



## Thermal stress risk assessment using Physiological Equivalent Temperature (PET) in Iran

**Mehdi Asghari**, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran.

Environmental and Industrial Pollutants Research Center, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

**Hossein Safari Palangi**, Assistant Professor, Health Policy Health Promotion Research Center, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Gholamabbas Fallah Ghalhari**, Professor of Climatology, Department of Geography and Tourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran.

**Elham Akhlaghi Pirposhteh**, PhD Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

**Fahimeh Shakeri**, PhD of Urban Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Khorasan-Razavi, Iran.

**Marzieh Abbasinia**, Occupational Health Engineering, Social Determinants of Health Research Center, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran

**Somayeh Farhang Dehghan**, (\*Corresponding author), Environmental and Occupational Hazards Control Research Center, Research Institute for Health Sciences and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Department of Occupational Health Engineering and Safety at Work, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. [somayeh.farhang@gmail.com](mailto:somayeh.farhang@gmail.com)

### Abstract

**Background and aims:** Climate change and rising temperatures pose significant challenges to public health and the environment. Weather conditions critically influence human health and physiological performance. The Physiologically Equivalent Temperature (PET) index serves as a reliable measure for assessing heat and cold stress. In Iran, with its diverse climate, physiological stress shows distinct patterns. This study evaluates heat stress levels over 30 years (1990–2020) in Iran using the PET index.

**Methods:** Meteorological data, including mean dry temperature, radiant temperature, relative humidity, wind speed, and cloud cover, were collected from 49 stations across Iran via the Iranian Meteorological Organization. The PET index was calculated for all seasons using RayMan software, and spatial distribution maps were created using the kriging method in ArcGIS 10.3.

**Results:** The highest average PET value was recorded in summer at the Bandar Abbas station (44.57 °C, "extreme heat stress"). The lowest was during winter at the Saez station (−7.95 °C, "extreme cold stress"). Analysis showed the highest frequency of physiological stress in arid (42.85%) and semi-arid (38.77%) climates, with lower frequencies in Mediterranean (4.08%), semi-humid (2.04%), humid (4.12%), and very humid (6.12%) climates.

**Conclusion:** The study indicates that arid and semi-arid regions face higher risks of heat stress in summer and cold stress in winter. These areas are particularly vulnerable to climate change. In contrast, northern humid regions experience lower heat stress risks. The findings can inform operational plans to reduce community vulnerability and enhance adaptation to climate change.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** Iran University of Medical Sciences with code 25805,

### Keywords

Heat stress

PET index (Physiologically

Equivalent Temperature

Climate change

Climatic zoning

Climate vulnerability

Received: 2024/08/11

Accepted : 2025/05/12

## INTRODUCTION

Climate, as a geographical phenomenon, has an undeniable and intricate relationship with human life, working conditions, and the environment. The study of climatic impacts on human behavior, health, and comfort falls under the domain of human biometeorology, which emphasizes the interplay between meteorological variables and physiological responses. Thermal comfort, defined as conditions where 80% of individuals feel neither heat nor cold stress, is influenced by factors such as temperature, humidity, airflow, and radiant heat. These elements collectively shape human physiological and psychological well-being, particularly in regions with extreme climatic variability, like Iran [1, 2].

Iran's geographical position (23°–40°N) places it under the influence of subtropical high-pressure systems, such as the Arabian High, which dominates its climate during summer, leading to hot, arid conditions. Global warming and climate change exacerbate these challenges, disproportionately affecting low- and middle-income countries. Heat-related illnesses, termed “silent killers,” have surged globally, with mortality rates in 2020 reaching 15 times those of 2001 [3–6]. Projections indicate a 1.8–4 °C rise in global temperatures by 2100, intensifying occupational and public health risks, particularly in developing nations like Iran [7–9]. Concurrently, cold stress during harsh winters disrupts infrastructure, agriculture, and health, elevating risks of hypertension, respiratory issues, and psychological distress [10–14].

Human thermal comfort models integrate meteorological parameters (temperature, humidity, wind speed) and physiological factors (metabolic rate, clothing insulation). Among these, the Physiological Equivalent Temperature (PET) index is widely adopted for its comprehensiveness, translating complex climatic data into physiologically relevant metrics. PET evaluates thermal stress by simulating human energy balance under varying conditions, making it invaluable for regional climate assessments [15–21].

Iran's diverse climates, exacerbated by rising temperatures and climatic extremes, necessitate detailed thermal stress mapping. This study addresses this gap by analyzing 30-year meteorological data across 49 stations, employing PET to assess seasonal thermal stress risks. The findings aim to guide public health strategies, occupational safety protocols, and tourism planning, while updating exposure limits for heat and cold stress.

## METHODOLOGY

### Study Area

Iran (1,648,195 km<sup>2</sup>; 25°–40° N, 44°–64° E) exhibits diverse climates due to its topography and latitude. The De Martonne aridity index classifies

regions into six climatic zones: arid (AI < 10), semi-arid (10 < AI < 20), Mediterranean (20 < AI < 24), semi-humid (24 < AI < 28), humid (28 < AI < 35), and very humid (AI > 35) [15].

### Data Collection

Meteorological data (1988–2017) from 49 synoptic stations were obtained, including dry temperature, radiant temperature, relative humidity, wind speed, and cloud cover. Stations with ≤ 5% missing data were prioritized.

### PET Calculation

The PET index, derived from the Munich Energy-Balance Model for Individuals (MEMI), quantifies thermal stress by solving the human energy balance equation:  $\dot{M} + W + R + C + ED + E_{re} + E_{sw} + S = 0$  where  $\dot{M}$  = metabolic rate,  $W$  = physical work,  $R$  = net radiation,  $C$  = convective heat flow,  $ED$  = latent heat from skin,  $E_{re}$  = respiratory heat loss, and  $E_{sw}$  = sweating. PET thresholds categorize stress levels from “extreme cold stress” (< 4 °C) to “extreme heat stress” (> 41 °C) [21, 27].

The RayMan 2.1 software computed daily PET values, while ArcGIS 10.3 generated spatial maps. Statistical analyses (SPSS v26, Excel 2019) evaluated seasonal and climatic variations.

## RESULTS

### Climatic Distribution

Of 49 stations, 43% were arid, 39% semi-arid, 6% humid, 6% very humid, 4% Mediterranean, and 2% semi-humid (Fig 1).

### Seasonal PET Variations

- Spring: Highest PET (36.88°C, Chabahar) indicated “severe heat stress”; lowest (2.48°C, Saqqez) signaled “extreme cold stress.”
- Summer: Maximum PET (44.57°C, Bandar Abbas) fell under “extreme heat stress”; 70% of stations experienced heat stress.
- Autumn: Chabahar (36.3°C) and Saqqez (5.73°C) marked extremes of heat and cold stress, respectively.
- Winter: Chabahar (26.4°C) had “moderate heat stress,” while Saqqez (-7.95°C) faced “extreme cold stress”; 80% of stations reported severe cold stress.

### Climatic Risk Patterns

- Arid/Semi-Arid Regions: Dominated thermal stress patterns, with 42.85% and 38.77% of total risks, respectively.
- Summer: Arid zones exhibited “moderate” (33.33%) and “extreme heat stress” (28.57%); semi-arid regions faced “no cold stress” (31.57%).
- Winter: 59.18% of stations in arid zones endured “extreme cold stress.”

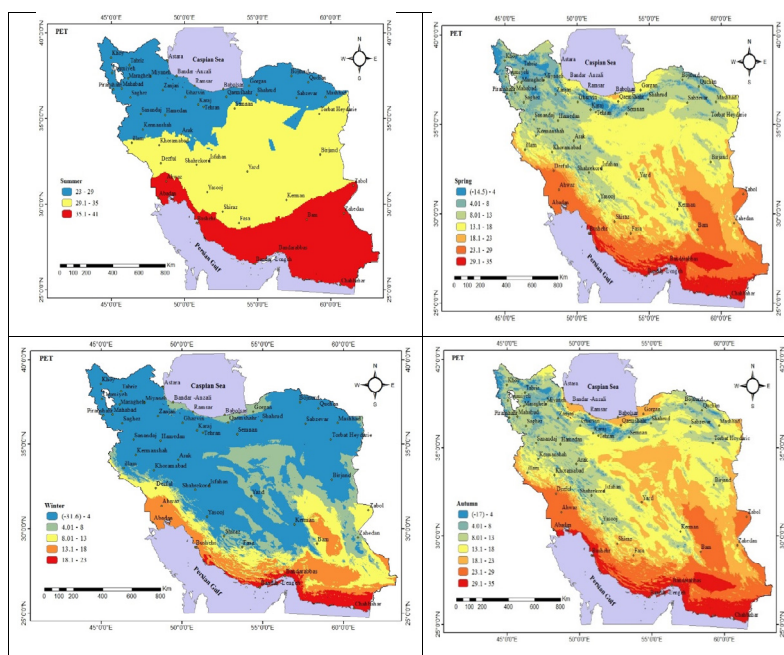


Fig. 1. Spatial Distribution of Iran Based on the Average PET(OC) Index Across Four Seasons

## DISCUSSION

### Regional Thermal Stress Dynamics

Iran's climatic diversity and global warming amplify thermal stress risks. Summer heat stress, prevalent in southern and central arid zones, aligns with studies linking rising temperatures to occupational hazards and mortality [31, 36]. For instance, Bandar Abbas's extreme PET value (44.57 °C) reflects its proximity to the Persian Gulf, where high humidity exacerbates perceived heat. This aligns with global trends, where coastal regions face amplified heat stress due to combined temperature and moisture extremes [37]. Conversely, Saqqez's severe winter cold stress (−7.95 °C) underscores the vulnerability of high-altitude regions to climatic extremes, where radiative cooling and continental air masses dominate [38].

### Comparative Analysis with Global Studies

The PET-based findings mirror global patterns. For example, Mediterranean regions report similar summer heat stress trends, with PET values exceeding 40 °C in southern Spain and Greece [39]. However, Iran's arid zones exhibit more pronounced extremes due to limited vegetation and urbanization-driven heat island effects. Comparatively, cold stress in Iran's northwestern highlands resembles conditions in the Tibetan Plateau, where prolonged winters and altitude-induced temperature drops elevate health risks [40]. These parallels highlight the universality of PET's applicability while emphasizing regional nuances.

### Implications for Occupational Health

Occupational exposure in Iran's arid/semi-arid

zones—particularly in the agriculture, construction, and oil industries—faces heightened risks. Summer heat stress reduces productivity and increases heatstroke incidents, as observed in Chabahar, where PET values exceeded 36 °C for 60% of summer days. This aligns with Maeda et al. [35], who identified a 30% decline in labor efficiency at PET > 35 °C. Conversely, winter cold stress in Saqqez correlates with studies linking prolonged cold exposure to cardiovascular strain and frostbite, particularly among outdoor workers [41].

### Public Health and Policy Considerations

The study's spatial PET maps provide actionable insights for policymakers. For instance, heatwave early-warning systems could prioritize southern regions like Bandar Abbas, while cold stress mitigation programs should target the northwestern highlands. Urban planning initiatives, such as green infrastructure in cities like Tehran and Isfahan, could mitigate urban heat islands, reducing PET by 2–4 °C [42]. Additionally, revising occupational safety standards to include PET thresholds could safeguard workers in high-risk industries.

### Limitations and Future Directions

While PET offers robust thermal stress assessment, it has limitations. The model assumes static metabolic rates and clothing insulation, potentially underestimating adaptive behaviors (e.g., hydration, shade use). Future studies could integrate real-time physiological data from wearable sensors to refine PET accuracy. Furthermore, climate projections under

IPCC scenarios (e.g., RCP 8.5) should be modeled to anticipate future risks.

## CONCLUSION

This study highlights Iran's escalating thermal stress risks, driven by climate change and geographic diversity. Key findings include:

1. Seasonal Extremes: Summer heat stress (70% of stations) and winter cold stress (80% of stations) dominate.
2. Regional Vulnerabilities: Arid/semi-arid zones face compounded risks due to climatic and occupational exposure.
3. Public Health Implications: Rising PET values necessitate early warning systems, revised occupational guidelines, and infrastructural adaptations.

Future strategies should integrate PET-based zoning into urban planning, healthcare protocols, and tourism policies. Further research should explore socioeconomic disparities in thermal vulnerability and validate PET thresholds against physiological data. Addressing these challenges is critical for mitigating climate-induced health risks in Iran and similar regions.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their gratitude to the Iranian Meteorological Organization for providing the meteorological data.

## FUNDING

This article is part of a research project approved by Iran University of Medical Sciences with code 25805, which was conducted with the financial support of this university.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there are no conflicts of interest in this study.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Study design, supervision, and project management: M. As. - S. F. D.

Study design and funding: H. S. P.

Data collection and analysis: G. F. G. - E. A. P. - F. SH - M. Ab.

Drafting the initial manuscript: M. As. - S. F. D. - E. A. P.

Review and approval of the final manuscript: All authors.

## OPEN ACCESS

©2025 The author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## ETHICAL CONSIDERATION

This study is based on the analysis of publicly available meteorological data collected from the Iranian Meteorological Organization. All data used in this research were obtained through official and legal channels, and no personal or sensitive information was accessed or processed. Therefore, no direct ethical approval or informed consent was required for this work, as it did not involve human subjects, biological samples, or private data.

