فیزیولوژیکی مانند افزایش دما پوست، تعریق، افزایش ضربان قلب و بالا رفتن دمای عمقی بدن شود. علاوه بر اثرات مستقیم استرس گرمایی بر سلامتی افراد و پیامدهای روانی، اجتماعی و اقتصادی آن، اثرات غیرمستقیم استرس‌های گرمایی که با کاهش عملکرد جسمی و ذهنی، افت تولید، خطاهای انسانی، حوادث و زیان‌های اقتصادی همراه است، سبب گردیده که موضوع ارزیابی و مدیریت ریسک مواجهه با استرس‌های گرمایی به یکی از مباحث جدی، مهم و ضروری در بهداشت محیط و حرفه‌ای تبدیل شود. مواجهه گرما به دو صورت حاد و مزمن هست که مواجهه حاد می‌تواند منجر به افزایش دمای عمقی بدن شده و مستقیماً منجر به بیماری‌های ناشی از گرما نظیر راش‌های خفیف گرمایی، کرامپ‌های عضلانی، خستگی گرمایی تا شوک‌های گرمایی تهدیدکننده سلامت

زیست اقلیم در سال ۲۰۲۰ انجام شد. نتایج حاکی از کاهش قابل توجه ۲۴/۵ درصدی در مناطق مستعد تنش گرمایی در سطوح پرخطر و بسیار پرخطر، در مقایسه با دوره مرجع است (۲۷). با توجه به پدیده تغییر اقلیم و گرمایش زمین در دهه‌های آینده، میزان تغییر در شاخص‌های مختلف استرس گرمایی با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف برای پیش بینی تغییر اقلیم باید در نظر گرفته شود (۲۸).

بر اساس نتایج بدست آمده شاخص دما - رطوبت در فصل تابستان میزان ۷۵ درصد از شهرها روند افزایشی داشته است که این روند افزایشی در ۷۱/۴۳ درصد از این ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود. در مطالعه فلاح قله‌ری و همکاران (۲۰۲۱)، شاخص استرس گرمایی مورد بررسی (Wet Bulb Globe Temperature، Humidex و THI) در اقلیم خشک (ایستگاه بوشهر) و در ماه آگوست و کمترین مقادیر در اقلیم نیمه‌خشک (ایستگاه مشهد) و در ماه ژوئن دیده شد (۲۹). همچنین با توجه به نتایج بدست آمده از مطالعه فلاح و همکاران (۲۰۲۱)، روند تغییرات شاخص استرس حرارتی در ایران در فصل تابستان مخصوصاً در نواحی نیمه‌خشک حدوداً افزایشی بوده است. افزایش دمای متوسط کشور در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی و شیب افزایشی معنی‌دار دیده شد. حدود نیمی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده نیز در تابستان از نظر ریسک بهداشتی جز گروه‌های بالا و بسیار بالا بودند (۳۰) که نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد؛ لذا لزوم آگاهی از تغییرات آب‌وهوایی و اثرات آنها، به‌منظور برنامه‌ریزی جهت مدیریت ریسک در ارتباط با جوامع، بوم سامانه‌ها و زیرساخت‌ها از طریق استراتژی‌های سازگاری و کاهش آثار سوء تغییر اقلیم ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

شناخت آسایش حرارتی نقشی اساسی در زندگی و فعالیت‌های انسان ایفا می‌کند. تشخیص آسایش حرارتی بر اساس پارامترهای آب‌وهوایی بسیار مهم است. در این مطالعه سعی شد تا با استفاده از شاخص دما - رطوبت (THI) که معرف تأثیرات توامان این دو کمیت دما خشک

پیش‌بینی‌ها درباره آینده گرم‌تر نشان می‌دهد که بدون سرمایه‌گذاری در تحقیقات و اقدامات مدیریت ریسک، احتمال ابتلا به بیماری و مرگ و میر ناشی از گرما افزایش می‌یابد (۲۲).

