ISSN: 2538-4384; Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(3):38-57

# Climate Change Impact Assessment on Outdoor Thermal Comfort Changes Using Physiological Equivalent Temperature (PET) Index in Mashhad

ARTICLE INFO

*Article Type*
Original Research

*Authors*
Sanagar Darbani E.[1] *MA,*
Rafieian M.[2] *PhD,*
Hanaee T.* *PhD,*
Monsefi Parapari D.[3] *PhD*

**How to cite this article**
Sanagar Darbani E, Rafieian M, Hanaee T, Monsefi Parapari D. Climate Change Impact Assessment on Outdoor Thermal Comfort Changes Using Physiological Equivalent Temperature (PET) Index in Mashhad. Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(3):38-57.

*Department of Urbanism, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
[1]Department of Urbanism, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
[2]Department of Urbanism, Faculty of Arts, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[3]Department of Architecture, Faculty of Architecture & Urbanism, Shahrood University Technology, Shahrood, Iran

***Correspondence***
*Address*: Floor 1, NO. 19, Golestan Alley, Hashemieh 91.1, mashhad, Iran.
Postal Code: 9178146713
*Phone*: -
*Fax*: -
Toktamhanaee@yahoo.com

***Article History***
Received: April 14, 2018
Accepted: August 21, 2018
ePublished: December 09, 2018

ABSTRACT

**Introduction and Background** In recent decades, increasing earth heat lead to the death of thosands of people in the world. This situation cause urban planning meet a major climate change challenges which needs to mitigate its effects. Increasing in population and various related activities in different fields has led to problems such as wave heat throughout the world. In addition, changing the pattern of these changes and their unpredictability has increased in cities, thus concern about reducing and adapting to these hazards in different dimensions lead to pay more attention to urban life and promoting human health.

**Aims** The aim of this paper is to investigate effect of climate change which is caused by heat wave on outdoor thermal comfort in Mashhad city.

**Methodology** Data collection method was based on library studies and also data gathered from meteorological station of Mashhad in the period of 10 years (2017-2007). The analysis method was based on Rayman and Excell software in Mashhad and physiological equivalent temperature (PET) index was the most commonly used index for evaluating outdoor thermal comfort.

**Conclusion** Findings show that climate change and the effects of heat wave in Mashhad in July and August have affected the outdoor thermal comfort, which put human health at more risk in these months. Moreover, studies of outdoor thermal comfort changes in winter in this city shows that warming of these seasons experienced a rapid pace, so that over the past 10 years, outdoor thermal comfort has increased by +1.4°C in March, this number will reach 1.1+ in summer and July. Studies show that the summer and spring seasons of Mashhad are entering to the thermal stress range, while its cold seasons are becoming warmer and entering to outdoor thermal comfort range.

**Keywords** Climate Change; Outdoor Thermal Comfort; physiological equivalent temperature(PET); Mashhad

CITATION LINKS

[Akbari & Konopacki; 2004] Energy effects of heat-island ...; [Ali-Toudert; 2005] Dependence of outdoor thermal comfort ...; [Analitis, et al.; 2008] Effects of cold weather on mortality ...; [ASHRAE; 2009] Fundamentals, American society of ...; [ASHRAE; 2004] Fundamentals, American society of ...; [Cheung & Hart; 2014] Climate change and thermal comfort ...; [Cimellaro; 2016] Urban resilience for emergency ...; [Dai; 2014] The impact of urban form on thermal ...; [Djongyang, et al; 2010] Thermal comfort ...; [Draper & Richards; 2009] Dictionary for managing trees in ...; [Ebrahimzadeh & Esmaeil Negad; 2017] The future challenge of climatic refugees regional ...; [Erell, et al; 2010] Urban microclimate: Designing the ...; [Fallah Ghalhari, et al; 2016] Assessing the seasonal variability of thermal ...; [Fanger; 1970] Thermal comfort: Analysis and applications ...; [Hajat, et al.; 2006] Impact of high temperatures on mortality ...; [Hansen et al.; 2008] The effect of heat waves on mental ...; [Heidari & Monam; 2013] Evaluation of thermal comfort indices in ...; [Hensel; 1981] Thermoreception and Temperature ...; [Höppe; 2002] Different aspects of assessing indoor ...; [IPCC; 2007] Climate change synthesis report - summary ...; [Johansson; 2006] Influence of urban geometry on outdoor ...; [Karimian; 2013] Optimization of urban green space for the ...; [Linares & Dı´az; 2008] Impact of high temperatures on hospital ...; [Matzarakis, et al.; 2002] Radiation and thermal ...; [Matzarakis, et al.; 2010] Modelling radiation fluxes in simple ...; [Monsefi Parapari; 2015] Adaptation to climate change ...; [Morris; 2008] History of urban form ...; [Oliver; 2005] Encyclopedia of world ...; [Pirard et al.; 2005] Summary of the mortality...; [Prasad et al.; 2009] Climate resilient cities ...; [Qanbarzadeh & Behniafar; 2007] Fundemental of environmental ...; [Roaf, et al.; 2009] Adapting buildings and cities for ...; [Shams, et al.; 2014] Assessing climate conditions of Mashhad ...; [Szokolay; 2008] Architectural science the ...; [Taylor et al.; 2015] Mapping the effects of urban heat island ...; [Wilkinson; 2001] Cold comfort: The social and environmental ...; [Yang, Qet al.; 2016] Research on urban heat-island ...; [Yilmaz, et al.; 2013] The importance of thermal comfort in ...; [Yow; 2007] Urban heat Islands: Observations ...; [Zolfaghari; 2008] Determination of suitable calendar ...

*Copyright© 2018. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.*

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

**فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و سوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷، شماره پیاپی ۱۳۰**

**الهام ثناگر دربانی،** دانشجوی دکتری،گروه شهرسازی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، مشهد، ایران **Sanagar Darbani E. MA**

**دکتر مجتبی رفیعیان،** دانشیار، گروه شهرسازی، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران **Rafieian M. PhD**

**دکترتکتم حنایی،** استادیار،گروه شهرسازی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد، مشهد، ایران **Hanaee T. PhD**

**دکتردانیال منصفی پراپری،** استادیار،گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران **Monsefi Parapari D. PhD**

**Toktamhanaee@yahoo.com**

# ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر تغییرات آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی (PET) در شهر مشهد

دریافت مقاله:۹۷/۱/۲۵ پذیرش نهایی:۹۷/۵/۳۰

DOI: 10.29252/geores.33.3.38

## چکیده

**مقدمه:** در دهه‌های اخیر گرمایش زمین سبب مرگ هزاران نفر در جهان شده است. این امر سبب گردیده تا برنامه‌ریزی شهری با چالش عمده تغییرات اقلیمی و لزوم کاهش تأثیرات آن دست‌به‌گریبان شود. این امر سبب شده تا دغدغه‌های کاهش و انطباق با این مخاطرات در ابعاد مختلف زندگی شهری به سمت ارتقا سلامت انسان‌ها سوق پیدا نماید.

**اهداف:** تحقیق حاضر باهدف بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی ناشی از موج گرما برآسایش حرارتی بیرونی در شهر مشهد است.

**مواد و روش‌ها:** روش گردآوری اطلاعات به‌صورت مطالعات کتابخانه‌ای و استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر مشهد در بازه زمانی ده‌ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۷) بوده است. روش تحلیل، استفاده از فن نرم‌افزارهای ریمن[1] و اکسل[2] در شهر مشهد است. شاخص مورداستفاده، دمای معادل فیزیولوژیکی[3] به‌عنوان پراستفاده‌ترین شاخص سنجش آسایش حرارتی بیرونی است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی و تأثیرات موج گرما در شهر مشهد در ماه‌های تیر و مرداد بر روی آسایش حرارتی بیرونی 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 این شهر نشان می‌دهد که میزان گرم شدن این فصول روند سریعی را در پیش‌گرفته است، به‌طوری‌که در طی ده سال میزان آسایش حرارتی بیرونی به میزان ۱/۴+ درجه سانتی‌گراد در اسفندماه افزایش داشته است، این عدد در فصل تابستان و تیرماه به عدد ۱/۱+ می‌رسد. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که فصول تابستان و بهار این شهر در حال ورود به محدوده تنش گرمایی است حال‌آنکه فصول سرد آن به سمت گرم‌تر شدن و ورود به محدوده آسایش حرارتی بیرونی است.

**واژگان کلیدی:** تغییرات اقلیمی، آسایش حرارتی بیرونی، دمای معادل فیزیولوژیکی (PET)، مشهد

1 Rayman
2 Excell
3 PET

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

**مقدمه**

مشاهدات متعدد و مدل‌سازی‌های مختلف تائید می‌کند که اقلیم زمین نسبت به گذشته، گرم‌تر شده است. این امر به‌نوبه خود بستر افزایش موج گرما در شهرها را به وجود آورده است (IPCC, 2007). گرمایش زمین سبب مرگ هزاران نفر در جهان شده است. یکی از دلایل مهم آن نیز ضعف شهرهای امروزی برای مقابله با افزایش گرما و پدیده‌های ناشی از آن است. درحالی‌که تغییرات مختلف و گرمای جهانی می‌تواند بر مناطق شهری اثر بگذارد، مناطق شهری نیز می‌توانند سبب تشدید این تغییرات شوند. امروزه بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و تمایل برای مهاجرت به شهرها در حال افزایش است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۶۱ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند. تمرکز جمعیت در محیط‌های شهری تأثیرات منفی و مثبتی را به دنبال خواهد داشت و میزان آسیب‌پذیری مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی را بیشتر خواهد کرد. رشد شهرنشینی از زوایای مختلف بر روی اقلیم تأثیر می‌گذارد؛ تغییراتی چون دما، رطوبت، تابش، سیل، کیفیت هوا و باد ازجمله این تأثیرات است (Monsefi Parapari, 2015). این افزایش دما با گذر از محدوده دمایی آسایش حرارتی بیرونی انسان، سبب بروز مشکلات عدیده‌ای در بخش سلامت انسان می‌شود.