The authors declare that there are no conflicts of interest related to the content of this study. The research was conducted with the aim of contributing to scientific knowledge on climate change impacts and public health, and all findings have been reported objectively and transparently.

For future studies involving primary data collection from human participants, appropriate ethical clearance should be obtained from relevant institutional review boards or ethics committees.

## ETHICAL CODE

The ethical approval for this study was obtained from the Ethics Committee in Research of Iran University of Medical Sciences with code IR.IUMS.REC.1403.144.

## DATA AVAILABILITY STATEMENT

The dataset presented in this study will be available upon reasonable request to the corresponding author after the publication of the article.

## How to cite this article:

Mehdi Asghari, Hossein Safari Palangi, Gholamabbas Fallah Ghalhari, Elham Akhlaghi Pirposhteh, Fahimeh Shakeri, Marzieh Abbasinia, Somayeh Farhang Dehghan. Thermal stress risk assessment using Physiological Equivalent Temperature (PET) in Iran. *Iran Occupational Health*. 2025 (01 Jul);22:9.

**\*This work is published under CC BY-NC 4.0 licence**



## ارزیابی ریسک استرس حرارتی با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) در کشور ایران

**مهدی اصغری:** دانشیار مهندسی بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران  
مرکز تحقیقات آلاینده های زیست محیطی و صنعتی دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران .  
**حسین صفری پلنگی:** استادیار سیاستگذاری سلامت، مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.  
**غلامعباس فلاح قاله‌ری:** استاد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا و گردشگری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.  
**الهام اخلاقی پیرپشته:** دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران .  
**فهیمة شاکری:** دکتری اقلیم شناسی شهری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، خراسان رضوی، ایران.  
**مرضیه عباسی نیا:** مرکز تحقیقات مولفه های اجتماعی موثر بر سلامت ساوه دانشکده علوم پزشکی ساوه، ساوه، ایران.  
**سمیه فرهنگ دهقان:** (\* نویسنده مسئول) دانشیار مهندسی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات کنترل عوامل زیان آور محیط و کار، پژوهشکده علوم بهداشتی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران  
دانشیار مهندسی بهداشت حرفه ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.  
somayeh.farhang@gmail.com

### چکیده

**کلیدواژه‌ها**  
استرس حرارتی  
شاخص PET (دمای معادل  
فیزیولوژیک)  
تغییرات اقلیمی  
پهنه‌بندی آب و هوایی  
آسیب‌پذیری اقلیمی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۲

**زمینه و هدف:** تغییرات آب و هوا و افزایش دما در سال‌های اخیر چالش‌های جدی در سلامت عمومی و محیط زیست ایجاد کرده است. یکی از عوامل مؤثر بر سلامت انسان، شرایط آب و هوایی است. شاخص مقدار فیزیولوژیک (PET) به‌عنوان معیاری برای ارزیابی تنش گرمایی و سرمایی معرفی شده است. در ایران، تنوع اقلیمی باعث ایجاد الگوهای خاصی در تنش فیزیولوژیک شده است. این پژوهش به‌منظور ارزیابی سطح استرس حرارتی در دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) با استفاده از شاخص PET انجام شده است.

**روش بررسی:** داده‌های هواشناسی شامل دما، رطوبت و سرعت باد از ۴۹ ایستگاه هواشناسی ایران جمع‌آوری شد. شاخص PET برای چهار فصل با نرم‌افزار RayMan محاسبه و نقشه‌های آن با روش کریجینگ در ArcGIS ۱۰٫۳ تهیه گردید.  
**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بالاترین میانگین PET در تابستان و ایستگاه بندرعباس با  $44.57^{\circ}\text{C}$  (استرس گرمایی بسیار شدید) و کمترین آن در زمستان و ایستگاه سقز با  $-7.95^{\circ}\text{C}$  (استرس سرمایی بسیار شدید) ثبت شد. بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیک در اقلیم‌های خشک ( $42.85\%$ ) و نیمه‌خشک ( $38.77\%$ ) مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد که ریسک استرس گرمایی در تابستان و سرمایی در زمستان در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک بالاست. این مناطق به‌دلیل شرایط خاص آب و هوایی، آسیب‌پذیری بیشتری در برابر تغییرات اقلیمی دارند. در مقابل، مناطق مرطوب شمال کشور ریسک کمتری از استرس حرارتی را تجربه می‌کنند. این یافته‌ها می‌تواند در طراحی برنامه‌های عملیاتی برای کاهش آسیب‌پذیری جوامع محلی و افزایش انطباق با تغییرات اقلیمی مفید باشد.

**تعارض منافع:** گزارش نشده است.

**منبع حمایت کننده:** دانشگاه علوم پزشکی ایران.

شیوه استناد به این مقاله:

Mehdi Asghari, Hossein Safari Palangi, Gholamabbas Fallah Ghalhari, Elham Akhlaghi Pirposhteh, Fahimeh Shakeri, Marzieh Abbasinia, Somayeh Farhang Dehghan. Thermal stress risk assessment using Physiological Equivalent Temperature (PET) in Iran. Iran Occupational Health. 2025 (01 Jul);22:9.

\*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است

## مقدمه

اقلیم به عنوان پدیده ای جغرافیایی، رابطه ای تنگاتنگ و انکارناپذیر با انسان، شرایط زندگی و محیط کار دارد. امروزه مطالعه تاثیر وضعیت اقلیمی بر زندگی، اعمال و رفتار انسان در قالب یکی از شاخه های علمی به نام زیست اقلیم شناسی انسانی یا زیست هواشناسی انسانی مورد مطالعه قرار می گیرد. آسایش انسانی، مجموعه شرایطی است که از نظر حرارتی برای ۸۰ درصد از افراد مناسب و راحت باشد یا به عبارت دیگر انسان تحت آن شرایط نه احساس گرما و نه احساس سرما کند و حالت خنثی بودن تعبیر دیگر آن است [۱]. احساس انسان نسبت به محیط اطرافش از طریق بررسی همزمان عوامل اقلیمی چون درجه حرارت، رطوبت نسبی یا جریان هوا ممکن است. ترکیب این عوامل بر انسان تاثیر گذاشته و با آسایش فیزیکی او رابطه دارند [۲].

به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی ایران، بخش وسیعی از کشور، در دامنه نوسانات کمربند پرفشار جنب حاره ای (عرض ۲۳ درجه تا ۴۰ درجه شمالی) قرار دارد. این کمربند عربستان که یکی از سلول های پرفشار جنب حاره ای است، بر روی شبه جزیره عربستان تشکیل می شود و به پیروی از حرکت ظاهری خورشید، به طرف عرض های بالا و پایین جابه جا می شود [۳]. این سلول پدیده غالب دوره گرم سال ایران است و استقرار درازمدت آن بر روی ایران موجب به وجود آمدن تابستان های گرم و خشک می شود. گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در دهه اخیر به خصوص در کشورهای گرمسیری و نیمه گرمسیری با درآمد کم و متوسط، و وجود کارخانه ها و مشاغل کوچک و بزرگ در این کشورها، و بررسی وضعیت مواجهه با استرس (تنش) گرمایی و اثرات آن بر روی افراد شاغل امری بسیار ضروری می باشد [۴]. بیماری های ناشی از استرس گرمایی به عنوان یکی از عوامل مرگ های بی صدا در جهان به شمار می روند که با تغییرات اقلیمی و روند افزایش دمای هوا میزان آن نیز افزایش یافته است [۵]. به گونه ای که میزان مرگ و میرهای ناشی از گرما در سال ۲۰۲۰ به ۱۵ برابر بیشتر از سال ۲۰۰۱ رسیده است [۶]. تغییرات آب و هوای جهان تاثیر زیادی بر محیط زندگی و کار گذاشته و سلامتی میلیون ها نفر را به خطر انداخته است و در این راستا، میانگین دمای جهان در حال افزایش است [۷]. تخمین زده می شود که تا سال ۲۱۰۰ دمای کره زمین ۱/۸ تا ۴ درجه سیلسیوس (به طور میانگین ۳ درجه سیلسیوس) افزایش یابد که این میزان بستگی به سطح انتشار گاز

گلخانه ای خواهد داشت [۸]. این تغییرات اقلیم و وجود فرآیندهای گرمازا در محیط های کاری منجر به افزایش اثرات ناشی از استرس گرمایی در افراد شاغل که در محیط کار و زندگی خود مواجهه زیادی با گرما داشته اند، شده است که این موضوع به عنوان یک نگرانی مهم به ویژه در کشورهای توسعه نیافته و درحال توسعه مطرح است و می تواند اثرات سوء زیادی بر سلامتی آنها بگذارد [۹]. برای مقابله با این وضعیت مهم، ایجاد سیستم های هشدار دهنده زود هنگام و استراتژی های مراقبت های بهداشتی برای مقابله با رشد جمعیت و ویژگی های اقتصادی و اجتماعی قابل توجه در آینده ضروری است. موج های سرما و استرس سرمایی از جمله پدیده های جوی هستند که سالانه خسارات جبران ناپذیری به اقتصاد کشور وارد می کنند. الگوهای گردش جوی نقش اصلی را در وقوع امواج استرس سرمایی و یخبندان ها به عهده دارند؛ به گونه ای که رخداد پدیده های محیطی نظیر یخبندان و سرمازدگی در ارتباط با تکرار سیستم های سینوپتیکی و تیپ های هوا است [۱۰]. زمستان های خشن، سرد و برفی از ویژگی های اقلیم کوهستانی کشور ایران می باشد. از جمله اثرات امواج سرمای شدید، ترکیدن لوله ها و اتصالات آب، یخبندان سطح معابر و خیابان ها، افزایش مصرف انرژی و افت فشار در شبکه های گاز و برق، از بین رفتن محصولات کشاورزی و همچنین شیوع بیماری های مرتبط با دما است [۱۲]. مواجهه مداوم با سرما یک عامل مخاطره آمیز در محیط های کاری در فصول سرد است [۱۳]. انجام فعالیت های فیزیکی در هوای سرد موجب ناراحتی های تنفسی می شود. همچنین براساس نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی، مواجهه با سرما سبب افزایش فشار خون سیستولیک و دیاستولیک می شود [۱۴]. یکی دیگر از اثرات مواجهه با سرما، کپهر سرمایی می باشد که موجب تورم پوستی و خارش می شود. این حالت زمانی اتفاق می افتد که بعد از مواجهه با هوای سرد، پوست دوباره در معرض هوای گرم قرار گیرد. همچنین در مطالعات مختلف مشاهده گردید که فعالیت در محیط های سرد به دلیل آنکه سیستم های مکانیکی بدن خوب کار نمی کنند، موجب افزایش افسردگی، نارضایتی، بیخوابی و فقدان انگیزه می شود [۱۳].

سلامت انسان در هر شرایطی متأثر از متغیرهای آب و هوایی از جمله فشار، رطوبت و دمای پیرامون خویش است. بدین خاطر بیشتر مدل ها و شاخص های سنجش آسایش انسان بر اساس این عناصر استوار شده است

[۱۵] [۱۶]. لازم بذکر است که آسایش حرارتی انسان نتیجه تعادل انرژی بین سطح بدن و محیط زیست است که بر فیزیولوژی، روانشناسی و رفتار انسان اثرگذار هستند. از سوی دیگر مدل‌های آسایش حرارتی علاوه بر استفاده از پارامترهای جوی مانند درجه حرارت، فشار بخار آب، سرعت باد و میانگین دمای تابشی از فرایندهای پیچیده متابولیکی مانند سطح فعالیت فیزیکی و پوشش لباس نیز استفاده می‌کنند [۱۷].

شاخص‌های آسایش حرارتی معمولاً تأثیر عوامل جغرافیایی منطقه، اقلیم و فیزیولوژی انسان را در بر می‌گیرد. شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان که از معادله بیلان بدن انسان مشتق شده اند، امروزه در مطالعات زیست اقلیم انسانی جایگاه ویژه‌ای دارند [۱۸، ۱۹]. شاخص‌های معروفی در این زمینه پیشنهاد شده است که شاخص اهمیت بیشتری یافته‌اند. بیان شرایط اقلیم آسایشی معمولاً با شاخص‌هایی دمای معادل فیزیولوژیک (PET) بیان می‌گردد که در آن مجموعه‌ای از عناصر هواشناسی، انسانی و محیطی دخالت داده می‌شود این شاخص‌ها داده‌های اقلیمی را به شکلی ارائه می‌کنند که نشان دهنده واکنش افراد به شرایط آب و هوایی است و در طبقه بندی عددی، درجاتی را از بسیار مناسب تا نامناسب در بر می‌گیرند [۲۰] [۱۸]. 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 [۲۱].