تغییرات اقلیمی یکی از چالش‌های بزرگ جهانی است و توجه محققان، دانشمندان، برنامه‌ریزان و سیاست‌مداران را تا حدی به دلیل افزایش مداوم گرمایش جهانی، مرتبط با اثر گلخانه‌ای، جلب کرده است. مطالعات نشان داده است که افزایش غلظت CO₂ در جو منجر به گرم شدن کره زمین و تشدید چرخه هیدرولوژیکی جهانی می‌شود (۲۳). افزایش گازهای گلخانه‌ای مانند یک مانع رفتار می‌کنند و می‌توانند از انتقال امواج حرارتی به لایه‌های جوی بالاتر بکاهند (۲۴). با افزایش دمای هوا، ظرفیت پذیرش هوا برای بخار آب افزایش می‌یابد و باعث کاهش رطوبت نسبی می‌شود، اما لازم به ذکر است که رطوبت نسبی تنها تابع دمای هوا نیست و سایر پارامترهای آب‌وهوا نیز بر آن تأثیر می‌گذارد (۲۴).

همچنین نشان داده شده است که تغییرات دما بر میزان تبخیر و تعرق، ویژگی‌های ابر، رطوبت خاک، شدت طوفان و بارش برف و رژیم‌های ذوب برف تأثیر می‌گذارد. در همین حال، تغییر میزان بارندگی بر زمان و میزان خوراک و خشکسالی اثر گذاشته و رژیم روان آب و نرخ تغذیه آب زیرزمینی را تغییر می‌دهد. الگوی پوشش گیاهی، سرعت رشد و تغییرات رژیم رطوبتی خاک نیز تحت تأثیر عوامل فوق‌الذکر قرار می‌گیرد. پیش‌بینی شده است که تا دهه ۲۰۵۰ کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی بارندگی کمتر از میانگین فعلی در شمال آفریقا و برخی مناطق مصر، عربستان سعودی، ایران، سوریه و اردن در فصل خشک (آوریل تا سپتامبر) وجود خواهد داشت (۲۵).

اهمیت اقلیم بر سلامت انسان باعث شده که سازمان بهداشت جهانی حفاظت از سلامت در برابر بحران‌های ناشی از تغییرات آب‌وهوایی را در اولویت خود قرار دهد (۲۶). مطالعه روشن و همکاران با هدف تهیه نقشه استرس حرارتی ایران از طریق مدل سازی ترکیبی از شاخص‌های

قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که آسایش حرارتی در نیمه شمالی و غربی ایران بالاتر از مناطق جنوبی و شرقی کشور است. عوامل فضایی عرض و ارتفاع باعث کاهش یکنواختی زیست اقلیم و ایجاد مناطق کوچک با یا بدون شرایط آسایش حرارتی می‌شود. نواحی نوار جنوبی و همچنین بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی کشور در اکثر فصول سال از شرایط آسایش حرارتی انسانی برخوردار نیستند (۳۱)، که نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت. نتایج این مطالعه روند افزایشی شاخص دما-رطوبت در یک دوره ۳۰ ساله در فصل تابستان در ۷۵ درصد از شهرها نشان می‌دهد که نتیجه این ارزیابی در نتایج سایر مطالعات نیز به چشم می‌خورد.

مطالعه اسماعیلی و همکاران (۲۰۱۸) با هدف تغییرپذیری فرین‌های اقلیمی براساس شاخص‌های ترکیبی و امواج گرمایی در گستره حوضه‌های آبریز کشور بر اساس داده‌های روزانه ۴۷ ایستگاه سینوپتیک کشور در دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ نشان داد که کاهش در فراوانی حالت‌های سرد و افزایش در فراوانی حالت‌های گرم در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌ها دیده می‌شود. به طوری که کاهش معنادار در شاخص روزهای سرد و خشک و افزایش معنادار در شاخص روزهای گرم و خشک بود. موید این مطلب می‌باشد که افزایش معنی‌دار فراوانی روزهای با تنش گرمای شدید و کاهش معنادار فراوانی روزهای بدون تنش گرمایی بود (۳۲).