با مروری بر پیشینه موضوع می‌توان دریافت که مطالعات حوزه آسایش حرارتی بیرونی بیشتر تمرکز بر روی بررسی آثار کاهش تأثیرات عوامل مختلف در راستای ارتقا آسایش حرارتی بیرونی می‌باشد. اینکه بالا گرفتن تغییرات اقلیمی تا چه حد بر روی آسایش حرارتی بیرونی تأثیرگذار بوده است، تاکنون در مطالعات داخلی ایران مورد غفلت واقع‌شده است. ازاین‌رو می‌توان گفت نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند به برنامه‌ریزان شهری نسبت به تغییرات ایجادشده در آسایش حرارتی بیرونی انسان اطلاعاتی ارائه نماید تا از این ره‌آورد میزان مداخلات و راهکارهای لازمه در جهت ایجاد برنامه‌های کاهش تغییرات اقلیمی ایجاد شود. این برنامه‌ها در لایه‌های مختلف شهری بایستی مورد تأکید قرار گیرد.

توجه به فرم‌های شهری مناسب هر اقلیم و برنامه‌ریزی‌های مختص آن بایستی مدنظر قرار گیرد، اما پیش از آن نیاز است تا میزان شدت تأثیرات تغییرات اقلیمی مدنظر قرار گیرد که تا چه مقدار این تأثیرات بر شهرها سلامت انسان‌ها تأثیرگذار خواهد بود. مطالعه حاضر به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر روی آسایش حرارتی بیرونی در شهر مشهد در دوره ده‌ساله ۲۰۱۷-۲۰۰۷ متمرکزشده است. در بخش اول به بررسی پیشینه پژوهش‌های انجام‌گرفته در حوزه موضوعی مقاله پرداخته‌شده است. سپس مبانی نظری با استفاده از مقالات، رساله‌ها و کتاب‌ها استخراج می‌شود. در بخش سوم با استفاده از شبیه‌سازی در نرم‌افزار ریمن[1] سعی در شناسایی تأثیرات روند تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی در خرد اقلیم و سلامت انسان شده است.

مطالعات نشان می‌دهد تاکنون بررسی‌های صورت گرفته در ارتباط با مطالعات حوزه تغییرات اقلیمی در ایران بیشتر معطوف به مطالعات وضعیت خشک‌سالی ازلحاظ کشاورزی و تأثیرات آن بوده است. مطالعه‌ای که روند تغییرات اقلیمی را از گذشته تاکنون بر روی آسایش حرارتی بیرونی ببیند، مشاهده نشد؛ لذا ضرورت ایجاب می‌کند تا روند تأثیر تغییرات اقلیمی بر سلامت و آسایش حرارتی بیرونی موردتوجه قرار گیرد.

مطالعات انجام‌شده در خارج از ایران نیز معطوف به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی از طریق شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی به‌عنوان رایج‌ترین شاخص سنجش آسایش حرارتی بیرونی نبوده است؛ ازاین‌رو در این پژوهش از این شاخص برای بررسی روند تأثیرات تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی استفاده‌شده است.

---

۱ مدلی است در جهت محاسبه تراکم شار تابشی، مدت‌زمان تابش آفتاب و سایه فضاها با استفاده از یکسری داده‌های ورودی منتج شده از اطلاعات هواشناسی محدودکه سنجش شاخص های آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از داده های اقلیمی توسط آن صورت می گیرد.

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

## پیشینه تحقیق

پژوهش‌های حوزه آسایش حرارتی بیرونی با پژوهش فازی علی تودرت[1] (۲۰۰۵) در حوزه ارتباط میان آسایش حرارتی بیرونی و خرد اقلیم مطرح می‌شود و پس‌ازآن توجه به ارتباطات آسایش حرارتی با هندسه شهری، فرم شهری، جزایر حرارتی و فضای سبز و تغییرات اقلیمی شکل می‌گیرد (Ali-Toudert, 2005).

در بررسی دیگری چئونگ و هارت[2] (۲۰۱۴) به بررسی تغییرات اقلیمی بر روی آسایش حرارتی بیرونی با استفاده از شاخص یو تی سی آی[3] پرداخته‌اند. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که در طی سال‌های ۲۰۶۵-۲۰۴۶ هنگ‌کنگ با استرس گرمایی مواجه خواهد شد و تا دوره زمانی ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به‌شدت افزایش می‌یابد (Cheung & Hart, 2014).

از مطالعات انجام‌شده در ادبیات جهانی در مورد ارتباط آسایش حرارتی بیرونی و تغییرات اقلیمی می‌توان به رساله دکتری منصفی (۲۰۱۵) اشاره کرد که به ذکر ارتباط این دو عامل پرداخته است. سپس با استفاده از بررسی هندسه شهری و طراحی شهری به‌وسیله نرم‌افزاران وی مت[4] و ریمن به بررسی تأثیرات این پارامترهای برآسایش حرارتی بیرونی صحبت کرده است (Monsefi Parapari, 2015).

در مطالعات داخل ایران نیز کریمیان (۱۳۹۲) در رساله دکترای خود با بررسی گونه‌های مختلف فضای سبز به ارائه ضوابطی در زمینه فضاهای سبز پاسخگو به نیاز آسایش حرارتی بیرونی در شهر مشهد متمرکزشده است (Karimian, 2013).

ابراهیم‌زاده و اسماعیل نژاد (۱۳۹۶) با بررسی تغییرات اقلیمی بر روی جمعیت سکونتگاه‌های روستایی در خراسان جنوبی به این نتیجه رسیده‌اند که تغییرات اقلیمی در ۲۰ سال گذشته باعث شده است که چالش‌هایی مانند خشک‌سالی و پیشروی بیابان‌ها در استان بیشتر شود (Ebrahimzadeh & Esmaeil Negad, 2017).

مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد در زمینه تأثیرات تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی و سلامت انسان در شهر مشهد بررسی صورت نگرفته است.

## شهرنشینی و تغییرات اقلیمی

آب‌وهوا مجموعه‌ای از شرایط جوی در یک‌زمان و مکان خاص است و اقلیم به‌عنوان یکپارچگی آب‌وهوا در زمان و یک مکان جغرافیایی خاص مطرح می‌شود (Draper & Richards, 2009 Szokolay, 2008).

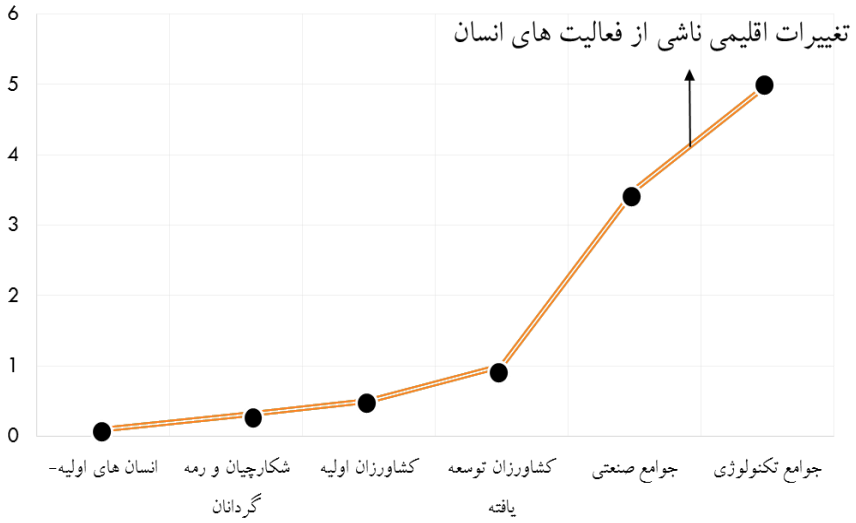
اقلیم شهری، اقلیمی است که حال حاضر شهرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طراحی بین ساختمان‌ها و فضای باز نیاز به درک محیط پیرامونی خود دارد، تا در آن دخالت شود و فضاها برای ایجاد محیطی بهتر برای انسان‌ها مهیا گردد (Erell, Pearlmutter, & Williamson, 2010). مخاطرات را به دودسته طبیعی و مخاطرات انسان‌ساخت تقسیم کرده‌اند. هرچند این طبقه‌بندی قابل‌بحث است. یک ایده عمومی این است که همه مخاطرات نتیجه اشتباهات انسانی است و هر مخاطره آغازکننده مخاطره دیگر است؛ مثلاً تغییرات اقلیمی باعث گرم شدن هوا و ایجاد سیل می‌شود (Cimellaro, 2016).

بر این اساس تغییرات اقلیمی را می‌توان به دودسته طبیعی و انسان‌ساخت تقسیم نمود. ازنظر طبیعی این تغییرات از دوره نئولتیک آغازشده است و تقریباً از ۱۵۰ سال گذشته تاکنون تغییرات زیادی را با توجه به فعالیت‌های انسانی داشته است (Qanbarzadeh & Behniafar, 2007)، اندازه‌گیری‌های جهانی نشان می‌دهد از دهه ۱۹۵۰ انتشار دی‌اکسید کربن افزایش‌یافته

1 Ali-Toudert
2 Cheung & Hart
3 UTCI
4 Envi-met

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

است و سالانه ۱۸ درصد افزایش می‌یابد. این امر سبب گردید تا اولین برنامه برای بحث تغییرات اقلیمی در سال ۱۹۷۲ در کنفرانس ملی تغییرات اقلیمی مطرح گردد (Roaf, Crichton, & Nicol, 2009).