در کشور ایران با تنوع خاص آب و هوایی در اغلب روزها و اقلیم‌های مختلف رو به هستیم. با توجه به شیب مثبت دما و افزایش دمای متوسط کشور در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی طی دهه‌های اخیر و اختلاف زیاد مقادیر حداکثر دما در کلیه نواحی ایران زمین اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در این کشور نیز ملموس است [۲۲]. لذا شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور به عنوان یکی از محیط‌های پایه و اساسی برای فعالیت‌های انسانی و شغلی، برنامه ریزی‌های محیطی، گردشگری و آمایش سرزمین امری ضروری به شمار می‌رود. در این راستا شناخت و ارزیابی ویژگی‌های اقلیمی و عناصر غالب آن در تغییرات جوی و شکل‌گیری رفتارهای محیطی برای جوامع انسانی از نقطه نظرهای متفاوتی نقش تعیین کننده‌ای دارد [۲۳]. از سوی دیگر به منظور کاهش پیامدهای منفی ناشی از امواج گرمایی و سرمایای در آینده در گرو شناسایی مکانیسم این سیستم‌های هواشناسی ایجادکننده آن‌ها، پیش‌بینی

و یافتن روش‌هایی برای کاهش اثرات مخرب آنها بر روی سلامت عمومی و همچنین شناسایی مناطق آسیب پذیر در ارتباط با امواج گرمایی و سرمایای است [۲۴]. لذا مطالعه حاضر نیز در نظر دارد از طریق تحلیل داده‌های هواشناسی ثبت شده در فصول مختلف ایران طی یک دوره ۳۰ ساله و تهیه اطلس (پهنه‌بندی) کشور ایران از نقطه نظر میانگین شاخص PET و قیاس اقلیم‌های مختلف بپردازد. شایان ذکر است که در این مطالعه برای اولین بار تغییرات این شاخص در سطح وسیع کل کشور (۴۹ ایستگاه در اقلیم‌های مختلف) طی دوره ۳۰ ساله در چهار فصل مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج این مطالعه می‌تواند از دیدگاه راحتی و آسایش انسانی و افراد شاغل در محیط‌های شغلی به ویژه روباز و اساس بسیاری از برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در حوزه‌های بهداشت و درمان و همچنین صنعت توریسم و گردشگری شود. همچنین بررسی روند تغییرات دمایی و شاخص‌های حرارتی مورد استفاده طی سال‌های متفاوت می‌تواند به عنوان یک راهنما، راهکار و به روز رسانی تعیین حدودهای مجاز مواجهه به کار گرفته شود.

## مواد و روش‌ها

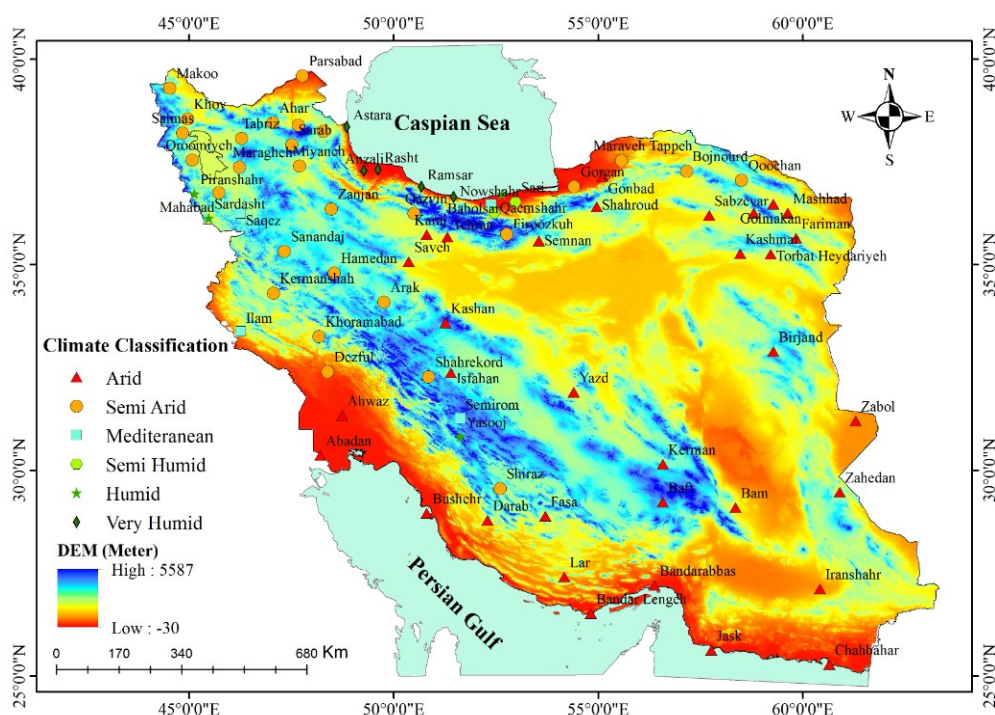
### محدوده مورد مطالعه

این مطالعه در کشور ایران با وسعتی معادل ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع با عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی انجام گرفت [۲۵].

### ناحیه بندی اقلیمی

در این مطالعه جهت طبقه‌بندی اقلیمی در ایران از طبقه بندی اقلیمی دومارتن (De Martonne) استفاده گردید. شکل ۱ ناحیه بندی اقلیمی کشور ایران بر اساس طبقه بندی دومارتن را نشان می‌دهد. این طبقه‌بندی بر مبنای شاخص خشکی (Aridity index) بنا نهاده شده است و در آن از دما و بارندگی برای تعیین نوع اقلیم استفاده می‌شود. دومارتن در این سیستم، شش نوع اقلیم را مشخص نموده است. که عبارتند از، اقلیم خشک ( $AI < 10$ )، اقلیم نیمه خشک ( $10 < AI < 20$ )، اقلیم مدیترانه‌ای ( $20 < AI < 24$ )، اقلیم نیمه مرطوب ( $24 < AI < 28$ )، اقلیم مرطوب ( $28 < AI < 35$ ) و اقلیم بسیار مرطوب ( $35 \leq AI$ ) [۱۵].

مشخصات ۴۹ ایستگاه از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد و اطلاعات آنها از نظر نوع اقلیم، عرض



شکل ۱. ناحیه بندی اقلیمی کشور ایران بر اساس طبقه بندی دومارتن

است که در ارزیابی‌های زیست اقلیمی باید اثرات تمام همه عناصر اقلیمی و اجزای حرارتی محیط دخالت داده شوند. همچنین در یک شاخص ایده ال زیست اقلیمی می‌بایست تعادل انرژی بین بدن انسان و محیط جوی نیز لحاظ شده باشد. یک چنین دیدگاهی منجر به ارائه و توسعه مدل‌های بیان انرژی بدن انسان گردید که از دهه ۱۹۶۰ در ارزیابی آسایش حرارتی انسان بیش از پیش پذیرفته شدند [۲۶].

یکی از کامل‌ترین مدل‌ها که قابلیت ارزیابی مولفه‌های تبادل گرما انسان محیط را داراست، مدل Munich Energy-Balance Model for Individuals (MEMI) (مدل بیان انرژی برای افراد) می‌باشد. مدل اشاره شده جز مدل‌های موازنه حرارتی ترمو- فیزیولوژیک است که جهت بدست آوردن شاخص‌های PET و PMV مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل برای تعیین مقادیر واقعی شارهای حرارتی و دماهای بدن انسان در محیط معین، با فرض اینکه اتلاف حرارتی پوست برابر با حرارت تولید شده بوسیله خون و حرارت منتقل شده از مرکز بدن به سطح پوست باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد که معادله آن به شرح ذیل است (رابطه ۱).

$$M+W+R+C+E_D+E_{re}+E_{SW}+S=0 \quad (1)$$

جغرافیایی، طول جغرافیایی در جدول ۱ ذکر شده است.

### جمع‌آوری داده‌های هواشناسی

برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) در کشور ایران، داده‌های هواشناسی سینوپتیک مربوطه به ۴۹ ایستگاه از سازمان هواشناسی کشور ایران تهیه گردید. این داده‌های هواشناسی شامل میانگین پارامترهای دمای خشک، میانگین دمای تابشی، رطوبت نسبی، سرعت جریان هوا و ابرناکی ایستگاه‌های مورد مطالعه بود. سپس شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) برای چهار فصل محاسبه شد. ایستگاه‌های منتخب دارای کامل‌ترین دوره آماری در بین سایر ایستگاه‌های کشور بوده و تلاش شد تا ایستگاه‌هایی که دارای ۵ درصد و کمتر نقص آماری در طول دوره بوده‌اند، انتخاب شوند.

### شاخص‌های دمای معادل فیزیولوژیک (PET)

شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان که از معادله توازن انرژی بدن انسان مشتق گردیده‌اند، در مطالعات زیست اقلیم انسانی جایگاه ویژه‌ای دارند. شاخص‌های معروفی در این زمینه پیشنهاد شده است که شاخص دمای معادل فیزیولوژیک و متوسط آرای پیش‌بینی شده اهمیت بیشتری یافته‌اند. امروزه عقیده بر این

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های مورد بررسی در این مطالعه

| ایستگاه    | نوع اقلیم   | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|------------|-------------|---------------|---------------|
| آبادان     | خشک         | ۴۸/۲۱         | ۳۰/۳۸         |
| اراک       | نیمه خشک    | ۴۹/۷۶         | ۳۴/۱          |
| ارومیه     | نیمه خشک    | ۴۵/۰۸         | ۳۷/۵۵         |
| اصفهان     | خشک         | ۵۱/۴          | ۳۲/۳۷         |
| اهواز      | خشک         | ۴۸/۷۴         | ۳۱/۳۴         |
| ایلام      | مدیترانه ای | ۴۶/۲۶         | ۳۳/۳۸         |
| آستارا     | بسیار مرطوب | ۴۸/۸۵         | ۳۸/۳۶         |
| بابلسر     | مرطوب       | ۵۲/۶۵         | ۳۶/۷۲         |
| بجنورد     | نیمه خشک    | ۵۷/۱۶         | ۳۷/۲۸         |
| بم         | خشک         | ۵۸/۳۵         | ۲۹/۱          |
| بندر لنگه  | خشک         | ۵۴/۵۴         | ۲۶/۳۳         |
| بندرانزلی  | بسیار مرطوب | ۴۹/۲۷         | ۳۷/۲۹         |
| بندرعباس   | خشک         | ۵۶/۳۷         | ۲۷/۲۱         |
| بوشهر      | خشک         | ۵۰/۸۱         | ۲۸/۹۶         |
| بیرجند     | خشک         | ۵۹/۲۸         | ۳۲/۸۹         |
| پیرانشهر   | مرطوب       | ۴۵/۱۳         | ۳۶/۷۳         |
| تبریز      | نیمه خشک    | ۴۶/۲۸         | ۳۸/۰۸         |
| ترت حیدریه | خشک         | ۵۹/۲۱         | ۳۵/۲۶         |
| تهران      | خشک         | ۵۱/۳۱         | ۳۵/۶۸         |
| چابهار     | خشک         | ۶۰/۶۵         | ۲۵/۲۸         |
| خرم اباد   | نیمه خشک    | ۴۸/۱۷         | ۳۳/۲۶         |
| خوی        | نیمه خشک    | ۴۷/۰۰         | ۳۸/۵۰         |
| دزفول      | نیمه خشک    | ۴۸/۳۸         | ۳۲/۴          |
| رامسر      | بسیار مرطوب | ۵۰/۶۸         | ۳۶/۹          |
| زابل       | خشک         | ۶۱/۲۹         | ۳۱/۲۲         |
| زاهدان     | خشک         | ۶۰/۹          | ۲۹/۶۴         |
| زنجان      | نیمه خشک    | ۴۸/۴۸         | ۳۶/۳۶         |
| سبزوار     | خشک         | ۵۷/۷۱         | ۳۶/۲          |
| سقز        | مدیترانه ای | ۴۶/۲۶         | ۳۶/۲۵         |
| سمنان      | خشک         | ۵۳/۵۵         | ۳۵/۵۸         |
| سنندج      | نیمه خشک    | ۴۷/۳۳         | ۳۵/۳۳         |
| شاهرود     | خشک         | ۵۴/۹۶         | ۳۶/۴۱         |
| شهرکرد     | نیمه خشک    | ۵۰/۸۵         | ۳۲/۲۸         |
| شیراز      | نیمه خشک    | ۵۲/۶          | ۲۹/۵۶         |
| فسا        | خشک         | ۵۳/۷۱         | ۲۸/۸۹         |
| قائم شهر   | نیمه مرطوب  | ۵۲/۶۴         | ۲۶/۲۷         |
| قزوین      | نیمه خشک    | ۵۰/۵          | ۳۶/۲۵         |
| قوچان      | نیمه خشک    | ۵۸/۵          | ۳۷/۱۱         |

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های مورد بررسی در این مطالعه

| ایستگاه  | نوع اقلیم | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|----------|-----------|---------------|---------------|
| کرج      | خشک       | ۵۰/۸۱         | ۳۵/۳۳         |
| کرمان    | خشک       | ۵۶/۵۸         | ۳۰/۱۵         |
| کرمانشاه | نیمه خشک  | ۴۷/۰۶         | ۳۴/۳۱         |
| گرگان    | نیمه خشک  | ۵۴/۴۱         | ۳۶/۹          |
| مراغه    | نیمه خشک  | ۴۶/۲۳         | ۳۷/۳۸         |
| مشهد     | خشک       | ۵۹/۶۳         | ۳۲/۲۶         |
| مهاباد   | نیمه خشک  | ۴۵/۷۳         | ۳۶/۷۶         |
| میانه    | نیمه خشک  | ۴۷/۷          | ۳۷/۴          |
| همدان    | نیمه خشک  | ۴۸/۵۵         | ۳۴/۸          |
| یاسوج    | مرطوب     | ۵۱/۶۳         | ۳۰/۸۳         |
| یزد      | خشک       | ۵۴/۴          | ۳۱/۹۹         |

در مطالعه حاضر از مدل های نرم افزار RayMan 2.1 برای حل معادلات و محاسبات مربوط استفاده شد. این مدل قابلیت محاسبه متوسط دمای تابشی و در نهایت به دست آوردن شاخص PET را دارد. در جدول ۲ آستانه های عددی طبقه بندی این شاخص همراه با وضعیت توصیفی شرایط فیزیولوژیکی و حساسیت حرارتی آورده شده است [۲۷].