در مطالعه دیگری باهدف واکاوی مکانی زمانی روند شاخص گرمایش و سرمای‌ها ماهانه در ایران در سال ۲۰۱۶ نشان دهنده بروز روند مثبت شدت گرمایش در مناطق گرم ایران بود، که گواه بر افزایش دمای مناطق گرم ایران در ماه‌های گرم سال است. بیشترین گستره مکانی روند مثبت شاخص شدت گرمایش نیز در ماه‌های شهریور و آبان به ترتیب در ۷۸ و ۶۹ درصد از وسعت کشور مشاهده شد که خود گویای گرم‌تر شدن بیش از دو سوم از وسعت کشور

و رطوبت نسبی است، به بررسی تغییرات استرس حرارتی در اقلیم ایران پرداخته شود. در فصل تابستان، ۶۲/۵ درصد ایستگاه‌های هواشناسی موردبررسی در محدوده "آسایش"، ۳۰ درصد در محدوده "تا حدی آسایش"، ۵ درصد در محدوده "عدم آسایش جدی" و ۲/۵ درصد در محدوده "خطرناک" قرار داشتند.

افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش فراگیر جهانی باعث برهم‌خوردن تعادل سامانه اقلیمی کره زمین شده است. کشور ایران نیز به لحاظ شرایط خاص جغرافیایی و قرارگرفتن بخش اعظم آن در ساختار کمربند بیابانی به‌شدت از تغییرات آب‌وهوایی متأثر است. نتایج این مطالعه نشان داد که کشور ایران از نظر آسایش حرارتی در فصل تابستان، جنوب کشور در محدوده "خیلی گرم"، در شرق، شمال شرقی و نیمی از مرکز کشور در محدوده "گرم" و همچنین شمال غربی و نیمی از مرکز کشور در محدوده "راحت" قرار داشت. مطالعه اصغری و همکاران باهدف بررسی روند آسایش حرارتی در اقلیم‌های مختلف ایران در دهه‌های گذشته ۱۹۸۵-۲۰۱۴ انجام گرفت. داده‌های ثبت‌شده هواشناسی در ۴۰ ایستگاه سینوپتیک موردبررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه همسو با مطالعه حاضر نشان داد که در مجموع نواحی جنوبی ایران دارای دوره با شرایط اقلیمی نامساعد و فوق‌العاده نامطلوب در این تحقیق است. برعکس، در نیمه شمالی ایران به‌ویژه در نواحی شمال غرب، فصل مناسب تابستان بهترین شرایط اقلیمی را برای فعالیت در فضای باز فراهم می‌کند (۱۲).

در مطالعه احمدی و همکاران (۲۰۱۷) با هدف نقش برداری آسایش حرارتی در ایران با استفاده از آمار ۴۳ ایستگاه هواشناسی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۳ بر اساس روش‌های زمین آماری و شاخص‌های زیست اقلیم انجام گرفت و شاخص‌های زیست اقلیمی مانند دمای مؤثر (Effective Temperature) و شاخص رطوبت دما (THI) و شاخص کرنش نسبی (Relative Stress Index) مورد ارزیابی

نمود بیشتری دارد و سبب می‌گردد دمای هوا در کشور ایران به تدریج افزایش و به سمت خشک سالی پیش رود (۳۷).

در کشور ایران با تنوع خاص آب‌وهوایی در اغلب روزها رو به هستیم. باتوجه به شیب مثبت دما و افزایش دمای متوسط کشور در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی و تغییرات زیاد مقادیر حداکثر دما در کلیه نواحی ایران زمین و نیز افزایش دمای ایران نشان‌دهنده این مطلب است که ما شاهد تغییر اقلیم و گرمایش زمین هستیم (۳۸). مطالعه حیدری و همکاران نشان داد که استرس گرمایی در اقلیم ایران، به‌ویژه در مناطق مرکزی و جنوبی ایران، می‌تواند در دهه‌های آینده افزایش و تشدید شود؛ لذا لازم است سیاست و برنامه‌های کنترلی لازم بکار گرفته شود (۳۹). همچنین مطالعه مدرس و همکاران باهدف بررسی تأثیر استرس گرمایی ناشی از تغییرات آب‌وهوایی بر سلامت جمعیت ایران نشان داد که در آینده شاخص‌های گرمایی از آستانه خطر برای سازگاری انسان در کشور فراتر خواهد رفت (۴۰). برای مقابله با این وضعیت، تهیه و پایش سیستم‌های هشداردهنده زود هنگام آب‌وهوایی و برنامه‌ریزی و اجرای دقیق و استراتژی‌های مراقبت‌های بهداشتی، اقتصادی و اجتماعی در آینده نزدیک است.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به حذف برخی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی به علت نقص در ارائه نتایج اشاره کرد. همچنین به علت اینکه داده‌های اولیه این مطالعه از سازمان هواشناسی کشور به‌صورت گذشته‌نگر برای یک دوره آماری ۳۰ ساله تهیه شده است، برای اعتبارسنجی، امکان ارزیابی تجربی توسط محققین وجود نداشته است. با توجه اینکه در مطالعه حاضر از بین پارامترهای هواشناسی، صرفاً دمای خشک هوا و رطوبت نسبی برای محاسبه شاخص THI مورد ارزیابی قرار گرفت، پیشنهاد می‌گردد برای مطالعات آتی سایر پارامترهای جوی که می‌توانند بر ترسیم سیمای حرارتی ایران اثرگذار باشند؛ مانند دمای تابشی، سرعت جریان هوا و دمای تر، نیز مورد آنالیز روند