**شکل ۱- تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی**

منبع: نگارنده با اقتباس از (Morris, 2008 Qanbarzadeh & Behniafar,2007 ,)

تغییرات اقلیم جهانی پدیده‌ای غیرقابل‌انکار است به‌طوری‌که شهرها به‌طور فزاینده‌ای با انتشار گازهای گلخانه‌ای روبه‌رو هستند. عواقب ناشی از تغییرات اقلیمی به‌صورت افزایش سطح حرارت در جو قابل‌مشاهده است (Prasad et al., 2009). انجمن محیط‌زیست اروپا در سال ۲۰۱۱ بیشتر آمار حوادث طبیعی را به علت موج گرما گزارش کرده است (Cimellaro, 2016). گروه بین‌المللی تغییرات اقلیمی (Ipcc)[1] (۲۰۰۷) عنوان کرده است که افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن اقلیمی اتفاق افتاده است و این تغییر در اقلیم به دلیل انتشار گاز گلخانه‌ای در اتمسفر سبب آسیب‌پذیری سیستم شهرها و موجب بالا رفتن سطح دریاها و ایجاد طوفان، خشک‌سالی، سیل، موج گرما و سرما شده است (IPCC, 2007).

## آسایش حرارتی بیرونی

مطالعات مختلفی در ارتباط با شاخص‌های حرارتی اقلیم و ارتباط میان بدن انسان و محیط پیرامون انجام‌شده است و پژوهش‌های مختلفی نیز به ارزیابی احساس و آسایش حرارتی در محیط‌های مختلف سکونتی پرداخته است. این تحقیقات در محیط‌های مختلف فضاهای درونی[2] و فضاهای بیرونی[3] انجام پذیرفته است. ازاین‌بین بررسی‌های فضاهای داخلی بیشترین ارزیابی را به خود اختصاص داده است و فضاهای بیرونی به نسبت کمتر موردتوجه بوده است (Höppe, 2002).

مفهوم آسایش حرارتی در ۱۹۷۴ توسط فانگر[4] مطرح می‌شود. از آن زمان تاکنون در فضاهای داخلی ساختمان‌های مختلف مسکونی، اداری، درمانی و غیره موردپژوهش بوده است. این کلیدواژه در سال ۲۰۰۳ با مطالعات اسپانگلو دی دیر[5] با تعمیم شاخص‌های آسایش حرارتی داخلی به آسایش حرارتی بیرونی، وارد مقیاس فضاهای بیرونی گردید.

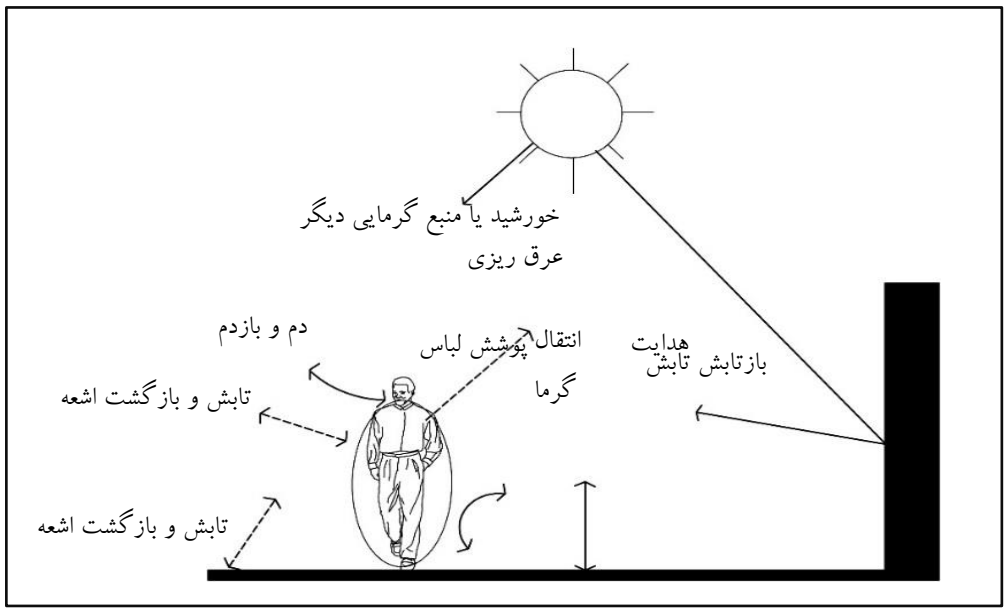
1 The Intergovernmental Panel on Climate Change
2 Indoor
3 Outdoor
4 Fonger
5 Spagnolo and de Dear

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

DOI: 10.29252/geores.33.3. 38

از آن به بعد پژوهش‌های مختلف در فضاهای باز و اقلیم‌های مختلف متمرکزشده‌اند. جامعه مهندسین گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا احساس آسایش حرارتی انسان را، موقعیت استخراج ابراز رضایت از آسایش محیطی که توسط ارزیابی ذهنی به دست می‌آید، تعریف می‌کنند. احساس و ادراک از آسایش مرتبط با وضعیت جسمی فرد، تبادل حرارتی بدن با محیط اطراف و خصوصیات فیزیولوژیکی دارد که تبادل حرارت بین فرد و محیط اطرافش متأثر از پارامترهای نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، تابش حرارتی (خورشیدی و تابشی)، جریان هوا، میزان لباس، سطح فعالیت، تماس مستقیم با سطوح می‌باشد (ASHRAE, 2009). بدن انسان از طریق سوخت‌وساز، تبادل حرارتی با محیط (عمدتاً توسط تابش و همرفت) و از دست دادن حرارت به‌وسیله تبخیر مایعات بدن، حرارت تولید می‌کند. در طول استراحت طبیعی و ورزش، فرآیندهای انتقال حرارت منجر به تغییر درجه حرارت ارگان‌های حیاتی بدن می‌شود (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010).

آسایش حرارتی در ارتباط با چگونگی پاسخ انسان به این محیط حرارتی است و شامل پارامترهای فیزیولوژیکی همچون؛ میزان عرق، ضربان قلب، دمای داخلی بدن، دمای پوست و غیره است (Dai, 2014).




**شکل ۲- اجزا تعادل گرمایی بدن انسان در محیط**

فانگر (۱۹۷۰) سه پارامتر بدن انسان را برای رضایت از آسایش معرفی می‌کند: الف) بدن در تعادل گرمایی است که در آن ورود و خروج گرما از بدن در حالت تعادل قرار گیرد، ب) درجه حرارت پوست، ج) میزان عرق ریزی بدن انسان در محدوده آسایش (Fanger, 1970)؛ عددی بین ۳۶/۵ تا ۳۷/۵ درجه است. دمای پوست ۳۰ درجه سلسیوس، در سر و بدن بین ۳۵-۳۴ و بدون عرق ریزی است (Hensel, 1981). در این شرایط است که سیستم کنترل حرارت بدن تلاش می‌کند تا هنگامی‌که اختلالات حرارتی رخ می‌دهد، این دما را حفظ کند (Djongyang et al., 2010).

## فاکتورهای تأثیرگذار برآسایش حرارتی

منابع مختلف عوامل تأثیرگذار برآسایش حرارتی را دسته‌بندی‌های مختلفی داشته‌اند. بررسی‌های اولیه فانگر (۱۹۷۰) در حیطه آسایش حرارتی فاکتورهای تغییرات روزبه‌روز، سن، ساختار بدن، تفاوت‌های جغرافیایی و همسانی حرارتی را تأثیرگذار برآسایش حرارتی تعیین نموده است (Fanger, 1970). در تقسیم‌بندی استاندارد آشرایی (۲۰۰۴) فاکتورهای تأثیرگذار

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

برآسایش حرارتی به دودسته: الف: پارامترهای محیطی شامل دمای هوای محیط (Ta)، رطوبت نسبی (RH)، جریان باد (V) و متوسط دمای تابشی (Tmrt) و ب: دسته‌بندی عوامل فیزیولوژیکی شامل لباس (CLO) و نرخ سوخت‌وساز (MET) تقسیم‌بندی می‌شود. فاکتورهای اقلیمی چون دمای هوا و جریان باد تأثیر مستقیمی بر روی دمای محیط و جابجایی هوا دارد. این امر به‌خصوص در شهرهایی که با مشکلات ناشی از تجمع آلاینده‌های هوا مواجه هستند تأثیر زیادی دارند (ASHRAE., 2004). عوامل تأثیرگذار برآسایش حرارتی به سه دسته محیطی، انسانی و عوامل مشارکتی طبقه‌بندی‌شده است (Szokolay, 2008). از مطالعات انجام‌گرفته می‌توان دریافت که به‌طورکلی سه رویکرد مختلف با توجه به فاکتورهای تأثیرگذار در مواجهه با آسایش حرارتی وجود دارد؛ بررسی آسایش حرارتی ازلحاظ بار روانی، حرارت فیزیولوژیکی و دیگری بر اساس تعادل گرمایی بدن انسان است (Höppe, 2002)، که دراین‌بین فاکتور تعادل گرمایی بدن انسان بیشتر تحت تأثیر پارامترهای محیطی و اقلیمی قرار دارد.