منظور از ارزیابی ریسک در مطالعه حاضر، تفسیر نتایج با توجه به راهنمای مندرج در جدول ۲ (آستانه های تنش حرارتی شاخص PET) می باشد. با توجه به دامنه شاخص، نوع تنش فیزیولوژیک و حساسیت حرارتی مشخص می شود. تعریف ریسک در مطالعه حاضر به معنای احتمال و شدت تأثیر استرس گرمایی یا سرمای بر انسان است.

#### تهیه نقشه های پهنه بندی

تهیه نقشه های پهنه بندی با استفاده از روش کریجینگ (Kriging Interpolation) صورت گرفت. کریجینگ، تخمین زنی است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می گیرد. مهمترین تخمین گر آمار فضایی به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار به نام دی جی کریجینگ که یک مهندس معدن اهل آفریقای جنوبی بوده است، کریجینگ نام گذاری شده است. این روش ابتدا برای ارزیابی منابع طبیعی پیشنهاد شد. در واقع روش کریجینگ یک میانگین وزن دار متحرک است که به عنوان بهترین تخمین گر خطی ناریب شناخته شده

در این رابطه  $M$  نرخ سوخت و ساز بدن،  $W$ : خروجی کار فیزیکی،  $R$ : تابش خالص بدن،  $C$ : جریان حرارت همرفتی،  $E_D$ : جریان حرارت نهان تبخیری آب از پوست،  $E_{Re}$ : مجموع جریان های حرارتی موثر در گرمایش، تبخیر و تعریق و  $E_{sw}$ : جریان هوای موثر در تبخیر و تعریق بدن می باشد. در این معادله واحد همه عبارت ها بر حسب وات بوده و معمولا  $M$  مثبت و  $E_D$ ،  $W$  و  $E_{sw}$  اغلب منفی است. اگر بدن انسان در حال کسب انرژی باشد معادله تماما مثبت و اگر در حال از دست دادن انرژی باشد عبارت های معادله منفی خواهد بود.

شاخص PET یکی از پرکاربردترین شاخص های دما- فیزیولوژیک می باشد که از معادله بیلان انرژی بدن انسان مشتق شده است. مزیت اصلی این شاخص آرایه بر حسب واحد سلسیوس است که نتایج به دست آمده را برای برنامه ریزان که ممکن است از اصطلاح های اقلیم شناسی اطلاعی نداشته باشند، قابل درک می کند. در تعریف این روش برای نرخ سوخت و ساز با کار سبک و میزان عایق حرارتی لباس به ترتیب اعداد ۸۰ وات و ۰/۹ کلو به طور میانگین در نظر گرفته شده است [۲۱]. داده های مورد نیاز برای محاسبه شاخص PET را می توان در چهار دسته از متغیرها بدین شرح ارائه کرد: دسته نخست شامل متغیرهای موقعیتی است، همچون طول و عرض و ارتفاع، دسته دوم عناصر اقلیمی شامل دمای هوای خشک، فشار بخار آب، رطوبت نسبی، سرعت باد و میزان ابرناکی ست، دسته سوم متغیرهای فردی شامل ویژگی های فیزیولوژیک موثر همچون قد، وزن، سن و جنسیت است و دسته چهارم متغیرهای مربوط به نوع پوشش و فعالیت است.

جدول ۲. آستانه‌های تنش حرارتی شاخص PET

| PET (°C) | درجه تنش فیزیولوژیکی  | حساسیت حرارتی |
|----------|-----------------------|---------------|
| <۴       | تنش سرمایی بسیار زیاد | بسیار سرد     |
| ۴-۸      | تنش سرمایی زیاد       | سرد           |
| ۸-۱۳     | تنش سرمایی متوسط      | خنک           |
| ۱۳-۱۸    | تنش سرمایی اندک       | کمی خنک       |
| ۱۸-۲۳    | بدون تنش              | آسایش         |
| ۲۳-۲۹    | تنش گرمایی اندک       | کمی گرم       |
| ۲۹-۳۵    | تنش گرمایی متوسط      | گرم           |
| ۳۵-۴۱    | تنش گرمایی زیاد       | داغ           |
| >۴۱      | تنش گرمایی بسیار زیاد | بسیار داغ     |

نقاط با مختصات معلوم، مقدار واریانس را به حداقل می‌رساند [۲۹، ۳۰]. همچنین جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در این مطالعه از نرم افزار ArcGIS10.3 استفاده شد. معیار خروج بدین صورت است که، با توجه به اینکه ممکن است در ایستگاه‌های انتخابی داده‌های طولانی مدت ثبت نشده باشد یا اینکه داده‌های یک ایستگاه ناقص باشد، می‌توان یک ایستگاه در همان طبقه بندی اقلیمی را جایگزین نمود.

### تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه، از نرم‌افزار RayMan (نسخه ۲،۱) جهت محاسبه شاخص PET به صورت روزانه، از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۶) برای تحلیل آماری داده‌ها، و همچنین از نرم‌افزار Microsoft Excel (نسخه ۲۰۱۹) جهت توصیف و مرتب‌سازی داده‌ها استفاده شد.

### یافته‌ها

توجه به نتایج بدست آمده، ۲۱ ایستگاه مورد مطالعه در اقلیم خشک، ۱۹ ایستگاه دارای اقلیم نیمه خشک، ۲ ایستگاه برای اقلیم مدیترانه‌ای، ۳ ایستگاه نماینده اقلیم بسیار مرطوب، ۳ ایستگاه دارای اقلیم مرطوب و ۱ ایستگاه دارای اقلیم نیمه مرطوب قرار داشت. به بیان دیگر، مطابق این ناحیه‌بندی ۴۳٪ ایستگاه‌های تحت بررسی در ناحیه خشک، ۳۹٪ در ناحیه نیمه خشک، ۶٪ در ناحیه مرطوب، ۶٪ در ناحیه بسیار مرطوب، ۲٪ در ناحیه نیمه مرطوب و ۴٪ در ناحیه مدیترانه‌ای واقع

است. فرض کنید مقدار متغیر  $z$  در  $n$  نقطه اندازه‌گیری شده است (رابطه ۲) [۲۸]:

$$Z=(Z(x_1); Z(x_2); \dots Z(X_n)) \quad (2)$$

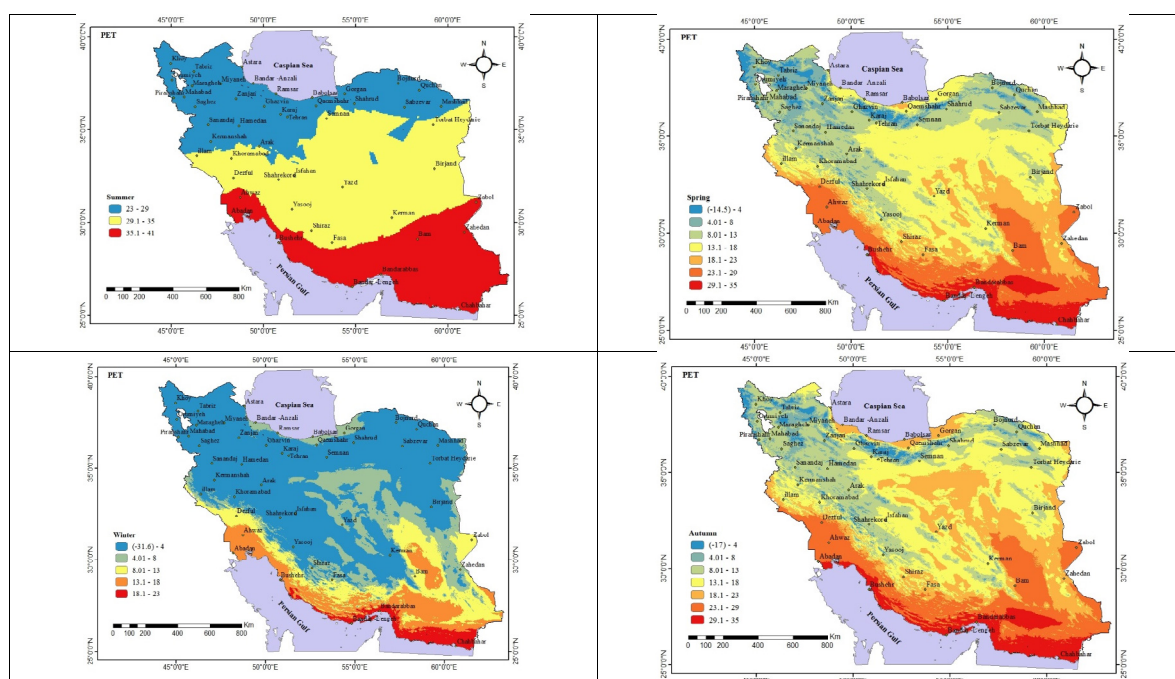
تخمین  $Z$  در نقطه  $X_0$  توسط تخمین زن کریجینگ از طرق رابطه ۳ بیان می‌شود:

$$Z^*(x_0) = \sum z(x_i) \quad (3)$$

مهمترین قسمت در کریجینگ، یافتن وزنهای  $\lambda_i$  است. جهت ناریب بودن تخمین‌ها، این وزن‌ها باید به نحوی تعیین شوند که مجموع آنها برابر ۱ باشد، یعنی  $\sum \lambda_i = 1$ . همچنین برای دقیق بودن تخمین‌ها باید واریانس تخمین حداقل باشد، یعنی (رابطه ۴):

$$\text{Var}[z^*(x_0)] = E[(z^*(x_0) - z(x_0))^2] = \min \quad (4)$$

مطلق بودن تخمین در درون‌یابی، از ویژگی‌های عمده روش کریجینگ است. بدین مفهوم که مقدار تخمین کمیت در نقاط نمونه‌برداری با مقدار اندازه‌گیری شده برابر است و به همین دلیل واریانس تخمین صفر می‌شود. این ویژگی سبب می‌شود که تخمین‌گر کریجینگ در رسم خطوط هم‌ارزش از حداکثر نقاط نمونه‌برداری عبور نموده و تمایلی به بسته شدن و دور زدن نداشته باشد و از مرز محدوده مورد مطالعه فراتر نرود. به عبارت دیگر این مدل در تخمین کمیت مجهول



شکل ۲. پهنه بندی کشور ایران از نقطه نظر میانگین شاخص  $PET(^{\circ}C)$  در چهار فصل

بسیار شدید" بود. بطور کلی در فصل بهار، ۸ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۱۶/۳۲ درصد) در محدوده "استرس گرمایی شدید"، ۱۱ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲۲/۴۴ درصد) در محدوده "استرس گرمایی متوسط"، ۱۱ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲۲/۴۴ درصد) در محدوده "استرس گرمایی اندک"، ۹ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۱۸/۳۶ درصد) در محدوده "بدون استرس گرمایی"، ۲ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲/۰۸ درصد) در محدوده "استرس گرمایی اندک"، ۴ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۸/۱۶ درصد) در محدوده "استرس گرمایی متوسط" و ۳ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۶/۱۲ درصد) در محدوده "استرس گرمایی شدید" قرار داشت.

در فصل تابستان، بالاترین میانگین شاخص  $PET$  ثبت شده مربوط به ایستگاه بندرعباس ( $44/57^{\circ}C$ ) و در محدوده "استرس گرمایی بسیار شدید" و کمترین میانگین شاخص  $PET$  ثبت شده مربوط به ایستگاه سقز ( $152/46^{\circ}C$ ) و در محدوده "استرس گرمایی اندک" بود. بطور کلی در فصل تابستان، ۶ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۱۲/۲۴ درصد) در محدوده "استرس گرمایی بسیار شدید"، ۸ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۱۶/۳۲ درصد) در محدوده "استرس گرمایی شدید"، ۱۴ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲۸/۵۷ درصد) در محدوده "استرس گرمایی متوسط"، ۶ ایستگاه

شده‌اند. موقعیت مکانی هر ایستگاه و پهنه بندی کشور ایران بر اساس میانگین شاخص طی دوره ۳۰ ساله در فصلهای بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب در شکل ۲ مشخص شده است. همانطوری که از شکل ۲ پیداست، پهنه بندی کشور ایران از نقطه نظر میانگین شاخص  $PET(^{\circ}C)$  در فصل بهار با توجه به اقلیم در نقاط مختلف کشور انجام گرفته است. در فصل تابستان تقریباً پهنه بندی کشور ایران به سه قسمت تقسیم شده است که این سه قسمت از نظر درجه تنش فیزیولوژیکی شامل تنش گرمایی اندک، تنش گرمایی متوسط و تنش گرمایی زیاد بود. در فصل تابستان تقریباً اغلب نقاط کشور دارای ریسک استرس گرمایی بالا بود. در فصل پاییز نیز مانند فصل بهار پهنه بندی کشور ایران از نقطه نظر میانگین شاخص  $PET(^{\circ}C)$  یا توجه به اقلیم های مختلف، متفاوت بود. همانطوری که از شکل ۲ پیداست، در فصل زمستان بیشتر نقاط کشور، بجز جنوب کشور دارای ریسک استرس گرمایی بالا بود.