طی این دو ماه است (۳۳). افزایش دما و وقوع استرس گرمایی بر روی سلامت و ایمنی عمومی افراد یک جامعه تأثیر بسزایی دارد (۳۴). این افزایش شدید گرما و همراهی آن با رطوبت بالا منجر به بروز مشکلاتی برای مردم می‌شود، که اگر به موقع به آن توجه نشود موجب خسارات جانی و مالی خواهد شد (۳۴). در بسیاری از کشورها از طریق دادن پیش‌آگاهی‌ها و قبل از وقوع امواج گرما توسط سنسورهای سرویس خدمات هواشناسی به مردم هشدارهای لازم داده می‌شود و در صورت نیاز برخی تدابیر کنترلی از پیش تعریف شده با توجه به شرایط در اجرا می‌گردد (۳۵). در برخی از کشورها سرویس خدمات هواشناسی توصیه‌های ضروری را فراهم می‌کند و اگر امواج گرما چندین روز متوالی تداوم داشته باشد هشدارهای متناسب با آستانه‌های مقاومت در مقابل گرما در شهرهای بزرگ و ساحلی به علت وجود مشکلات ویژه در آنها، اعلان می‌گردد.

ایران در منطقه خاورمیانه و بین منطقه حاره و برون حاره (جنب حاره)، بر روی کمربند بیابانی نیمکره شمالی از شمال آفریقا شروع و عربستان، اردن، سوریه، عراق و جنوب ایران به سمت بیابان‌های سرد آسیای مرکزی ادامه دارد (۳۶). این موقعیت دو پیامد مهم برای کشور ایران به دنبال دارد، اول، کاهش بارش دریافتی به سبب حاکمیت پرفشار جنب حاره و پایداری جو در بخشی از سال، و اقلیم گرم که البته با پیچیدگی ناهمواری، تفاوت دمایی بین بخش‌های مختلف کشور مشهود است. و در نیمه دیگر سال، نفوذ بادهای غربی از عرض‌های بالا همراه با جریان‌های سرد از شمال، شمال شرق و شمال غرب، که با ورود توده‌های مرطوب و بارش‌ها از شمال غرب، غرب و جنوب غرب به ایران، شرایط متفاوت جوی حاکم می‌گردد. بنابراین موقعیت جغرافیایی و شرایط جوی در سال، موجب شده تا ایران نیز مشابه کشورهای هم‌عرض خود دارای اقلیم شکننده (ناپایدار) و شرایط جوی نامطمئن در طی سال باشد. طبیعتاً در این گونه اقلیم‌ها، مخاطرات جوی، ذاتی آب و هوا بوده و تشدید آنها به عنوان شاخصی از تغییر اقلیم کنونی جهان،