شاخص‌های اندازه‌گیری آسایش حرارتی را می‌توان در دودسته طبقه‌بندی نمود. شاخص‌های ساده و تجربی که شامل چندین عنصر اقلیمی است (همانند ET[1]، RT[2]، HOP[3]، OP[4]، WCI[5]) که در طبقه‌بندی اولیه قرار می‌گیرند. دسته دوم دسته‌بندی‌های پیچیده تحلیلی شامل PMV[6]، PET[7] و SET[8] هستند (Ali-Toudert, 2005; Oliver, 2005; Yilmaz, Akif Irmak, & Matzarakis, 2013). مدل‌های دسته دوم بر اساس تعادل انرژی (MEMI) به کار گرفته می‌شود که معادله این تعادل انرژی برای بدن انسان عبارت است از:

$$M + W + R + C + ED + ERC + ESW + S = O$$

تابش خالص R، کار فیزیکی W، میزان سوخت‌وساز یا انرژی تولیدی داخل بدن M؛ جریان گرمای نهان تبخیر از طریق پوست بدن تعریق نامحسوس ED، جریان گرمای انتقالی C، انرژی بدن، ERC، مجموع جریان گرما برای گرمایش و رطوبت دهی هوا، ESW جریان انرژی ناشی از تعریق و تبخیر،S ذخیره جریان گرما برای گرمایش و سرمایش توده و جرم بدن است.

## تغییرات اقلیمی و آسایش حرارتی بیرونی

الگوهای فضایی شهرها، رشد و توسعه آن‌ها تحت تأثیر تغییرات اقلیمی است. ساختمان‌ها و توسعه‌های شهری، جذب و بازتاب نور خورشید و توانایی برای ذخیره گرما و تبخیر پذیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Johansson, 2006).

فعالیت‌های انسانی بر روی اقلیم اثر دارد به‌صورتی که بخشی از گرمای انسانی ایجادشده به دلیل رهاسازی فعالیت‌ها و ایجاد آلودگی هوا است که بر روی تابش ورودی و خروجی تأثیرگذار است. وجود آئروسل موجود در هوا نتیجه فعالیت‌های وسایل نقلیه و بخش‌های صنعتی است. میزان تابش خورشید در بیشتر شهرها زیر ۱۰ درصد است، حال‌آنکه در شهرهای آلوده این مقدار تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. این گرما سبب بالا رفتن دمای هوا می‌شود. هرچقدر دمای هوا افزایش یابد آسایش حرارتی بیرونی افراد نیز کمتر می‌شود که موجب ایجاد مشکلات سلامت برای انسان می‌شود. در بررسی‌های اخیر بروز بیماری‌ها و مرگ‌ومیر انسان‌ها ارتباط مستقیمی با تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین داشته است (Monsefi Parapari, 2015)؛ بنابراین می‌توان گفت تغییرات اقلیمی چون موج گرما تأثیرگذار بر محیط زندگی انسان‌ها است (Roaf et al., 2009). از سویی دیگر بالا رفتن دمای محیط، تأثیر نامطلوبی برآسایش ساکنان و میزان حضور در محیط‌های باز شهری می‌شود (Akbari &

1 Effective Temp
2 Resultant Temp
3 Humid Operative Temp
4 Operative Temp
5 Wind Chill Index
6 Predicted Mean Vote
7 Physiol. Equiv.Temp
8 Stand.Eff.Temp

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

DOI: 10.29252/geores.33.3. 38

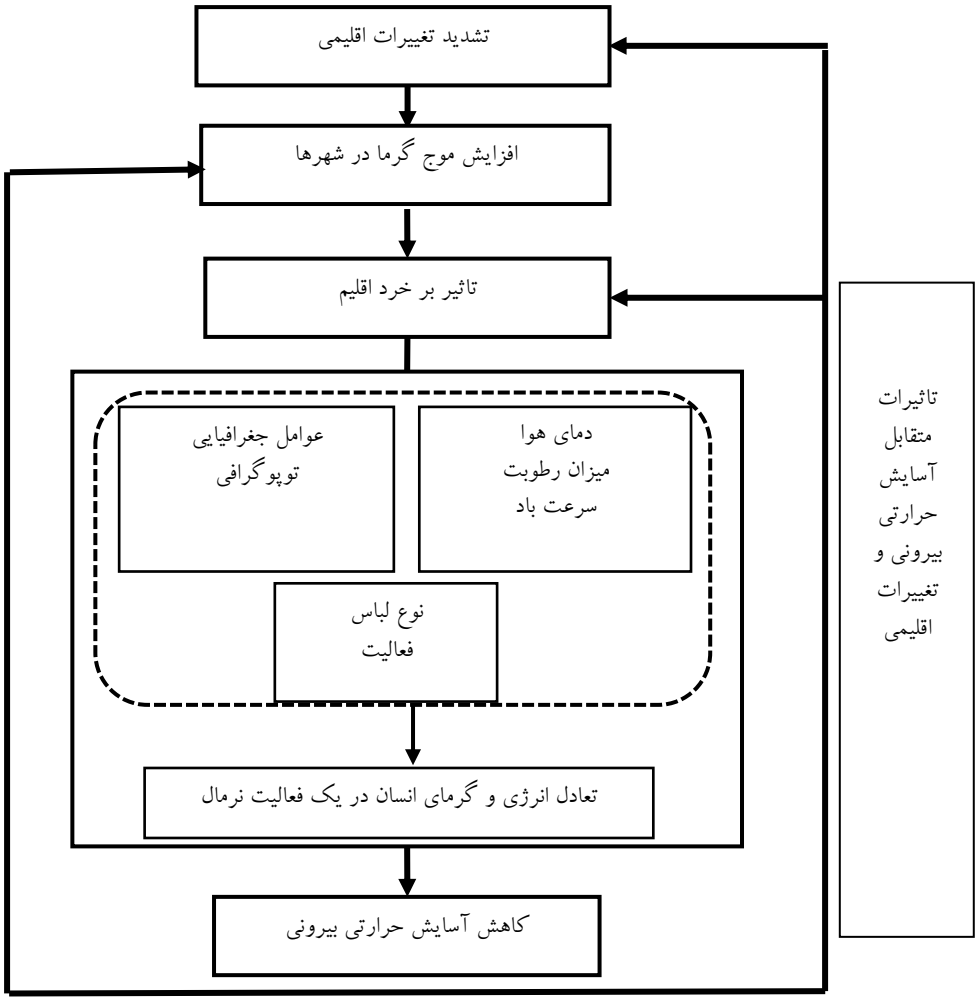
Konopacki, 2004). مطالعات بانک جهانی سلامت (WHO) در سال ۲۰۰۷ و دیگر مؤسسات نشان می‌دهد که دمای هوای زیاد بر روی افزایش مرگ‌ومیر تأثیرگذار است. تأثیرات افزایش دما را می‌توان در دیگر موجودات زنده نیز مشاهده نمود، به‌طوری‌که بالا رفتن دمای محیط بر گیاهان و جانوران هم تأثیر می‌گذارد و برای انسان از منظر گسترش ویروس‌ها و باکتری‌ها مطرح می‌شود که با بالا رفتن درجه حرارت این میکروارگانیسم‌ها فعال‌شده و سبب بیماری می‌شوند (Yow, 2007). مطالعات پزشکی نشان می‌دهد که دمای محیطی بالا، ویسکوزیته خون را کاهش می‌دهد و خطر لخته شدن خون را افزایش می‌دهد. همچنین سبب مشکلات قلبی و تنفسی و مشکلات اختلال در عملکرد کلیه‌ها می‌شود (Linares & Dı´az, 2008).

گزارش‌های گسترده نشان می‌دهد که در طی دوره موج گرما و افزایش دمای محیطی، پذیرش بیمارستان‌ها در زمینه مشکلات سکته مغزی بالا رفته و نرخ مرگ‌ومیر افزایش‌یافته است (Pirard et al., 2005). تحقیقات نشان می‌دهد که افزایش یک درجه در دمای محیط باعث افزایش ۱/۳۵ درصد در مرگ‌ومیر، ۱/۷۲ درصد بیماری‌های قلبی– عروقی، ۳/۳۰ درصد مشکلات تنفسی و ۱/۲۵ درصد عوارض مغزی می‌شود (Analitis et al., 2008).

ویلسون و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی‌های خود دریافته‌اند که همبستگی مستقیم و قوی بین دمای محیطی و مرگ‌ومیر وجود دارد، به‌طوری‌که این ارتباط شکل U و V را باهم داشته‌اند (Wilkinson, Landon, Armstrong, Stevenson, & McKee, 2001)، لذا می‌توان گفت تأثیر افزایش دمای محیطی بر سلامت انسان در طی موج‌های گرمایی اخیر افزایش‌یافته است (Hajat et al., 2006). مطالعات تیلور و همکاران (۲۰۱۵) در لندن در سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که ارتباط بین خطر مرگ‌ومیر و دما خطی است و بیشترین سطح مرگ‌ومیر در جمعیت کهن‌سال به دلیل موج گرما و نه سرما بوده است که در سال‌های اخیر نیز خطرات ناشی از موج گرما بیشتر شده است (Taylor et al., 2015). افزایش دما علاوه بر مشکلات جسمی بر روی سلامت روح و روان نیز اثرگذار است و می‌تواند سبب بیماری‌های سیستم عصبی، بی‌خوابی، تحریک‌پذیری، افسردگی و کاهش حافظه نیز شود (Yang, Qian, Song, & Zheng, 2016).