در جدول ۳ میانگین شاخص  $PET$  در هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره ۳۰ ساله در فصل‌های مختلف کشور ارائه شده است. در فصل بهار، بالاترین میانگین شاخص  $PET$  ثبت شده مربوط به ایستگاه چابهار ( $36/88^{\circ}C$ ) و در محدوده "استرس گرمایی شدید" و کمترین میانگین شاخص  $PET$  ثبت شده مربوط به ایستگاه سقز ( $2/48^{\circ}C$ ) و در محدوده "استرس گرمایی

جدول ۳. میانگین شاخص PET در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره ۳۰ ساله در فصل‌های مختلف کشور

| ایستگاه    | فصل     | میانگین شاخص PET (°C) | درک حرارتی | استرس فیزیولوژیک        | ایستگاه  | فصل     | میانگین شاخص PET (°C) | درک حرارتی | استرس فیزیولوژیک        |
|------------|---------|-----------------------|------------|-------------------------|----------|---------|-----------------------|------------|-------------------------|
| آبادان     | بهار    | ۲۷/۲                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک #     | زاهدان   | بهار    | ۲۱/۵                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | تابستان | ۴۳/۱۱                 | داغ        | استرس گرمایی بسیار شدید |          | تابستان | ۳۴/۲                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|            | پاییز   | ۲۸/۵                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |          | پاییز   | ۱۹/۸                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | زمستان  | ۱۱/۵                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | زمستان  | ۵/۹۴                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
| اراک       | بهار    | ۱۵/۲                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       | زنجان    | بهار    | ۱۰/۵۷                 | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
|            | تابستان | ۳۳/۵                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |          | تابستان | ۲۶/۷                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |
|            | پاییز   | ۱۸/۳۵                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | پاییز   | ۱۲/۴                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
|            | زمستان  | ۲/۶                   | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |          | زمستان  | -۳/۹                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
| ارومیه     | بهار    | ۱۱/۴                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      | سبزوار   | بهار    | ۱۸/۱                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | تابستان | ۲۴/۷                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |          | تابستان | ۳۴/۷                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|            | پاییز   | ۱۲/۳                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | پاییز   | ۱۸/۱                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | زمستان  | -۳/۹۴                 | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |          | زمستان  | ۲/۸۷                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
| اصفهان     | بهار    | ۱۰/۲                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      | سقز      | بهار    | ۲/۴۸                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
|            | تابستان | ۳۲/۸                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | تابستان | ۱۵/۴۶                 | کمی خنک    | استرس گرمایی اندک       |
|            | پاییز   | ۱۰/۷۵                 | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | پاییز   | ۵/۷۳                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
|            | زمستان  | -۲/۲                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |          | زمستان  | -۷/۹۵                 | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
| اهواز      | بهار    | ۳۰/۸۳                 | گرم        | استرس گرمایی متوسط      | سمنان    | بهار    | ۲۱/۱                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | تابستان | ۴۷/۸                  | داغ        | استرس گرمایی بسیار شدید |          | تابستان | ۳۸/۷                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |
|            | پاییز   | ۳۲/۵                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | پاییز   | ۲۲/۳                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | زمستان  | ۱۴/۱۷                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | زمستان  | ۶/۶                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
| ایلام      | بهار    | ۱۶/۹                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       | سنندج    | بهار    | ۵/۹                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
|            | تابستان | ۳۵/۲                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |          | تابستان | ۲۰                    | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | پاییز   | ۲۰/۵                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | پاییز   | ۸/۷۳                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
|            | زمستان  | ۴/۷۵                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |          | زمستان  | -۴/۷۴                 | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
| آستارا     | بهار    | ۱۸                    | راحت       | بدون استرس سرمایی       | شاهرود   | بهار    | ۱۷/۹                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|            | تابستان | ۳۴/۹                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | تابستان | ۳۱/۴                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|            | پاییز   | ۲۱/۸                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | پاییز   | ۱۸/۹                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | زمستان  | ۷/۴۵                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |          | زمستان  | ۳/۹۵                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
|            | بهار    | ۲۱/۳۳                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       | شهرکرد   | بهار    | ۱۲/۳                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
| بابلسر     | تابستان | ۳۶/۴۵                 | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |          | تابستان | ۲۹/۷                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|            | پاییز   | ۲۵/۲۵                 | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |          | پاییز   | ۱۵                    | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|            | زمستان  | ۱۱/۰۳                 | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | زمستان  | -۰/۱۵                 | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
| بجنورد     | بهار    | ۵/۶                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       | شیراز    | بهار    | ۲۰/۳                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | تابستان | ۱۸/۱                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | تابستان | ۳۷/۴                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |
|            | پاییز   | ۷/۳                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       |          | پاییز   | ۲۲/۵                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |
|            | زمستان  | -۵/۳۶                 | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |          | زمستان  | ۸/۲                   | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
| بم         | بهار    | ۳۰/۵                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      | فسا      | بهار    | ۱۲/۴                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|            | تابستان | ۴۳/۳۵                 | داغ        | استرس گرمایی بسیار شدید |          | تابستان | ۲۵/۵                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |
|            | پاییز   | ۲۹/۱                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | پاییز   | ۱۲/۶                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|            | زمستان  | ۱۴/۷۶                 | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |          | زمستان  | ۲/۱۵                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
| بندر لنگه  | بهار    | ۳۴/۴                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      | قائم شهر | بهار    | ۹/۱۷                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
|            | تابستان | ۴۵/۲                  | داغ        | استرس گرمایی بسیار شدید |          | تابستان | ۲۰/۹                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | پاییز   | ۷۳/۳                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |          | پاییز   | ۱۳/۲                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|            | زمستان  | ۳۳/۱                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |          | زمستان  | ۱/۳۵                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
| بندر انزلی | بهار    | ۱۶                    | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       | قزوین    | بهار    | ۶/۵                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
|            | تابستان | ۳۲/۲۲                 | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | تابستان | ۱۹/۷                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|            | پاییز   | ۱۹/۱۷                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | پاییز   | ۸/۸۵                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
|            | زمستان  | ۵/۷۲                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |          | زمستان  | -۴/۹                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
| بندرعباس   | بهار    | ۳۵/۲                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       | قوچان    | بهار    | ۵/۷۲                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
|            | تابستان | ۴۴/۵۷                 | داغ        | استرس گرمایی بسیار شدید |          | تابستان | ۱۷/۷                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|            | پاییز   | ۳۵/۹                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |          | پاییز   | ۶/۸                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       |

جدول ۳. میانگین شاخص PET در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره ۳۰ ساله در فصل‌های مختلف کشور

| ایستگاه     | فصل     | میانگین شاخص PET (°C) | درک حرارتی | استرس فیزیولوژیکی       | ایستگاه  | فصل     | میانگین شاخص PET (°C) | درک حرارتی | استرس فیزیولوژیکی       |
|-------------|---------|-----------------------|------------|-------------------------|----------|---------|-----------------------|------------|-------------------------|
| بوشهر       | زمستان  | ۲۱/۷                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       | کرج      | بهار    | ۳۰/۱                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|             | بهار    | ۳۰/۱                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | تابستان | ۴۲/۳                  | داغ        | استرس گرمایی بسیار شدید |
|             | تابستان | ۴۲/۳                  | داغ        | استرس گرمایی بسیار شدید |          | پاییز   | ۳۲/۳۳                 | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|             | پاییز   | ۳۲/۳۳                 | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | زمستان  | ۱۵/۷                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|             | زمستان  | ۱۵/۷                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       | کرمان    | بهار    | ۱۸/۶۵                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
| بیرجند      | بهار    | ۱۸/۶۵                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | تابستان | ۳۱/۳۳                 | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|             | تابستان | ۳۱/۳۳                 | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | پاییز   | ۱۸/۲                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|             | پاییز   | ۱۸/۲                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | زمستان  | ۴/۰۵                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
|             | زمستان  | ۴/۰۵                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       | کرمانشاه | بهار    | ۵                     | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
| پیرانشهر    | بهار    | ۵                     | سرد        | استرس سرمایی شدید       |          | تابستان | ۱۹/۵۵                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|             | تابستان | ۱۹/۵۵                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | پاییز   | ۸/۳۸                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
|             | پاییز   | ۸/۳۸                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | زمستان  | -۶/۷۵                 | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
|             | زمستان  | -۶/۷۵                 | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید | گرگان    | بهار    | ۴/۷                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
| تبریز       | بهار    | ۴/۷                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       |          | تابستان | ۱۹/۱                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|             | تابستان | ۱۹/۱                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | پاییز   | ۷/۵                   | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
|             | پاییز   | ۷/۵                   | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | زمستان  | -۷/۷                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
|             | زمستان  | -۷/۷                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید | مرآغه    | بهار    | ۱۵/۲                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
| تربت حیدریه | بهار    | ۱۵/۲                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |          | تابستان | ۲۹/۱                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|             | تابستان | ۲۹/۱                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | پاییز   | ۱۵/۵۵                 | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|             | پاییز   | ۱۵/۵۵                 | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |          | زمستان  | ۱/۱۱                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
|             | زمستان  | ۱/۱۱                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید | مشهد     | بهار    | ۱۰/۶                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
| تهران       | بهار    | ۱۰/۶                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | تابستان | ۲۵/۴                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |
|             | تابستان | ۲۵/۴                  | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |          | پاییز   | ۱۲/۹                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
|             | پاییز   | ۱۲/۹                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | زمستان  | -۱/۵                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
|             | زمستان  | -۱/۵                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید | مهاباد   | بهار    | ۳۶/۸۸                 | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |
| چابهار      | بهار    | ۳۶/۸۸                 | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |          | تابستان | ۴۰/۱                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |
|             | تابستان | ۴۰/۱                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |          | پاییز   | ۳۶/۳                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |
|             | پاییز   | ۳۶/۳                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |          | زمستان  | ۲۶/۴                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|             | زمستان  | ۲۶/۴                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      | میانه    | بهار    | ۱۷/۶                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
| خرم اباد    | بهار    | ۱۷/۶                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |          | تابستان | ۳۶/۲                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |
|             | تابستان | ۳۶/۲                  | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |          | پاییز   | ۲۰/۳                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|             | پاییز   | ۲۰/۳                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | زمستان  | ۴/۶۵                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
|             | زمستان  | ۴/۶۵                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       | همدان    | بهار    | ۱۵/۶                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
| خوی         | بهار    | ۱۵/۶                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |          | تابستان | ۳۴/۶                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|             | تابستان | ۳۴/۶                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | پاییز   | ۱۸/۸۵                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|             | پاییز   | ۱۸/۸۵                 | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | زمستان  | ۰/۷۷                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
|             | زمستان  | ۰/۷۷                  | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید | یاسوج    | بهار    | ۱۹/۴                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
| دزفول       | بهار    | ۱۹/۴                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | تابستان | ۳۳/۷                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |
|             | تابستان | ۳۳/۷                  | گرم        | استرس گرمایی متوسط      |          | پاییز   | ۲۰/۵                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|             | پاییز   | ۲۰/۵                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | زمستان  | ۷/۸                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
|             | زمستان  | ۷/۸                   | سرد        | استرس سرمایی شدید       | یزد      | بهار    | ۸/۹۵                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |
| رامسر       | بهار    | ۸/۹۵                  | خنک        | استرس سرمایی متوسط      |          | تابستان | ۲۱/۱                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|             | تابستان | ۲۱/۱                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | پاییز   | ۱۴/۱                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |
|             | پاییز   | ۱۴/۱                  | کمی خنک    | استرس سرمایی اندک       |          | زمستان  | ۳                     | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید |
|             | زمستان  | ۳                     | خیلی سرد   | استرس سرمایی بسیار شدید | زابل     | بهار    | ۲۴/۴۷                 | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |
| زابل        | بهار    | ۲۴/۴۷                 | کمی گرم    | استرس گرمایی اندک       |          | تابستان | ۳۸/۸۲                 | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |
|             | تابستان | ۳۸/۸۲                 | خیلی گرم   | استرس گرمایی شدید       |          | پاییز   | ۲۱/۵                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |
|             | پاییز   | ۲۱/۵                  | راحت       | بدون استرس سرمایی       |          | زمستان  | ۷/۴۶                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |
|             | زمستان  | ۷/۴۶                  | سرد        | استرس سرمایی شدید       |          |         |                       |            |                         |

هواشناسی مورد بررسی (۱۲/۲۴ درصد) در محدوده "استرس گرمایی اندک" قرار داشت  
 "استرس گرمایی اندک"، ۱۲ ایستگاه هواشناسی مورد  
 بررسی (۲۴/۴۸ درصد) در محدوده "بدون استرس  
 گرمایی" و ۳ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۶/۱۲ درصد) در محدوده "استرس گرمایی شدید" و کمترین میانگین شاخص  
 در فصل پاییز، بالاترین میانگین شاخص PET ثبت  
 شده مربوط به ایستگاه چابهار (۳۶/۳ °C) و در محدوده