شاخص دما - رطوبت (THI)، معرف تأثیرات توامان این دو کمیت بر موجودات زنده و بروز تنش‌های محیطی است. با توجه به پیامدهای گرمایش جهانی، انتظار می‌رود مقدار این شاخص در دهه‌های آتی دچار تغییر شود؛ لذا استفاده از این شاخص می‌تواند کمک شایانی در تعیین شرایط حرارتی مناطق مختلف و اطلاع‌رسانی آن به عموم افراد به ویژه افراد در معرض گرما و افراد آسیب‌پذیر بکند. از این رو آگاهی از تغییرات شرایط جوی از طریق شاخص ذکر شده موجب افزایش توانایی در زمینه اتخاذ اقدامات مدیریتی پیش‌گیرانه توسط سازمان‌ها و مراکز مربوطه در ارتباط با کاهش ریسک بروز شرایط استرس حرارتی، مشکلات و عوارض ناشی از آن در بین افراد است. نتایج این مطالعه نه تنها در ایران قابل استفاده است بلکه می‌تواند در کلیه مناطق در سراسر جهان با شرایط آب‌وهوایی مشابه اعمال شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان‌آور محیط و کار، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط‌زیست - دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی با کد ۴۳۰۰۷۴۶۱ است که با حمایت مالی این دانشگاه انجام شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از سازمان هواشناسی ایران برای ارائه داده‌های هواشناسی قدرانی و تشکر به عمل آورند. تاییدیه اخلاقی این مطالعه از کمیته اخلاق در پژوهش دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم اعصاب - دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی با کد IR.SBMU.PHNS.REC.1402.162 اخذ شده است. نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچگونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

تغییرات قرار بگیرند تا با قطعیت بیشتری بتوان در مورد روند تغییرات اقلیم و بروز تنش‌های حرارتی طی این سال‌ها نتیجه‌گیری کرد.

نتیجه‌گیری

کشور ایران از نظر آسایش حرارتی در فصل تابستان، در جنوب کشور در محدوده "خیلی گرم"، در شرق، شمال شرقی و نیمی از مرکز کشور در محدوده "گرم" و همچنین در شمال غربی و نیمی از مرکز کشور در محدوده "راحت" قرار داشت. در فصل تابستان، ۶۲/۵ درصد ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در محدوده "آسایش"، ۳۰ درصد در محدوده "تاحدی آسایش"، ۵ درصد در محدوده "عدم آسایش جدی" و ۲/۵ درصد در محدوده "خطرناک" قرار داشتند. بطور کلی پارامتر دما برای فصل تابستان در ۸۸/۳۸ درصد از ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است و در ۶۶/۰۳ درصد از این ایستگاه‌ها این روند افزایشی از نظر آماری معنی‌دار بوده است. تغییرات رطوبت نسبی برای فصل تابستان در ۸۸/۳ درصد از ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است و در ۵۸/۵ درصد از این ایستگاه‌ها این روند کاهشی از نظر آماری معنی‌دار است. شاخص دما-رطوبت برای فصل تابستان در ۷۵ درصد از ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است و در ۷۱/۴۳ درصد از این ایستگاه‌ها این روند افزایشی از نظر آماری معنی‌دار بوده است. بطور کلی روند تغییرات پارامتر دما و شاخص دما-رطوبت در بیشتر شهرها افزایشی و روند تغییرات رطوبت نسبی در بیشتر شهرها کاهشی بود. بیشترین میانگین شاخص THI مربوط به اقلیم خشک و بعد از آن نیمه مرطوب بود.

منابع

1. Getachew B, Manjunatha BR. Potential climate change impact assessment on hydrology of the Lake Tana basin, Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. *Phys Chem Earth, Parts A/B/C*. 2022;103162. doi: 10.1016/j.pce.2022.103162.

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان / دوره سی / فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۴