علاوه بر این گروه‌های حساس همچون افراد سن بالا و کودکان بیشترین افرادی هستند که در معرض این خطرات قرارگرفته‌اند. گزارش‌های در استرالیا نشان می‌دهد که پذیرش بیمارستان برای مشکلات روحی و رفتاری در دمای بالای ۲۷ درجه افزایش می‌یابد (Hansen et al., 2008) و هرچه این دما افزایش یابد میزان عرق ریزی بیشتر شده و تأثیرات نامطلوب آن بر روی سلامت جسم و روح افزایش می‌یابد.

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]




**شکل ۳- مدل مفهومی ارتباط تغییرات اقلیمی و آسایش حرارتی بیرونی**

## مواد و روش‌ها

شهر مشهد با مختصات جغرافیایی E'۳۵°۵۹، N'۲۰°۳۶ دارای اقلیمی خشک است. آمارهای هواشناسی خراسان رضوی در سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد که میانگین دمای هوا در ماه خرداد ۲۶/۷۴ و در ماه تیر ۲۸/۸۱ درجه است. دمای هوا در تابستان به حداکثر ۴۰/۴ و در فصل زمستان به حداقل ۴/۸- می‌رسد. میزان بارندگی بیشتر در فصول بهار است حال‌آنکه در تابستان هوا کاملاً خشک است و میزان تابش خورشید در تابستان حداکثر ۱۳/۶ ساعت می‌باشد.

روش تحقیق پژوهش با توجه به ماهیت موضوع، از نوع کاربردی و مبتنی بر دو بخش است. در بخش اول برای تدوین چارچوب نظری از روش اسنادی استفاده‌شده است. به‌این‌ترتیب که با رجوع به مقالات، رساله‌ها و کتاب‌ها به‌وسیله یادداشت‌برداری، اطلاعات موردنیاز برای فهم ادبیات موضوعی و همچنین مطالعات انجام‌گرفته در حوزه موضوع پژوهش گردآوری‌شده است و سپس با استفاده از روش‌های توصیفی و تحلیلی نسبت به تهیه مفاهیم موضوعی پژوهش اقدام شده است. از روش برداشت اطلاعات اقلیمی از سازمان اقلیم‌شناسی شهر مشهد برای گردآوری داده‌های اقلیمی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ استفاده‌شده است.

ازاین‌رو با استفاده از پارامترهای اقلیمی دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد به‌صورت میانگین ماهانه از داده‌های اقلیمی استخراج‌شده و در نرم‌افزار ریمن واردشده است. در این نرم‌افزار به‌منظور در نظرگیری روند جهانی داده‌هایی چون سن، نوع

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

DOI: 10.29252/geores.33.3. 38

لباس و نوع فعالیت بر اساس استاندارد نرم‌افزار فرض شده است. داده‌هایی چون تاریخ، طول و عرض جغرافیایی از دیگر پارامترهایی هستند که علاوه بر داده‌های اقلیمی به نرم‌افزار واردشده است. پس از استخراج میزان آسایش حرارتی بیرونی از نرم‌افزار، داده‌ها به‌منظور تجزیه‌وتحلیل نهایی در نرم‌افزار اکسل مورد تجزیه‌وتحلیل واقع‌شده‌اند.

**شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی**

شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی، به‌عنوان دمای هوایی که در شرایط درونی بدون باد و تابش خورشید تعریف می‌شود و بر مبنای مدل بالانس گرمایی فیزیولوژیکی مونیخ (MEMI)[1] مطرح‌شده است.

نرخ جریان خون = H+C+R+Ep+Esr+Elr+Esw+Ef=S

نرخ تعرق = Qb = (6/3+75 (tc-36/6))/(1+0/5 (34-tsk))

تولید حرارت = Sw = 8/4710-5 ((1tsk+0/9tc)-35/6)kg/sm$^2$

شار همرفتی حرارت = H = M (1-η)

شار تابشی حرارتی = C = Ask fcl (Ta-Tsk)

انتشار بخارآب = R = Ask fcl fcffεδ (tr4-Tsk4)

اتلاف تعرق به‌وسیله حرارت = ED = m r (Pa-Pvsk)

اتلاف تعرق به‌وسیله حرارت پنهانی = Esr = rtm Cp (Ta-Tr)

اتلاف حرارت به‌وسیله تبخیر = Elr = rtm r (Pa-Pvr)/P

حرارت افزوده یا تلف‌شده یا از طریق آشامیدنی = Esw = Ask r hc 0/622/Pa(Pa-Pvsk)

حرارت منتقل‌شده از مرکز به پوست = Ef = mf cf (Tf-Tc)

حرارت واردشده از پوست به محیط = Qb = ρb Cb Tsk-Tc

شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی(PET) = (Tsk-Tcl)/Icl

در معادلات فوق:

M = نرخ سوخت‌وساز (وات بر مترمربع)، S = حرارت خالص ذخیره‌شده در هسته، η = کار آیی مکانیکی،Ask = سطح پوست برحسب مترمربع، fcff *fcl = نسبت مساحت شخص پوشیده به مساحت بدون پوشش، Tsk = دمای پوست، Ta = دمای هوا به درجه سانتی‌گراد، Tr = دمای تابش متوسط به درجه سانتی‌گراد، Tcl = دمای سطح لباس به درجه سانتی‌گراد، Pa = فشار بخار جزئی به پاسکال، Pvr = فشار بخار اشباع در دمای پوست، hc = ضریب انتقال حرارت همرفتیw/k ، Cp, Cf, Cb = گرمای ویژه هوا، غذا و خون به ترتیب، rtm =جرم هوای تعریقی در هر ثانیه، mf = معادل غذا در واحد وات، δ = ضریب ثابت استفان بولتزمن، ε = قابلیت انتشار پوست، r = حرارت نهانی تبخیر، Icl = مقاومت لباس در برابر انتقال حرارت،Cb = حرارت ویژه خون، ρb= چگالی خون

با خروجی‌های این مدل و حل معادلات ترکیبی پارامترهای اقلیمی، فعالیت فیزیکی و نوع پوشش لباس در مدل بالانس گرمایی فیزیولوژیکی مونیخ می‌توان دمای معادل فیزیولوژیکی را به دست آورد. برای محاسبه این شاخص تمامی عناصر هواشناسی در تعادل گرمایی بدن انسان در ارتفاع مناسب زیست اقلیم مانند ۱/۵ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود (Zolfaghari, 2008). با تحقیقات مایر و هوپ (۱۹۸۷) و هوپ (۱۹۹۹) این شاخص تراز گرمایی، قابلیت تعمیم به محیط‌های بیرونی را تحت شرایط پیچیده مختلف را داراست. از مزیت‌های این شاخص این است که مستقل از پوشش لباس و فعالیت و بر

1 Munich Energy Balance Model For Individuals

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

مبنای فرض عدد ۰/۹ برای سطح پوشش و سطح فعالیتی ۸۰ وات برای افراد مختلف حساب می‌شود. از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در دمای معادل، متغیر اقلیمی "میانگین دمای تابشی" است. یافته‌های پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهد که این شاخص دارای دقت بالاتری برای پیش‌بینی میانگین آسایش حرارتی در فضاهای باز است (Heidari & Monam, 2013)؛ اما این شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی، به‌صورت دقیق برای شرایط آسایش ایران در اقلیم‌های مختلف موردبررسی قرار نگرفته است و تنها بررسی‌های حیدری و منعام (۱۳۹۲) در تهران، این جدول را برای شهر تهران تدقیق نموده است.

**جدول ۱- دمای معادل فیزیولوژیکی، احساس حرارتی و درجه استرس فیزیولوژیکی بدن**

| درجه استرس فیزیولوژیکی | میزان احساس حرارتی | درجه دمای معادل فیزیولوژیکی | درجه دمای معادل فیزیولوژیکی شهر تهران |
|---|---|---|---|
| استرس سرمای زیاد | خیلی سرد | کمتر از ۴ | کمتر از ۱۳/۸ |
| استرس سرمای قوی | سرد | ۴-۸ | ۱۳/۸-۱۷/۵ |
| استرس سرمای معتدل | سرد | ۸-۱۳ | ۱۷/۵-۲۱/۱ |
| استرس سرمای ملایم | کمی سرد | ۱۳-۱۸ | ۲۱/۱-۲۴/۸ |
| عدم وجود استرس حرارتی | آسایش | ۱۸-۲۳ | ۲۴/۸-۲۸/۴ |
| استرس گرمای ملایم | کمی گرم | ۲۳-۲۹ | ۲۸/۴-۳۲/۱ |
| استرس گرمایی متوسط | گرم | ۲۹-۳۵ | ۳۲/۱-۳۵/۷ |
| استرس گرمایی قوی | داغ | ۳۵-۴۱ | ۳۵/۷-۳۹/۴ |
| استرس گرمایی زیاد | بسیار داغ | بیشتر از ۴۱ | بیشتر از ۳۹/۴ |

منبع: (Heidari & Monam, 2013Matzarakis, Mayer, & Rutz, 2002)

ارزش دمای معادل فیزیولوژیکی که ماترازکیس و مایر (۲۰۰۲) تهیه‌کرده‌اند ۲۰ درجه سلسیوس به‌عنوان محدوده آسایش شناخته‌شده است. حیدری و منعام این عدد را برای شهر تهران بازه بین ۲۸/۴-۲۴/۸ سنجش کرده‌اند. شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی به‌عنوان شاخصی که تعادل گرمایی بدن انسان را در نظر می‌گیرد در این پژوهش استفاده‌شده است. مزیت اصلی دمای معادل فیزیولوژیکی نسبت به سایر شاخص‌ها به دلیل ارائه آن برحسب سلسیوس است و می‌توان به‌صورت روزانه و حتی ساعتی مورد ارزیابی قرار گیرد. از سویی دیگر در سنجش آسایش حرارتی بیرونی مورداستفاده مطالعات بسیار زیادی قرارگرفته است. شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی بر مبنای مدل تعادل انرژی مطرح می‌شود.