جدول ۴. فراوانی استرس فیزیولوژیکی در اقلیم‌های مختلف طی دوره ۳۰ ساله در فصول مختلف کشور ایران

| طبقه بندی اقلیمی<br>استرس<br>فیزیولوژیکی | اقلیم<br>خشک<br>(n=21) | اقلیم نیمه<br>خشک<br>(n=19) | اقلیم مدیترانه‌ای<br>(n=2) | اقلیم نیمه<br>مرطوب<br>(n=1) | اقلیم مرطوب<br>(n=3) | اقلیم بسیار<br>مرطوب<br>(n=3) |
|------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| فصل بهار                                 |                        |                             |                            |                              |                      |                               |
| استرس گرمایی بسیار<br>شدید               | ۰                      | ۰                           | ۱                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی شدید                        | ۰                      | ۷                           | ۰                          | ۰                            | ۲                    | ۰                             |
| استرس گرمایی متوسط                       | ۳                      | ۶                           | ۰                          | ۱                            | ۰                    | ۱                             |
| استرس گرمایی اندک                        | ۵                      | ۴                           | ۱                          | ۰                            | ۰                    | ۱                             |
| بدون استرس گرمایی                        | ۵                      | ۲                           | ۰                          | ۰                            | ۱                    | ۱                             |
| استرس گرمایی اندک                        | ۲                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی متوسط                       | ۴                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی شدید                        | ۲                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی بسیار<br>شدید               | ۰                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| فصل تابستان                              |                        |                             |                            |                              |                      |                               |
| استرس گرمایی بسیار<br>شدید               | ۰                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی شدید                        | ۰                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی متوسط                       | ۰                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی اندک                        | ۰                      | ۲                           | ۱                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| بدون استرس گرمایی                        | ۲                      | ۶                           | ۰                          | ۱                            | ۲                    | ۱                             |
| استرس گرمایی اندک                        | ۲                      | ۴                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی متوسط                       | ۷                      | ۵                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۲                             |
| استرس گرمایی شدید                        | ۴                      | ۲                           | ۱                          | ۰                            | ۱                    | ۰                             |
| استرس گرمایی بسیار<br>شدید               | ۶                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| فصل پاییز                                |                        |                             |                            |                              |                      |                               |
| استرس گرمایی بسیار<br>شدید               | ۰                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی شدید                        | ۰                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی متوسط                       | ۰                      | ۰                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی اندک                        | ۰                      | ۲                           | ۱                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| بدون استرس گرمایی                        | ۲                      | ۶                           | ۰                          | ۱                            | ۲                    | ۱                             |
| استرس گرمایی اندک                        | ۲                      | ۴                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۰                             |
| استرس گرمایی متوسط                       | ۷                      | ۵                           | ۰                          | ۰                            | ۰                    | ۲                             |

جدول ۴. فراوانی استرس فیزیولوژیکی در اقلیم‌های مختلف طی دوره ۳۰ ساله در فصول مختلف کشور ایران

| طبقه بندی اقلیمی        | اقلیم خشک (n=21) | اقلیم نیمه خشک (n=19) | اقلیم مدیترانه‌ای (n=2) | اقلیم نیمه مرطوب (n=1) | اقلیم مرطوب (n=3) | اقلیم بسیار مرطوب (n=3) |
|-------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
| استرس فیزیولوژیکی       |                  |                       |                         |                        |                   |                         |
| استرس گرمایی شدید       | ۴                | ۲                     | ۱                       | ۰                      | ۱                 | ۰                       |
| استرس گرمایی بسیار شدید | ۶                | ۰                     | ۰                       | ۰                      | ۰                 | ۰                       |
| فصل زمستان              |                  |                       |                         |                        |                   |                         |
| استرس گرمایی بسیار شدید | ۹                | ۱۶                    | ۰                       | ۱                      | ۲                 | ۱                       |
| استرس گرمایی شدید       | ۵                | ۲                     | ۲                       | ۰                      | ۰                 | ۲                       |
| استرس گرمایی متوسط      | ۱                | ۱                     | ۰                       | ۰                      | ۱                 | ۰                       |
| استرس گرمایی اندک       | ۲                | ۰                     | ۰                       | ۰                      | ۰                 | ۰                       |
| بدون استرس گرمایی       | ۲                | ۰                     | ۰                       | ۰                      | ۰                 | ۰                       |
| استرس گرمایی اندک       | ۱                | ۰                     | ۰                       | ۰                      | ۰                 | ۰                       |
| استرس گرمایی متوسط      | ۱                | ۰                     | ۰                       | ۰                      | ۰                 | ۰                       |
| استرس گرمایی شدید       | ۰                | ۰                     | ۰                       | ۰                      | ۰                 | ۰                       |
| استرس گرمایی بسیار شدید | ۰                | ۰                     | ۰                       | ۰                      | ۰                 | ۰                       |

در فصل زمستان، ۲۹ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۵۹/۱۸ درصد) در محدوده "استرس گرمایی بسیار شدید"، ۱۱ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲۲/۴۴ درصد) در محدوده "استرس گرمایی شدید"، ۳ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۶/۱۲ درصد) در محدوده "استرس گرمایی متوسط"، ۲ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۴/۰۸ درصد) در محدوده "استرس گرمایی اندک"، ۲ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۴/۰۸ درصد) در محدوده "بدون استرس گرمایی"، ۱ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲/۰۴ درصد) در محدوده "استرس گرمایی اندک" و ۱ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲/۰۴ درصد) در محدوده "استرس گرمایی متوسط" قرار داشت.

فراوانی استرس فیزیولوژیکی در اقلیم‌های مختلف طی دوره ۳۰ ساله در فصول مختلف کشور ایران در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیکی در اقلیم‌های مختلف طی دوره ۳۰ ساله در بین فصل‌های مختلف مربوط به اقلیم خشک و بعد از آن مربوط به اقلیم نیمه خشک بود. مطابق اطلاعات این جدول، بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیکی در اقلیم

PET ثبت شده مربوط به ایستگاه سقز ( $5/73^{\circ}\text{C}$ ) و در محدوده "استرس گرمایی شدید" بود. بطور کلی در فصل پاییز، ۴ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۸/۱۶ درصد) در محدوده "استرس گرمایی شدید"، ۱۳ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲۶/۵۳ درصد) در محدوده "استرس گرمایی متوسط"، ۱۰ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲۰/۴ درصد) در محدوده "استرس گرمایی اندک"، ۱۴ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۲۸/۵۷ درصد) در محدوده "بدون استرس گرمایی"، ۴ ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی (۸/۱۶ درصد) در محدوده "استرس گرمایی اندک"، ۲ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۴/۰۸ درصد) در محدوده "استرس گرمایی متوسط" و ۲ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی (۴/۰۸ درصد) در محدوده "استرس گرمایی شدید" قرار داشت.

در فصل زمستان، بالاترین میانگین شاخص PET ثبت شده مربوط به ایستگاه چابهار ( $26/4^{\circ}\text{C}$ ) و در محدوده "استرس گرمایی متوسط" و کمترین میانگین شاخص PET ثبت شده مربوط به ایستگاه سقز ( $-7/95^{\circ}\text{C}$ ) و در محدوده "استرس گرمایی بسیار شدید" بود. بطور کلی

و زمستان به ترتیب مربوط به ایستگاه چابهار ( $^{\circ}\text{C}$  ۳۶/۸۸) و در محدوده "استرس گرمایی شدید"، ایستگاه بندرعباس ( $^{\circ}\text{C}$  ۴۴/۵۷) و در محدوده "استرس گرمایی بسیار شدید"، ایستگاه چابهار ( $^{\circ}\text{C}$  ۳۶/۳) و در محدوده "استرس گرمایی شدید" و ایستگاه چابهار ( $^{\circ}\text{C}$  ۲۶/۴) و در محدوده "استرس گرمایی متوسط" بود. طبق نتایج بیان شده بالاترین میانگین شاخص PET ثبت شده بین فصول مربوط به فصل تابستان می‌باشد، بطوریکه از بین ۴۹ ایستگاه، ۳۴ ایستگاه یعنی تقریباً ۷۰ درصد ایستگاه‌ها در محدوده استرس گرمایی (بسیار شدید، شدید، متوسط و اندک) قرار داشتند. طبق مطالعه جلالی و همکاران (۲۰۲۰) با عنوان بررسی و پهنه‌بندی تنش‌های فیزیولوژیک حرارتی انسان در ایران، همسو با نتایج این مطالعه، از لحاظ شرایط بدون تنش حرارتی فروردین ماه، مطلوبترین شرایط آب و هوایی بدون تنش را داراست. در همین ارتباط دی ماه دارای تنش گرمایی است و بعد از آن مرداد ماه با تنش گرمایی، بدترین شرایط تنش فیزیولوژیک حرارتی آب و هوایی را دارا است [۳۱]. مطالعه منوچهری و همکاران مطالعه نشان داد که وضعیت اقلیم و شاخص دمای معادل فیزیولوژیک هر مکانی؛ متأثر از شرایط توپوگرافی آن می‌باشد و می‌توان از این شاخص به عنوان معیاری قابل اعتماد استفاده کرد [۳۲].

طبق مطالعه فلاح و همکاران (۲۰۱۹) با هدف استفاده از شاخص‌های زیست اقلیمی در ارزیابی آسایش حرارتی در فضای روباز بر اساس داده‌های هواشناسی در سه اقلیم مختلف ایران شد که عدم وجود آسایش حرارتی در محیط‌های روباز می‌تواند سبب بروز اختلالات و بیماری‌ها، تاثیر منفی بر بهره‌وری و عملکرد گردد و حتی از عواملی است که می‌تواند سبب مرگ و میر افراد گردد [۳۳]. لذا ارزیابی آن با توجه به موارد اشاره شده اهمیت زیادی دارد. زینالی و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی و پهنه‌بندی اقلیم توریستی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص PET پرداختند. نتیجه مطالعه آنها نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه، ماه‌های ژوئن و سپتامبر از شرایط بسیار مناسبی برخوردارند و ماه جولای و آگوست به غیر از چند شهر در بقیه قسمت‌های استان درجاتی متفاوتی از تنش گرمایی، از متوسط تا ضعیف حاکم است [۳۴]. همچنین مطالعه Maeda و همکاران بر روی ریسک فاکتورهای گرمزدگی بر روی کارگران جنگل نشان داد که میزان مرگ و میر در اثر گرمزدگی در ماه جولای و

خشک، نیمه خشک، مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب، مرطوب و بسیار مرطوب به ترتیب ۴۲/۸۵، ۳۸/۷۷، ۴/۰۸، ۲/۰۴، ۴/۱۲ و ۶/۱۲ درصد بود. همچنین کمترین فراوانی استرس فیزیولوژیک در اقلیم‌های مختلف طی دوره ۳۰ ساله در بین فصل‌ها مربوط به اقلیم نیمه مرطوب بود. مطابق نتایج جدول بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیک در اقلیم‌های مختلف در فصل بهار طی دوره ۳۰ ساله مربوط به اقلیم خشک (استرس گرمایی اندک، ۲۳/۸ درصد و بدون استرس گرمایی ۲۳/۸ درصد) و بعد از آن اقلیم نیمه خشک (استرس گرمایی شدید، ۳۶/۸۴ درصد و استرس گرمایی متوسط، ۳۱/۵۷) بود. کمترین فراوانی استرس فیزیولوژیک مربوط به اقلیم نیمه مرطوب بود. همچنین مطابق نتایج جدول بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیک در اقلیم‌های مختلف در فصل تابستان طی دوره ۳۰ ساله مربوط به اقلیم خشک (استرس گرمایی متوسط، ۳۳/۳۳ درصد و استرس گرمایی بسیار شدید، ۲۸/۵۷ درصد) و بعد از آن اقلیم نیمه خشک (بدون استرس گرمایی، ۳۱/۵۷ درصد و استرس گرمایی متوسط، ۲۶/۳۱ درصد) بود. کمترین فراوانی استرس فیزیولوژیک مربوط به اقلیم نیمه مرطوب (بدون استرس گرمایی) بود. بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیک در اقلیم‌های مختلف در فصل پاییز طی دوره ۳۰ ساله مربوط به اقلیم (بدون استرس گرمایی، ۳۳/۳۳ درصد) و بعد از آن اقلیم نیمه خشک (استرس گرمایی متوسط، ۳۶/۸۴ درصد) بود. کمترین فراوانی استرس فیزیولوژیک مربوط به اقلیم نیمه مرطوب (استرس گرمایی اندک) بود. مطابق نتایج جدول بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیک در اقلیم‌های مختلف در فصل زمستان طی دوره ۳۰ ساله مربوط به اقلیم خشک (استرس گرمایی بسیار شدید، ۴۲/۸۵ درصد) و بعد از آن اقلیم نیمه خشک (استرس گرمایی بسیار شدید، ۸۴/۲۱ درصد) بود. کمترین فراوانی استرس فیزیولوژیک مربوط به اقلیم نیمه مرطوب (استرس گرمایی بسیار شدید) بود.

## بحث

مطالعه حاضر به ارزیابی ریسک استرس حرارتی استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک در کشور ایران با تنوع اقلیمی بالا از طریق تحلیل داده‌های هواشناسی در یک دوره ۳۰ ساله در چهار فصل پرداخت. طبق نتایج به دست آمده بالاترین میانگین شاخص PET ثبت شده در فصل بهار، تابستان، پاییز

آب و هوا مثل دما، بالاترین دمای روز، پایین ترین دمای شب و یا متوسط دمای روز نیز مشهود است. علت این ویژگی وجود ارتفاعات در شمال و غرب ایران و کاهش تدریجی زاویه تابش به سمت شمال است [۴۰]. تأثیر تغییرات آب و هوا بر ریسک شاخص گرما در ایران در آینده قابل توجه است. برای مقابله با این وضعیت مهم، ایجاد سیستم‌های هشدار دهنده زود هنگام و استراتژی‌های مراقبت‌های بهداشتی برای مقابله با رشد جمعیت و ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی قابل توجه در آینده ضروری است.