2. Tseliou A, Tsiros IX, Lykoudis S, Nikolopoulou M. An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions. *Built Environ*. 2010;45(5):1346-52. doi: /10.1016/j.buildenv.2009.11.009.
3. Gasparrini A, Armstrong B. The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology*. 2011;22(1):68.
4. de Freitas CR, Grigorieva EA. A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. *Int J Biometeorol*. 2017;61(3):487-512. doi: 10.1007/s00484-016-1228-6.
5. Farag MR, Alagawany M. Physiological alterations of poultry to the high environmental temperature. *J Therm Biol*. 2018;76:101-6. doi: 10.1016/j.jtherbio.2018.07.012.
6. Asghari M, Teimori G, Abbasinia M, Shakeri F, Tajik R, Ghannadzadeh MJ, Ghalhari GF. Thermal discomfort analysis using UTCI and MEMI (PET and PMV) in outdoor environments: case study of two climates in Iran (Arak & Bandar Abbas). *Weather*. 2019;74:S57-S64. doi: 10.1002/wea.3612.
7. Chowdhury FR, Ibrahim QSU, Bari MS, Alam MJ, Dunachie SJ, Rodriguez-Morales AJ, Patwary MI. The association between temperature, rainfall and humidity with common climate-sensitive infectious diseases in Bangladesh. *PloS one*. 2018;13(6):e0199579. doi: 10.1371/journal.pone.0232285.
8. Asghari M, Ghalhari GF, Teimori-Boghsani G, Dehghan SF, Heidari H. Trend investigation of thermal comfort in different climates of Iran in past decades. *Environ Climate Technol*. 2022;26(1):155-65. doi: 10.2478/rtuct-2022-0013.
9. Epstein Y, Moran DS. Thermal comfort and the heat stress indices. *Ind health*. 2006;44(3):388-98. doi: 10.2486/indhealth.44.388.
10. Sheikhi Arjanki S, Nadi M, Rahmaninia J, Mohammad Nazari B. Climate change impacts on Temperature-Humidity Index, (Case Study: Ramsar and Babolsar stations). *J Agric Meteorol*. 2021;9(2):39-47. doi: 10.22125/AGMJ.2021.284851.1114.
11. Asgari SA, Ghahreman N, Babaeian I. Quantifying the possible impacts of climate change on temperature-humidity index, (THI) under RCP scenarios across Iran. *J Clim Res*. 2017;1396(31):1-18.
12. Asghari M, Ghalhari GF, Abbasinia M, Dehghan SF. Trend of Thermal Comfort Indices Based on Temperature and Humidity in Three Different Climates of Iran. *Res J Environ Sci*. 2022;16(1):1-11. doi: 10.3923/rjes.2022.1.11.
13. De Martonne E. Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. *La Meteorologie*. 1926:449-58.
14. Ghalhari G, Dastjerdi J, Nokhandan M. Using Mann Kendal and t-test methods in identifying trends of climatic elements: A case study of northern parts of Iran. *Manag Sci Lett*. 2012;2(3):911-20. doi: 10.5267/j.msl.2011.10.015.
15. M K. Rank Correlation Methods. New York: Hafner. 1970.
16. Sen P. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *JASA*. 1968;63(324):1379-89.
17. Alizadeh-Choobari O, Najafi MS. Trends and changes in air temperature and precipitation over different regions of Iran. *JESPHYS*. 2017;43(3):569-84. doi: 10.22059/JESPHYS.2017.60300.
18. Mokari M, Abbasnia M. Trends Analysis of Maximum Temperature by using Mann-Kendall and Spearman Tests in Various Regions of Iran. *Nivar*. 2020;44(108-109):31-44. doi: 10.30467/NIVAR.2020.211885.1143.