**معرفی نرم‌افزار ریمن و روش محاسبه دمای معادل فیزیولوژیک**

ریمن، ابتدا توسط ماتزاراکیس[1] ابداع شد و سپس توسط انجمن مهندسان آلمان (VDI) در سال ۱۹۹۸ توسعه‌یافته است. هدف از این مدل، محاسبه تراکم شار تابشی، مدت‌زمان تابش آفتاب و سایه فضاها با استفاده از یکسری داده‌های ورودی منتج شده از اطلاعات هواشناسی محدود است.

**ورودی داده‌های ریمن**

این مدل، شار تابش را در محیط‌های ساده و پیچیده و بر مبنای چند پارامتر مختلف محاسبه می‌کند:

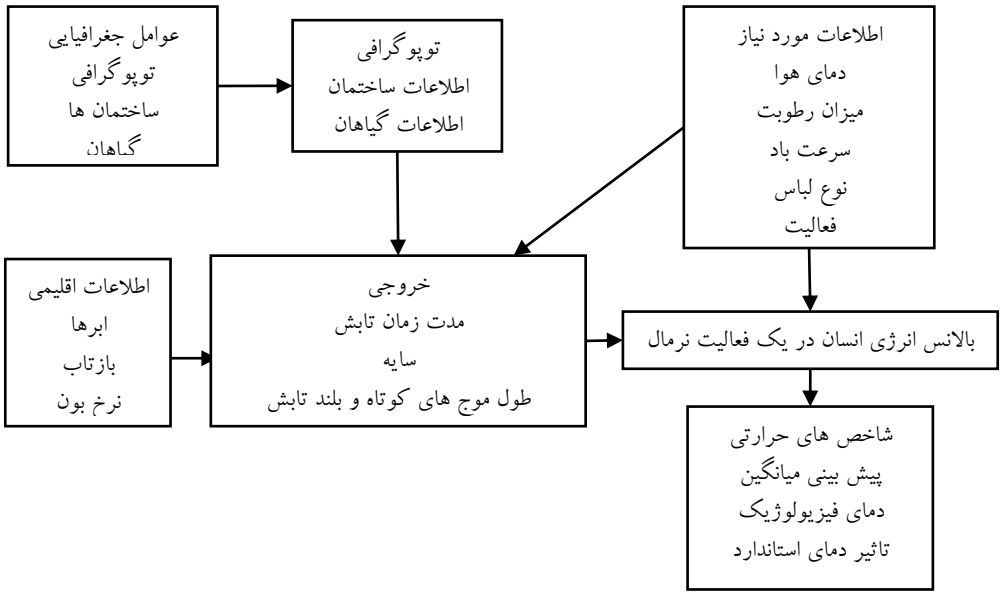
1 Matzarakis

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

DOI: 10.29252/geores.33.3. 38

- داده‌های توپوگرافی شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع محل ایستگاه هواشناسی.
- داده‌های هواشناسی مانند دمای هوا، فشار بخار، رطوبت هوا، سرعت نسبی، میزان ابرناکی آسمان.
- داده‌های انسانی: قد، وزن، سن، جنسیت.
- داده‌های مربوط به پوشش، فعالیت.
- داده‌های مرفولوژیکی محیطی شامل ساختمان‌ها، درختان همیشه‌سبز و خزان پذیر.
- امکان واردکردن طراحی‌های دستی و عکس‌هایی با فرمت چشم ماهی جهت محاسبه عامل چشم‌انداز آسمان (Matzarakis, Rutz, & Mayer, 2010).




**شکل ۴- ساختار بیوکلیمالوژیک انسانی مدل ریمن**

منبع: (Matzarakis et al., 2002)

**قابلیت نرم‌افزار ریمن**

- محاسبه میانگین دمای تابشی
- قابلیت محاسبه خورشید در هرروز از سال و نمایش جغرافیایی
- ایجاد سایه در موانع شهری و طبیعی در هرروز از سال و هر دوره خاصی از روز به‌منظور کمی کردن فضاهایی که سایه در آن ایجادشده است.
- محاسبه شاخص‌های آسایش دمایی انسان SET، PMV، PET

**کاربرد نرم‌افزار ریمن**

- برنامه‌ریزی شهری و منظر (با توجه به بررسی اثرات پروژه‌های بزرگ)
- بخش گردشگری (انتخاب زمان‌های تعطیلات)
- ارائه پیشنهاد برای محل مناطق مسکونی
- تغییرات اقلیمی مرتبط با بیومترولوژی انسانی
- آب‌وهوا و سلامت (برای تجزیه‌وتحلیل موقعیت‌های حرارتی)

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

- کشاورزی و هواشناسی (محاسبه شار تابش در محیط‌های مختلط)
- اکولوژی منظر (برآورد فرآیندهای طبیعت) (Matzarakis et al., 2002)
- مدل ریمن در مقایسه با شبیه‌سازی CFD مدت‌زمان اجرایی کمی را داراست و می‌تواند تابش و میانگین دمای تابشی را محاسبه نماید اما این محاسبه شامل انعکاس بین ساختمان‌ها نمی‌شود. بزرگ‌ترین مزیت این نرم‌افزار توانایی خروجی گرفتن شاخص‌های رایج آسایش حرارتی همچون دمای معادل فیزیولوژیکی است (Matzarakis et al., 2010).

## یافته‌های پژوهش

### تغییرات شاخص دمای معادل فیزیولوژیک در شهر مشهد

میزان تأثیر تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی در شکل‌های ۵ تا ۸ به‌صورت تغییرات ΔPET بر اساس عملکرد ماهانه در دوره ده‌ساله ۲۰۱۷-۲۰۰۷ در شهر مشهد موردبررسی قرارگرفته است. این تغییرات بر اساس شاخص‌های دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و میزان ابرناکی ارائه‌شده‌اند. مشخصات انسانی و نوع فعالیت بر اساس استاندارد و پیش‌فرض نرم‌افزار ریمن در نظر گرفته‌شده است و نهایتاً خروجی‌های نهایی آن به‌صورت یک ماتریس بر اساس دمای معادل فیزیولوژیک موردمطالعه قرار گرفت. تحلیل نموداری این نتایج در نرم‌افزار اکسل نشان داده‌شده است. بر اساس آستانه‌های ارائه‌شده در جدول ۱، میزان دمای معادل فیزیولوژیکی چنانچه از عدد ۲۳ بالاتر و ۱۸ کمتر قرار گیرد، نشان‌دهنده خروج از محدوده آسایش حرارتی بیرونی است. به‌عبارتی‌دیگر قرارگیری اندازه شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی در بازه ۲۳-۱۸ سانتی‌گراد نشان‌دهنده آسایش حرارتی بیرونی است. جدول ۲ تغییرات آسایش حرارتی بیرونی ناشی از تغییرات اقلیمی در بازه ده‌ساله ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ را نشان می‌دهد. نتایج این جدول علاوه برنشان دادن اثرات تغییرات اقلیمی بر تغییرات محدوده‌های آسایش حرارتی بیرونی، قابلیت استفاده در برنامه‌ریزی‌های مربوط به شهر و گردشگری را نیز دارا می‌باشد. به‌صورت کلی ارزش دمای معادل فیزیولوژیکی ارائه‌شده در این جدول، نشان می‌دهد که وضعیت آسایش حرارتی بیرونی در ماه‌های مختلف سال به‌ویژه فصول سرد سال در حال ورود به محدوده آسایش حرارتی بیرونی و یا در فصول گرم سال در حال ورود به محدوده استرس گرمایی است. شدت این تغییرات در طی این ده سال به‌شدت روبه افزایش بوده است که این امر نشان از تغییر الگوهای تغییرات اقلیمی و شدت موج گرما در شهر مشهد را دارد.