کمترین میانگین شاخص PET ثبت شده در تمامی فصول مربوط به به ایستگاه سقز بود. که مقادیر آن برای فصل بهار  $2/48^{\circ}\text{C}$  و در محدوده "استرس سرمایی بسیار شدید"، تابستان  $15/46^{\circ}\text{C}$  و در محدوده "استرس سرمایی اندک"، پاییز  $5/73^{\circ}\text{C}$  و در محدوده "استرس سرمایی شدید" و زمستان  $-7/95^{\circ}\text{C}$  و در محدوده "استرس سرمایی بسیار شدید" بود. طبق نتایج بیان شده کمترین میانگین شاخص PET ثبت شده بین فصول مربوط به فصل زمستان بود، بطوریکه از بین ۴۹ ایستگاه، ۳۹ ایستگاه (یعنی تقریباً ۸۰ درصد ایستگاه‌ها) در محدوده استرس سرمایی بسیار شدید و شدید قرار داشتند و تنها دو ایستگاه داری استرس گرمایی اندک و متوسط بود. در فصل پاییز نیز از بین ۴۹ ایستگاه، ۲۷ ایستگاه، یعنی تقریباً ۵۵ درصد ایستگاه‌ها در محدوده استرس سرمایی بسیار (شدید، متوسط و اندک) قرار داشتند. مطالعه اصغری و همکاران (۲۰۲۲)، با هدف تجزیه و تحلیل روند تغییرات استرس سرمایی با استفاده از شاخص THI در ایران در طول پاییز و زمستان نشان داد که، روند تغییرات پارامتر دما و شاخص دما-رطوبت برای فصل پاییز و زمستان برای بیشتر شهرها روند افزایشی دارد. که تقریباً در بیش از نیمی از ایستگاه این روند افزایشی معنی دار بوده است که این موضوع نشان دهنده افزایش تدریجی دما و روند کاهشی رطوبت نسبی در کشور در بازه مورد مطالعه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) می باشد [۴۱]. افزایش دمای کره زمین سبب ایجاد تغییرات ژرف و وسیع در اقلیم‌های زمین و بروز تغییراتی در زمان و مکان پدیده‌های اقلیمی، از جمله استرس سرمایی، می‌شود. لذا شناخت توزیع زمانی و مکانی و احتمال وقوع استرس سرمایی به منظور جلوگیری و کاهش عواقب ناشی از استرس سرمایی امری ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه یارمرادی و همکاران (۲۰۱۸) با هدف تحلیل امواج سرمایی مخاطره‌آمیز شمال شرق کشور ایران طی

آگوست (فصل تابستان) بیشتر از ماه‌های دیگر می‌باشد که نشان می‌دهد که میزان مواجهه کارگران در فصل تابستان قابل توجه می‌باشد [۳۵]. مطالعه مدرس و همکاران بر روی استرس گرمایی آتی ناشی از تغییرات آب و هوایی بر سلامت جمعیت ایران نشان داد که استفاده از سناریوهای مختلف تغییر وضعیت آب و هوا نشان می‌دهد که شاخص گرما از آستانه خطر برای سازگاری انسان در آینده در کشور فراتر خواهد رفت [۳۶]. مطالعه Cox و همکاران در سال ۲۰۱۵، در پژوهشی اثر گرمایشی جهانی بر تغییرات انرژی در نواحی مدیترانه با استفاده از مدل گردش عمومی هوا شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که میانگین روزانه دما روند افزایشی به میزان ۱ تا ۲ درجه سانتیگراد دارد که روی انرژی مصرفی سرمایش اماکن اثر بسزایی داراست [۳۷]. مطالعه حیدری و همکاران با هدف بررسی شرایط محیط‌های شغلی در فضای باز و استرس گرمایی در ایران انجام گرفت، بیان داشت استرس گرمایی، به ویژه در مناطق مرکزی و جنوبی ایران، می‌تواند در دهه‌های آینده افزایش و تشدید شود. لذا ضروری است سیاست و برنامه‌های لازم در این خصوص بکار گرفته شود [۳۸]. مطالعه ثناگر و همکاران با هدف بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی ناشی از موج گرما بر آسایش حرارتی بیرونی در شهر مشهد نشان داد که شاخص مورد استفاده دمای معادل فیزیولوژیکی به عنوان پراستفاده‌ترین شاخص سنجش آسایش حرارتی بیرونی است [۳۹]. نتایج این مطالعه همسو با نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی و تأثیرات موج گرما در در ماه‌های تیر و مرداد (فصل تابستان) بر روی آسایش حرارتی بیرونی افراد تأثیر گذاشته است و سبب شده تا در این ماه‌ها، سلامت انسان‌ها بیشتر به خطر بیافتد. همچنین بررسی‌های تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در فصل زمستان نشان داد که که میزان گرم شدن این فصل روند سریعی را در پیش گرفته است، به‌طوری‌که در طی ده سال میزان آسایش حرارتی بیرونی به میزان  $1/4^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد در اسفند ماه افزایش داشته است، این عدد در فصل تابستان و تیرماه به عدد  $1/1^{\circ}\text{C}$  می‌رسد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که فصول سرد به سمت گرم‌تر شدن پیش می‌روند. در یک دیدگاه کلی، مقادیر دمای ایران از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که بالاترین دماها در نواحی جنوبی کشور و پایین ترین آنها، در نیمه شمالی کشور دیده می‌شود. این وضعیت در تمام متغیرهای مربوط به

ارتفاعات حکم فرماست. در نواحی جنوبی، با وجود هوای مرطوبی که در سرتاسر این منطقه حاکم است، میزان حرارت بالاست، به طوری که حداکثر گرما در خوزستان به ۵۴ درجه سانتیگراد نیز می‌رسد. از ویژگی‌های این ناحیه تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل است و اختلاف درجه حرارت در فصول مختلف و شب و روز زیاد نیست. به سبب وجود کوه‌های البرز در شمال و رشته کوه‌های زاگرس در غرب کشور، نواحی داخلی فلات ایران دارای آب و هوای خشک و بیابانی است. با توجه به مطالب بالا، سه نوع آب و هوا به طور کلی در ایران دیده می‌شود: آب و هوای بیابانی و نیمه بیابانی، آب و هوای معتدل کوهستانی و آب و هوای معتدل خزی [۲۴].

بیشینه گرمایش سطح زمین از سال ۱۸۵۰ میلادی تاکنون در سه دهه گذشته دیده شده است. در ۱۴۰۰ سال گذشته، دوره ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۲ گرم‌ترین دوره ۳۰ ساله در نیمکره شمالی بوده است. روند خطی میانگین داده‌ها سطح زمین و اقیانوس نشان دهنده افزایش دمای بین ۰/۸۵ الی ۲ درجه سلسیوس در طول دوره زمانی ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ است [۴۵]. گرمایش جهانی باعث افزایش بزرگی و شدت رخدادهای شدید آب و هوایی در مناطق مختلف زمین همانند خشکسالی، امواج گرما، سیلاب‌های گرمسیری، سیل و آتش سوزی شده است [۴۶]. مطالعه مروری بالینی Patz و همکاران در سال ۲۰۱۶ در ارتباط با اثرات تغییرات آب و هوا و سلامت انسان نشان داد که تغییرات آب و هوایی یکی از بزرگترین چالش‌های اقتصادی و محیطی در ارتباط با عدالت سلامت در عصر حاضر می‌باشد. با این وجود که کشورهای ثروتمند قسمت اعظم انرژی را مصرف می‌کنند و مسئولیت گرم شدن کره زمین را دارند، اما بیشترین خطر معطوف به کشورهای فقیر می‌باشد. تغییر اقلیم به عنوان یک چالش جهانی است که اثرات آن در مقیاس محلی و بر اساس ویژگی‌های مکانی هر منطقه متفاوت است [۴۶]. در چند دهه گذشته، در بسیاری از نقاط جهان افزایش میانگین دما به یک روند عادی تبدیل شده است. نرخ افزایش دما در سطح خشکی‌ها نسبت به سطح اقیانوس‌ها در هر دو نیمکره بسیار سریعتر بوده است [۴۷].

در این مطالعه برای جمع‌آوری اطلاعات و محاسبه میزان شاخص‌های منتخب از داده‌های هواشناسی استفاده می‌گردد. داده‌های هواشناسی این مزیت را دارند که به‌صورت پیوسته ثبت شده و یک بانک داده جامع، ارزان و دقیق را در شرایطی اختیار ما قرار می‌دهند که امکان دسترسی به پارامترهای هواشناسی و محاسبه

دوره آماری سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ انجام گرفت. نتایج بررسی ۱۹ موج سرمایی با شدت‌های متفاوت، شناسایی و موج سرمای دسامبر ۲۰۰۳ به‌عنوان شدیدترین نمونه مطالعاتی نشان داد [۴۲]. در مطالعه دیگری با هدف واکاوی مکانی زمانی روند شاخص گرمایش و سرمایش ماهانه در ایران در سال ۲۰۱۶ نشان دهنده بروز روند شاخص‌های منفی شدت گرمایش در پاره‌ای از نقاط کوهستانی نیز کاهش دما در این مناطق را نمایان می‌سازد. از لحاظ شدت سرمایش نیز در ماه‌های آذر و اسفند در بلندی‌های کشور شاهد کاهش دمای هوا می‌باشیم [۴۳]. مطالعه رنجبر و همکاران با هدف برآورد توزیع زمانی رخداد تنش‌های گرمایی و سرمایی شدید در فضای باز در شهر تهران، نشان داد که تنش‌هایی سرمایی بسیار شدید در ماه‌های فصل زمستان (دسامبر، ژانویه و فوریه)، آخرین ماه از فصل پاییز (نوامبر) و اولین ماه از فصل بهار (مارس) بوده است. همچنین شرایط نامطلوب در فضای باز تنش‌های سرمایی بسیار شدید در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر از ساعت ۸ غروب تا ساعت ۸ صبح مشاهده شد [۴۴].

با توجه به نتایج بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیکی در اقلیم‌های مختلف طی دوره ۳۰ ساله در بین فصل‌های مختلف مربوط به اقلیم خشک (۴۲/۸۵ درصد) و بعد از آن اقلیم نیمه خشک (۳۸/۷۷) بود. بیشترین فراوانی سطح ریسک مربوط به استرس حرارتی در فصل تابستان و بیشترین فراوانی سطح ریسک مربوط به استرس سرمایی در فصل زمستان مربوط به اقلیم خشک و نیمه خشک بود که این موضوع نیز نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی استرس فیزیولوژیکی کشور در اقلیم‌های دارای ریسک مواجهه به استرس حرارتی می‌باشد. ارتفاع کوه‌های ایران بقدری بلند است که از تأثیر بادهای مرطوب دریای خزر، دریای مدیترانه و خلیج فارس در نواحی داخلی ایران جلوگیری می‌کند. به همین سبب، دامنه‌های خارجی این کوه‌ها دارای آب و هوای مرطوب بوده و دامنه‌های داخلی آن خشک است. در کرانه‌های جنوبی دریای خزر، آب و هوا معتدل و میزان بارندگی آن به ویژه در سواحل غربی گیلان بیشتر از دیگر نقاط است. مقدار متوسط گرمای سالانه در حدود ۱۸ درجه سانتیگراد است. آب و هوای قسمت غربی کشور مدیترانه‌ای است و در نواحی جنوبی آن، آب و هوای نیمه صحرایی گرم نیز بر آن تأثیر می‌گذارد. در این نواحی، تابستان‌ها با گرمای سختی در دره‌ها و هوای معتدل در ارتفاعات همراه بوده و در زمستان‌ها هوای معتدل در دره‌ها و سرمای سخت در

شاخص های با اهمیت در اغلب موارد وجود دارد [۴۸]. همچنین متغیرهایی مثل دمای خشک، دمای تر، میزان تابش های خورشیدی و رطوبت نسبی در اکثر ایستگاه های هواشناسی اندازه گیری می شوند و از این داده ها به راحتی می توان برای ارزیابی شرایط آسایش حرارتی در محیط های مختلف استفاده نمود. از سوی دیگر در اکثر مطالعات صورت گرفته همبستگی بالایی بین داده های اندازه گیری شده در مطالعات میدانی و داده های هواشناسی وجود دارد که خود دلیل محکمی برای چرایی استفاده از این داده ها برای مباحث محیطی می باشد [۴۹، ۵۰].

### نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که استرس حرارتی در فصل تابستان و استرس سرمایی در فصل زمستان در اقلیم های خشک و نیمه خشک کشور ایران بالاترین سطح ریسک را شامل می شود. بررسی شاخص PET در ۴۹ ایستگاه هواشناسی طی دوره سی ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۰) حاکی از آن بود که بالاترین میانگین PET در فصل تابستان و در شهرهای چابهار و بندرعباس قرار دارد، که بیشتر ایستگاه ها (۷۰٪) در دامنه استرس گرمایی فیزیولوژیک (بسیار شدید، شدید، متوسط و اندک) جایگرفته اند.