19. Tabari H, Talae PH. Moisture index for Iran: spatial and temporal analyses. *Global Planet Change*. 2013;100:11-9. doi:10.1016/j.gloplacha.2012.08.010.
20. Kjellstrom T, Holmer I, Lemke B. Workplace heat stress, health and productivity—an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. *Glob Health Action*. 2009;2(1):2047. doi: 10.3402/gha.v2i0.2047.
21. Gao C, Kuklane K, Östergren P-O, Kjellstrom T. Occupational heat stress assessment and protective strategies in the context of climate change. *Int J Biometeorol*. 2018;62(3):359-71. doi: 10.1007/s00484-017-1352-y.
22. Ebi KL, Capon A, Berry P, Broderick C, de Dear R, Havenith G, et al. Hot weather and heat extremes: health risks. *Lancet*. 2021;398(10301):698-708. doi: 10.1016/S0140-6736(21)01208-3.
23. Mendoza V, Pazos M, Garduño R, Mendoza B. Thermodynamics of climate change between cloud cover, atmospheric temperature and humidity. *Sci Rep*. 2021;11(1):1-11. doi: 10.1038/s41598-021-00555-5.
24. Kousari MR, Ekhtesasi MR, Tazeh M, Saremi Naeini MA, Asadi Zarch MA. An investigation of the Iranian climatic changes by considering the precipitation, temperature, and relative humidity parameters. *Theor Appl Climatol*. 2011;103(3):321-35. doi: 10.1007/s00704-010-0304-9.
25. Ragab R, Prudhomme C. Sw—soil and Water: climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *Biosyst Eng*. 2002;81(1):3-34. doi: 10.1006/bioe.2001.0013.
26. World Health Organization. Asia-Pacific Parliamentarian Forum on Global Health: Fifth Meeting: Climate Change and Health, Nadi, Fiji, 20-22 August 2019.
27. Roshan G, Faghani M, Fitchett JM. Developing a thermal stress map of Iran through modeling a combination of bioclimatic indices. *Environ Monit Assess*. 2020;192(8):1-21. doi: 10.1007/s10661-020-08503-y.
28. Asghari M, Ghalhari GF, Abbasinia M, Shakeri F, Tajik R, Ghannadzadeh MJ. Feasibility of relative strain index (RSI) for the assessment of heat stress in outdoor environments: Case study in three different climates of Iran. *Open J Ecol*. 2020;13(1). doi: 10.2174/1874213002013010011.
29. Ghalhari GF, Dehghan SF, Pirposhteh EA, Teimori G, Basati M, Asghari M. Applicability of air enthalpy for heat stress assessment of outdoor environments in different climates of Iran. *Theor Appl Climatol*. 2021;145(3):1233-42. doi: 10.1007/s00704-021-03699-6.
30. Fallah Ghalhari G, Farhang Dehghan S, Akhlaghi Pirposhteh E, Asghari M. Trend Analysis and Temporal and Spatial Distribution of Wet Bulb Globe Temperature as a Heat Stress Index in Iran during the Summer Season over a 30-Year Period. *JEHSD*. 2021;6(4):1476-93. doi: 10.18502/jehsd.v6i4.8153.
31. Ahmadi H, Ahmadi F. Mapping thermal comfort in Iran based on geostatistical methods and bioclimatic indices. *Arab J Geosci*. 2017;10(15):1-12. doi:10.1007/s12517-017-3129-3.
32. Esmaili H, Roshani A, Shakiba A, Parak F. Trend Analysis of Climate Compound Extreme Indices in Iran. *GEOEH*. 2019;7(4):89-110. doi: 10.22067/GEO.V0I0.67984.
33. Reza Ebrahimi KO, Maryam Malek Mirzaei. Spatial-temporal analysis of the trend of monthly heating and cooling index in Iran. *Nivar*. 2016;40(94):25-34.
34. Ho HC, Knudby A, Xu Y, Hödul M, Aminipouri M. A comparison of urban heat islands mapped using skin temperature, air temperature, and apparent temperature (Humidex) , for the

- greater Vancouver area. *Sci Total Environ.* 2016;544:929-38. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.021.
35. Ebi KL, Teisberg TJ, Kalkstein LS, Robinson L, Weiher RF. Heat watch/warning systems save lives: estimated costs and benefits for Philadelphia 1995–98. *BAMS.* 2004;85(8):1067-74. doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-85-8-1067>.
36. Lashkari H, Mohammadi Z. The Role of Saudi Arabian Sub-Tropical High Pressure on the Rainfall Systems on South and Southwest Iran. *JPHGR.* 2015;74(1):73-90. doi: 10.22059/JPHGR.2015.53679.
37. Zare S, Shirvan HE, Hemmatjo R, Nadri F, Jahani Y, Jamshidzadeh K, Paydar P. A comparison of the correlation between heat stress indices (UTCI, WBGT, WBGT, TSI) and physiological parameters of workers in Iran. *Weather Clim Extrem.* 2019;26:100213. doi: 10.1016/j.wace.2019.100213.
38. Kotlyakov V, Komarova A. Elsevier's Dictionary of Geography. Elsevier. 2007.
39. Heidari H, Golbabaie F, Shamsipour A, Rahimi Forushani A, Gaeini A. Outdoor occupational environments and heat stress in Iran. *J Environ Health Sci Eng.* 2015;13(1):1-8. doi: 10.1186/s40201-015-0199-6.
40. Modarres R, Ghadami M, Naderi S, Naderi M. Future heat stress arising from climate change on Iran's population health. *Int J Biometeorol.* 2018;62(7):1275-81. doi: 10.1007/s00484-018-1532-4.
41. Grigore E. Interannual variation of the average values of thermo-hygrometer index on the south dobrogea territory. *JED.* 2013;7(2):215-223.