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

**جدول ۲- بررسی تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در بازه ده‌ساله ۲۰۰۷-۲۰۱۷**

| ماه | ۲۰۰۷ | ۲۰۰۸ | ۲۰۰۹ | ۲۰۱۰ | ۲۰۱۱ | ۲۰۱۲ | ۲۰۱۳ | ۲۰۱۴ | ۲۰۱۵ | ۲۰۱۶ | ۲۰۱۷ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دی | ۷/۳ | -۱۵/۱ | -۵ | -۱/۷ | -۴/۱ | -۶/۹ | -۴/۶ | -۴/۲ | -۳/۵ | -۱ | -۴/۵ |
| بهمن | -۱/۶ | -۶/۹ | -۰/۱ | -۲/۱ | -۵/۵ | -۵/۸ | -۰/۳ | -۷/۳ | -۰/۶ | ۰/۱ | -۵/۹ |
| اسفند | ۰/۵ | ۷/۷ | ۴/۵ | ۴/۵ | ۱/۴ | ۰/۷ | ۳/۶ | ۱/۴ | ۰/۴ | ۴/۵ | ۱/۹ |
| فروردین | ۱۰/۹ | ۱۱/۲ | ۴/۴ | ۹/۹ | ۱/۴ | ۱۱/۱ | ۷/۴ | ۸/۵ | ۱۰/۹ | ۸/۱ | ۸/۵ |
| اردیبهشت | ۱۵/۲ | ۱۶/۶ | ۱۴/۶ | ۱۵/۱ | ۱۷/۳ | ۱۴/۹ | ۱۴/۵ | ۱۶/۵ | ۱۶/۸ | ۱۶/۷ | ۲۰/۵ |
| خرداد | ۲۰/۴ | ۲۰/۸ | ۱۸/۱ | ۲۱/۶ | ۲۱/۹ | ۲۰/۱ | ۲۰/۵ | ۲۱/۲ | ۲۲/۶ | ۲۰/۴ | ۲۲/۱ |
| تیر | ۲۲/۵ | ۲۳ | ۲۲/۳ | ۲۳/۲ | ۲۳/۲ | ۲۳/۲ | ۲۳/۶ | ۲۱/۹ | ۲۴ | ۲۳/۲ | ۲۳/۶ |
| مرداد | ۲۰/۳ | ۲۰/۴ | ۲۰/۳ | ۲۰/۲ | ۲۱/۶ | ۲۱/۲ | ۱۹/۷ | ۲۱/۲ | ۲۰/۲ | ۲۰ | ۲۰/۲ |
| شهریور | ۱۴/۸ | ۱۵/۴ | ۱۴/۹ | ۱۴/۳ | ۱۵/۷ | ۱۴/۱۶ | ۱۸/۳ | ۱۷ | ۱۴/۵ | ۱۷/۹ | ۱۶/۴ |
| مهر | ۶/۵ | ۷ | ۷/۹ | ۱۲/۱ | ۸/۵ | ۹/۵ | ۸/۱ | ۷/۱ | ۱۰/۱ | ۶/۶ | ۹/۴ |
| آبان | ۴/۳ | ۰/۵ | ۱/۶ | ۲/۷ | -۱/۹ | ۲/۴ | ۲/۷ | -۰/۳ | ۱/۵ | -۰/۱ | ۴/۵ |
| آذر | -۴/۲ | -۲/۸ | -۱/۳ | -۱/۳ | -۵/۷ | -۴ | -۴/۶ | -۲/۴ | -۲/۸ | -۱/۵ | -۲/۳ |

**راهنمای جدول ۲**

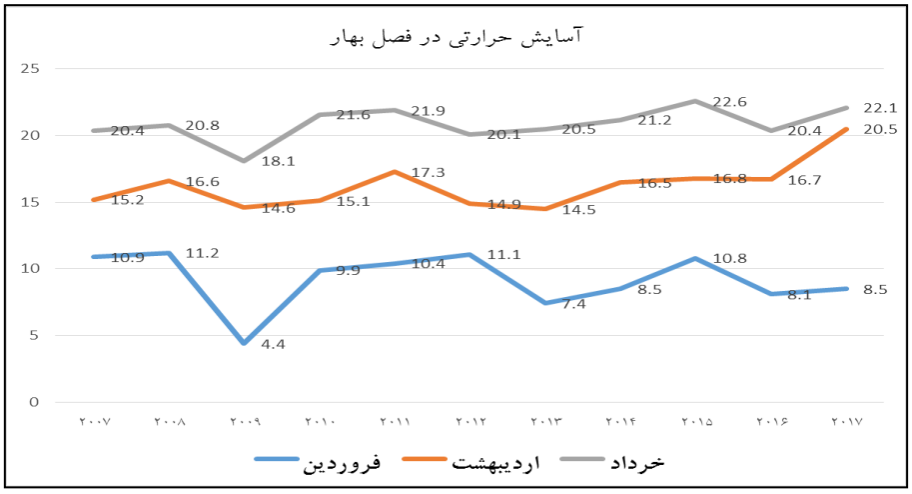
| میزان احساس حرارتی | خیلی سرد | سرد قوی | سرد معتدل | کمی سرد | آسایش | کمی گرم | گرم | داغ | بسیار داغ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درجه دمای معادل فیزیولوژیکی | کمتر از ۴ | ۴-۸ | ۸-۱۳ | ۱۳-۱۸ | ۱۸-۲۳ | ۲۳-۲۹ | ۲۹-۳۵ | ۳۵-۴۱ | بیشتر از ۴۱ |

**میزان تأثیر تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی در فصل بهار**

شکل ۵ میزان تغییرات آسایش حرارتی بیرونی را در فصل بهار شهر مشهد در بازه ده‌ساله نشان می‌دهد. یافته‌ها در فصل بهار حاکی از آن است که در خردادماه میزان ارزش دمای معادل فیزیولوژیکی در طی ده سال حداقل $^{o}C$۷/۴ و حداکثر $^{o}C$۲۲/۶ ($^{o}C$۷/۴<PET<$^{o}C$۲۲/۶) بوده است. این میزان دمای معادل فیزیولوژیک در خردادماه در طول ده‌ساله در محدوده آسایش حرارتی بیرونی قرار داشته است، اما در سال‌های اخیر میزان ΔPET در این ماه در طی ده‌ساله به میزان ۱,۷+ افزایش داشته است و به سمت خروج از محدود آسایش در حال حرکت است. همچنین تغییرات دمای معادل فیزیولوژیکی در فروردین‌ماه در این مدت بین ($^{o}C$۷/۴<PET<$^{o}C$۱۱/۲) بوده است که نشان از قرارگیری در محدوده استرس سرمایی را دارد و تنها در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳ در محدوده استرس سرمایی معتدل قرار داشته است (PET=۷/۴، PET=۴/۴) .از سال ۲۰۱۷ در اردیبهشت‌ماه میزان ارزش دمای معادل فیزیولوژیکی وارد محدوده آسایش حرارتی بیرونی شده است (PET=۲۰/۵) که نسبت به مدت مشابه خود در سال گذشته تغییرات $^{o}C$۳/۸+ را داشته است.

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

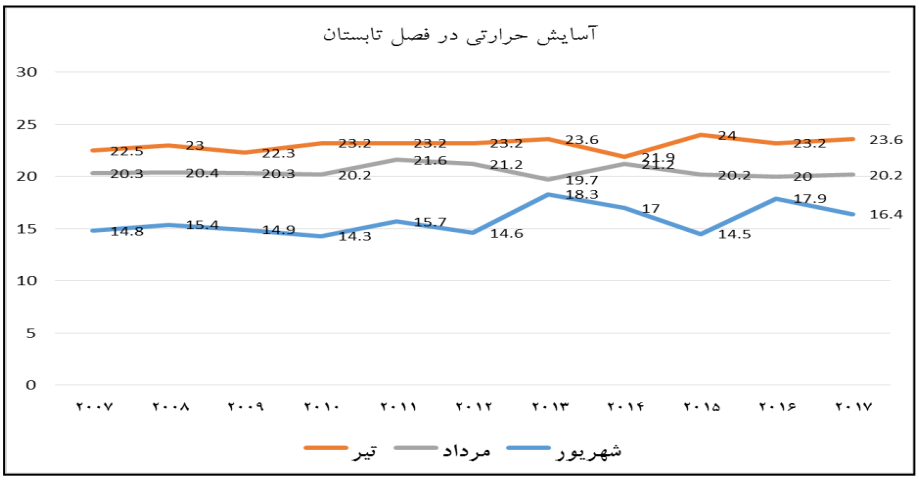
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]




**شکل ۵- میزان تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در دوره ده‌ساله ۲۰۰۷-۲۰۱۷ در فصل بهار**

**میزان تأثیر تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی در فصل تابستان**

شکل ۶ میزان تغییرات آسایش حرارتی بیرونی را در طی ده سال در فصل تابستان نشان می‌دهد. تغییرات این شاخص در فصول تابستان بین ۱۴/۳ و ۲۴ سانتی‌گراد متغیر بوده است که حاکی از ورود به محدوده استرس گرمایی است. میانگین پارامترهای اقلیمی ماه‌های تیر و مرداد در بازه ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ در محدوده آسایش حرارتی بیرونی (۱۸<PET<۲۳) قرارگرفته است؛ اما این میزان از سال ۲۰۱۵ در تیرماه به عدد ۲۴ سانتی‌گراد رسیده است و از محدوده آسایش خارج‌شده و وارد محدوده استرس گرمایی شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان آسایش حرارتی بیرونی از سال ۲۰۰۷ در ماه‌های تیر و مرداد روند افزایشی را در پیش‌گرفته است. این افزایش در شهریورماه نیز وجود دارد که این تمایل با نوسان در این ماه همراه است. میزان اختلاف دمای معادل فیزیولوژیکی در این فصل نشان‌دهنده آن است که تمایلات تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در حال خروج از محدوده آسایش است و به سمت تنش گرمایی پیش می‌رود.




**شکل ۶- میزان تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در دوره ده‌ساله ۲۰۰۷-۲۰۱۷ در فصل تابستان**

**میزان تأثیر تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی در فصل پاییز**

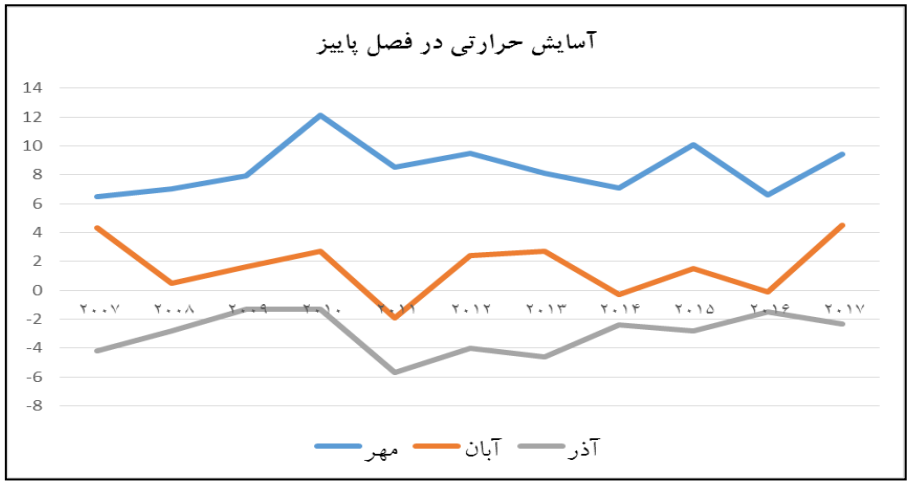
تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در فصول پاییز نشان می‌دهد که ماه‌های این فصل دارای نوساناتی در محدوده استرس سرمایی قوی می‌باشد (۵/۷-<PET<۱۲/۱). در مهرماه سال ۲۰۱۷ این مقدار به میزان PET = ۹/۶ رسیده است که نسبت به

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

DOI: 10.29252/geores.33.3. 38

مدت مشابه در سال ۲۰۱۶ به میزان ۲/۸+ افزایش داشته است. بااین‌حال همچنان در محدوده احساس حرارتی سرد قوی می‌باشد. در آبان ماه میزان تغییرات دمای معادل فیزیولوژیک نوساناتی را در طی ده سال شاهد بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تا قبل از سال ۲۰۱۶ آسایش حرارتی بیرونی در محدوده احساس حرارتی خیلی سرد بوده است و از سال ۲۰۱۷ (PET=۴/۵) میزان این شاخص افزایش‌یافته و به سمت محدوده احساس حرارتی سرد پیش رفته است.