همچنین، تحلیل فراوانی استرس فیزیولوژیکی در طی ۳۰ سال نشان داد که اقلیم های خشک و نیمه خشک بیشترین آسیب پذیری را در برابر تغییرات اقلیمی و استرس حرارتی دارند. این یافته ها تأکید می کنند که برنامه ریزی و اجرای استراتژی های حفاظتی و کنترلی برای کاهش آسیب پذیری افراد ساکن و شاغل در این مناطق ضروری است.

بطور کلی با توجه به نتایج بدست آمده، ریسک استرس حرارتی طی دوره سی ساله در کشور ایران با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک در فصل تابستان بالا ارزیابی شد. لذا ارائه یک برنامه کاربردی جهت کاهش ریسک مواجهه با استرس حرارتی در شاغلین فضای روباز نسبت تغییرات اقلیم امری واجب می باشد. با توجه به نتایج بدست آمده، لزوم آگاهی از تغییرات آب و هوایی در فصل و اقلیم های مختلف و اثرات آنها ضروری می باشد. لذا به منظور برنامه ریزی جهت مدیریت و ارزیابی ریسک در ارتباط با جوامع، بوم سامانه ها و زیرساخت ها از طریق استراتژی های سازگاری و کاهش آثار سوء تغییر اقلیم استفاده از اطلاعات بدست

آمده می تواند کاربردی باشد.

از نتایج این مطالعه می توان در مدیریت کلان کشور، به روزرسانی استانداردها و حدود مجاز مواجهه شغلی، و برنامه ریزی در وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و همچنین وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی استفاده کرد. این ارزیابی می تواند به عنوان ابزاری قابل اعتماد برای تعیین اولویت های عملیاتی و توسعه سیاست های کاهش آسیب پذیری جوامع محلی در برابر تغییرات اقلیمی و استرس حرارتی عمل کند.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می دانند که از سازمان هواشناسی ایران برای ارائه داده های هواشناسی قدرانی و تشکر بعمل آورند.

### حمایت مالی

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی ایران با کد ۲۵۸۰۵ است که با حمایت مالی این دانشگاه انجام شده است.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان این مقاله اعلام می کنند که تمامی ملاحظات اخلاقی شامل رعایت موضوعاتی چون سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار علمی، جعل داده ها، انتشار و ارسال مجدد یا مکرر مقاله، به دقت رعایت شده است. همچنین تضمین می گردد که این مطالعه دارای هیچ گونه تداخل منافی نبوده و تمامی یافته ها به صورت شفاف و بدون کم و کاست گزارش شده اند.

### کد اخلاق

تاییدیه اخلاقی این مطالعه از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی ایران با کد IR.IUMS.REC.1403.144 اخذ شده است.

### تضاد منافع

نویسندگان تصریح می کنند که هیچگونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

### مشارکت نویسندگان

طراحی مطالعه، نظارت و مدیریت پروژه: م. الف. - س. ف. د. طراحی مطالعه و منابع مالی: ح. ص. پ.

7. Jafari, M.J., et al., *Relationship between heat stress exposure and some immunological parameters among foundry workers*. International journal of biometeorology, 2020. **64**(5): p. 853-861.
8. Nassiri, P., et al., *Modeling heat stress changes based on wet-bulb globe temperature in respect to global warming*. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2020. **18**(2): p. 441-450.
9. Akhlaghi Pirposhte, E., et al., *Investigating the relationship between heat stress and workers' blood parameters in a foundry*. 2019. **21**(6): p. 618-627.
10. Wang, P., et al., *Rice exposure to cold stress in China: how has its spatial pattern changed under climate change?* European journal of agronomy, 2019. **103**: p. 73-79.
11. Dashti, A., et al., *A comprehensive study on wintertime outdoor thermal comfort of blue-green infrastructure in an arid climate: A case of Isfahan, Iran*. Sustainable Cities and Society, 2024. **113**: p. 105658.
12. Masoudian, S.A., et al., *Forecasting average daily temperature in the southern coast of the Caspian sea and its relationship with geopotential height*. Geography and Environmental Planning (University of Isfahan), 2017. **28**(2 (66)): p. -.
13. Saedpanah, K., et al., *Study of Exposure to Cold Stress and Physiological Responses in Auto Mechanics in Hamadan, Iran*. Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume, 2017. **4**(2): p. 7-17.
14. Komulainen, S., et al., *Blood pressure responses to whole-body cold exposure: effect of metoprolol*. Journal of human hypertension, 2004. **18**(12): p. 905-906.
15. Fallah Ghalhar, G., S. Farhang Dehghan, and M. Asghari, *Trend analysis of Humidex as a heat discomfort index using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests*. Environmental Health Engineering And Management Journal, 2022. **9**(2): p. 165-176.
16. Zafarmandi, S., A. Matzarakis, and L. Norford, *Effects of clothing's thermal insulation on outdoor thermal comfort and thermal sensation: A case study in Tehran, Iran*. Sustainable Cities and Society, 2024. **100**: p. 104988.
17. Ghalhari, G.F., et al., *Consistency assessment between summer simmer index and other heat stress indices (WBGT and Humidex) in Iran's climates*. Urban Climate, 2022. **43**: p. 101178.
18. Asghari, M., et al., *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**: p. S57-S64.
19. Ghalhari, G.F., et al., *Thermal comfort and heat stress indices for outdoor occupations over 15 years: a case study from Iran*. Weather, 2019. **74**: p. S40-S45.
20. Heidari, A., J. Davtalab, and M.A. Sargazi, *Effect of awning on thermal comfort adjustment in open urban space using PET and UTCI indexes: A case study of Sistan region in*

جمع آوری داده، غ.ف.ق-الف.الف.پ-ف.ش-م.ع.  
تهیه نسخه اولیه مقاله: م. الف.-س. ف.-د. الف.  
الف.پ.

مرور و تایید نسخه نهایی مقاله: همه نویسندگان

## دسترسی آزاد

کپی‌رایت نویسنده(ها) ©2024: این مقاله تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 اجازه استفاده، اشتراک‌گذاری، اقتباس، توزیع و تکثیر را در هر رسانه یا قالبی مشروط بر درج نحوه دقیق دسترسی به مجوز CC، منوط به ذکر تغییرات احتمالی بر روی مقاله می‌داند. لذا به استناد مجوز یادشده، درج هرگونه تغییرات در تصاویر، منابع و ارجاعات یا سایر مطالب از اشخاص ثالث در این مقاله باید در این مجوز گنجانده شود، مگر اینکه در راستای اعتبار مقاله به اشکال دیگری مشخص شده باشد. در صورت درج نکردن مطالب مذکور و یا استفاده فراتر از مجوز بالا، نویسنده ملزم به دریافت مجوز حق نسخه‌برداری از شخص ثالث است.  
به‌منظور مشاهده مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution 4.0 به نشانی زیر مراجعه شود:  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

## بیانیه در دسترس بودن داده‌ها

مجموعه داده ارائه شده در این مطالعه، از طریق ارسال به درخواست منطقی به نویسنده مسئول پس از انتشار مقاله در دسترس است.

## REFERENCES

1. de Freitas, C.R., *Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector*. international Journal of Biometeorology, 2003. **48**(1): p. 45-54.
2. Heidari, S. and S. Ghafari Jabari, *Comfort Zone of Cold Climate in Iran*. Honar-Ha-Ye-Ziba: Memory Va Shahrzazi, 2010. **2**(44): p. 37-42.
3. Babaei, O. and B. Alijani, *Spatial Analysis of Long Duration Droughts in Iran*. J Physical Geography Research Quarterly. 2013. **45**(3): p. 1-12.
4. Krishnamurthy, M., et al., *Occupational heat stress impacts on health and productivity in a steel industry in Southern India*. 2017. **8**(1): p. 99-104.
5. Habibi, P., et al., *Diagnostic biomarkers of heat stress induced-dna in occupational exposure: A systematic review*. 2023. **12**(4): p. 800-819.
6. Pecelj, M.M., et al., *Analysis of the Universal Thermal Climate Index during heat waves in Serbia*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2020. **20**(7): p. 2021-2036.

- Journal of Geographical Engineering of Territory, 2018. **1**(2): p. 31-47 (in Persian).
35. Maeda, T., et al., *Risk factors for heatstroke among Japanese forestry workers*. 2006. **48**(4): p. 223-229.
36. Modarres, R., et al., *Future heat stress arising from climate change on Iran's population health*. 2018. **62**(7): p. 1275-1281.
37. Cox, R.A., et al., *Simple future weather files for estimating heating and cooling demand*. Building and Environment, 2015. **83**: p. 104-114.
38. Heidari, H., et al., *Outdoor occupational environments and heat stress in IRAN*. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2015. **13**: p. 1-8.
39. Sanagar Darbani, E., et al., *Climate Change Impact Assessment on Outdoor Thermal Comfort Changes Using Physiological Equivalent Temperature (PET) Index in Mashhad*. Geographical Researches, 2018. **33**(3): p. 38-57.
40. Masoudian, A.J.S., *Study of Iranian temperatures in the recent half-century*. Geogr. 2005. **54**: p. 29-45.
41. Asghari, M., et al., *Spatio-Temporal Evolution of the Thermo-Hygro-metric Index (THI) during Cold Seasons: A Trend Analysis Study in Iran*. Sustainability, 2022. **14**(24): p. 16774.
42. Yarmoradi, Z., B. Nasiri, and M. Karampor, *Synoptic Analysis of Cold Waves of North East, Risky Sea Level Pressure Patterns and Level of 500 hPa*. Journal of Applied Climatology, 2016. **3**(1): p. 0-0.
43. Reza Ebrahimi, K.O., Maryam Malek Mirzaei *Spatial-temporal analysis of the trend of monthly heating and cooling index in Iran*. Nivar, 2016. **40**(94): p. 25-34.
44. Ranjbar, A., et al., *Estimation of Time distribution of occurrence of Heat and cold stresses in Tehran City (Case Study: Area 9)*. Journal of Climate Research, 2020. **1399**(42): p. 1-15.
45. Stocker, T.F., et al., *Climate change 2013: The physical science basis*. 2013. **1535**.
46. Leonard, M., et al., *A compound event framework for understanding extreme impacts*. 2014. **5**(1): p. 113-128.
47. Solomon, S., et al., *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC*. Vol. 4. 2007: Cambridge university press.
48. Heidari, H., et al., *Validation of air enthalpy in evaluation of heat stress using wet bulb globe temperature (WBGT) and body core temperature: A case study in a hot and dry climate*. Health and Safety at Work, 2018. **8**(1): p. 81-92.
49. Nassiri, P., et al., *Exposure to heat stress in the workplace: A systematic review*. Iran Occupational Health, 2018. **15**(2).
50. Nassiri, P., et al., *Applicability of Modified discomfort index (MDI) in Outdoor occupational environments: a case study of an open pit mines in Tehran Province*. Iran Occupational Health, 2018. **15**(1): p. 136-145.
- Iran. Sustainable Cities and Society*, 2024. **101**: p. 105175.
21. Fallah Ghalhari, G., R. Esmaili, and F. Shakeri, *Assessing the seasonal variability of thermal stresses during the last half century in some climatic zones of Iran*. Iranian Journal of Health and Environment, 2016. **9**(2): p. 233-246.
22. Kotlyakov, V.M. and A. Komarova, *Elsevier's Dictionary of Geography*. Elsevier, 2007.
23. Ghalhari, G.F., et al., *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*. Journal of Environmental Health and Sustainable Development, 2021.
24. Kovats, R.S. and S.J.A.R.P.H. Hajat, *Heat stress and public health: a critical review*. 2008. **29**: p. 41-55.
25. Heshmati, G., *Vegetation characteristics of four ecological zones of Iran*. International Journal of plant production, 2007. **1**(2): p. 25-224.
26. ZOU, A.H., *Determination of Suitable Calendar for Tourism in Tabriz with using the Thermo-physiological Indices (PET and PMV)*. 2008.
27. Zare, S., et al., *Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year*. Weather and climate extremes, 2018. **19**: p. 49-57.
28. Zandkarimi, A., D. Mokhtari, and S. Zandkarimi, *The spatial analysis and optimization of rain gauging station network in Kurdistan Province using the Kriging Error Variance*. Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 2018. **27**(105): p. 115-126.
29. Zhu, P., L. Zhang, and K. Liew, *Geometrically nonlinear thermomechanical analysis of moderately thick functionally graded plates using a local Petrov-Galerkin approach with moving Kriging interpolation*. Composite Structures, 2014. **107**: p. 298-314.
30. Jalali, G., et al., *Comparison of Geostatistical Methods for Mapping the Spatial Distribution of Some Nutrients in the East of Mazandaran Province*. Iranian Journal of Soil Research, 2013. **27**(2): p. 195-204.
31. Jalali, M., et al., *Investigation and zoning of thermal physiological stresses in Iran*. 2020.
32. Manouchehri, F. and M. Parvin, *Investigating the tourism climate of Kermanshah province using Physiological Equivalent Temperature (PET) and Tourism Comfort Climate (TCI) indices*. Physical Geography Quarterly, 2019. **12**(44): p. 119-138 (in Persian).
33. Ghalhari, G.A.F., et al., *Use of Becker and neurotic pressure bioclimatic indices in the assessment of thermal comfort in outdoor environments based on meteorological data: case study in three different climates of Iran*. Iran Occupational Health, 2019. **16**(1): p. 33-46.
34. Abdollahi, A.A., *Spatial analysis and assessment of Asia tourism climate index of East Azarbaijan province*.