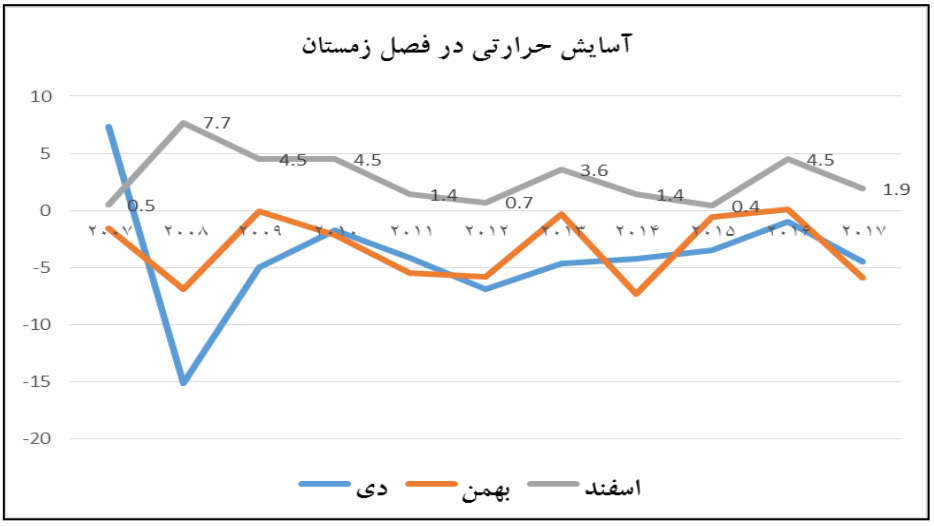



**شکل ۷- میزان تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در دوره ده‌ساله ۲۰۰۷-۲۰۱۷ در فصل پاییز**

### میزان تأثیر تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی در فصل زمستان

تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در فصل زمستان شهر مشهد در بازه ۲۰۰۷-۲۰۱۷ در شکل ۸ نشان داده‌شده است. ازآنجایی‌که در دسته‌بندی محدوده آسایش حرارتی بیرونی چنانچه ارزش دمای معادل فیزیولوژیکی کمتر از ۱۸ باشد به سمت محدوده تنش سرمایی در حال حرکت است؛ بررسی‌های تغییرات دمای معادل فیزیولوژیکی در این فصول نشان می‌دهد که این محدوده در رنج ۱۵/۱-<PET<۷/۳ قرارگرفته است. در دی‌ماه میزان تغییرات دمای معادل فیزیولوژیکی در دی‌ماه به‌جز سال ۲۰۰۷ در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ در محدوده بین ۱۵/۱- و ۴/۵- در نوسان بوده است. در این سال‌ها در محدوده تنش سرمایی بوده است اما در حال خروج از این محدوده است و به سمت گرم شدن پیش می‌رود. بررسی تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در فصول زمستان نشان می‌دهد که این فصل در طی ده سال (PET>-۱۵/۱) در محدوده استرس سرمایی بوده است که در ماه‌های دی و بهمن این تنش بیشتر دیده می‌شود و در ماه اسفند در طی این مدت تغییرات محدوده سرمایی داشته و به سمت گرم شدن پیش می‌رود.

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]




**شکل ۸- میزان تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در دوره ده‌ساله ۲۰۰۷-۲۰۱۷ در فصل زمستان**

## نتیجه‌گیری

این مقاله به دنبال ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی برآسایش حرارتی بیرونی و سلامت انسان‌ها در شهر مشهد، با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی به‌عنوان پرکاربردترین شاخص آسایش حرارتی بیرونی است که قابلیت سنجش دقیق‌تری از میزان آسایش حرارتی بیرونی را داراست و توسط برنامه‌ریزان و طراحان به‌صورت گسترده مورداستفاده قرار می‌گیرد. ارزش دمای معادل فیزیولوژیکی ماهانه برای شهر مشهد توسط نرم‌افزار ریمن با استفاده از داده‌های هواشناسی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج این بررسی با مطالعات فلاح و همکاران (۱۳۹۵) هم‌خوانی داشته است (Fallah Ghalhari, Esmaili, & Shakeri, 2016) و گرم شدن اقلیم شهر مشهد را در فصول بهار و تابستان را مورد تأیید قرار می‌دهد. همچنین نتایج این پژوهش با مطالعات شمس و همکاران (۱۳۹۳) در مورد کاهش آسایش حرارتی بیرونی در ماه‌های گرم سال هم‌خوانی دارد (Shams, Safari Rad, & Ghasemi, 2014).

این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار دمای معادل فیزیولوژیکی با میزان تغییرات اقلیمی نسبت مستقیم دارد و با تشدید اثرات تغییرات اقلیمی چون موج گرما ارزش دمای معادل فیزیولوژیک در حال افزایش است. یافته‌ها حاکی از آن است که در سال‌های اخیر میزان ΔPET در خردادماه در طی ده‌ساله به میزان ۱/۷+ افزایش داشته است و به سمت خروج از محدود آسایش حرارتی بیرونی در حال حرکت است و در اردیبهشت‌ماه ارزش دمای معادل فیزیولوژیکی تغییرات $^{o}C$ ۳/۸ + را داشته است. میزان دمای معادل فیزیولوژیکی از سال ۲۰۱۵ در تیرماه به عدد ۲۴ سانتی‌گراد رسیده است و از محدوده آسایش حرارتی بیرونی خارج‌شده و وارد محدوده استرس گرمایی شده است.

از سویی دیگر بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان آسایش حرارتی بیرونی از سال ۲۰۰۷ در ماه‌های تیر، مرداد روند افزایشی را در پیش‌گرفته است. لذا یافته‌ها در این بخش حاکی از آن است که شاخص دمای معادل فیزیولوژیکی در فصول گرم سال و به‌ویژه ماه‌های تیر و مرداد در حال خارج شدن از محدوده آسایش حرارتی بیرونی و ورود به محدوده استرس گرمایی است که این عدد از سال ۲۰۱۷ به بعد با میزان PET=۲۳/۶ از محدوده آسایش حرارتی بیرونی خارج‌شده است. می‌توان گفت تغییرات ΔPET در ماه تیر در طی ده سال به میزان ۱/۱ سانتی‌گراد افزایش‌یافته است که روند سریعی را در پیش‌گرفته است. لذا بررسی‌ها نشان می‌دهد که از سال ۲۰۱۷ آسایش حرارتی بیرونی در فصل گرما روند افزایش را داشته است و در حال خروج

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

DOI: 10.29252/geores.33.3. 38

از محدوده آسایش است. بررسی‌های ده‌ساله در فصل پاییز نشان می‌دهد که از سال ۲۰۱۷ در مهرماه دمای معادل فیزیولوژیکی به میزان PET = ۹/۶ رسیده است که نسبت به مدت مشابه در سال ۲۰۱۶ به میزان ۲/۸+ افزایش داشته است.

از طرفی دیگر در فصل زمستان علی‌رغم نوساناتی که در سال‌های مختلف در ارزش دمای معادل فیزیولوژیکی وجود دارد، بااین‌وجود افزایش دما در طی ده سال اتفاق افتاده است به‌طوری‌که در دی‌ماه میزان تغییرات دمای معادل فیزیولوژیکی به‌جز سال ۲۰۰۷ در بازه سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ در محدوده بین ۱۵/۱- و ۴/۵- در نوسان بوده است اما در حال خروج از این محدوده است و به سمت گرم شدن پیش می‌رود. این تغییرات در اسفندماه نیز وجود دارد به‌نحوی‌که ΔPET در ماه اسفند در طی دوره ده‌ساله به میزان ۱/۴ سانتی‌گراد درجه افزایش داشته است.

به‌عبارتی‌دیگر از ده سال پیش تاکنون میزان تغییرات ΔPET در زمستان تغییرات چشم‌گیری را داشته است. هرچند این روند در فصول مختلف سال در جهت ورود به محدوده آسایش حرارتی بیرونی مطلوب به نظر می‌رسد اما سبب می‌شود تا تابستان‌های گرم‌تری را در پی داشته باشد. لذا می‌توان گفت فصول سرد سال در شهر مشهد در پی تغییرات اقلیمی و موج گرمابه سمت گرم‌تر شدن پیش می‌رود و فصول گرم سال نیز از محدوده آسایش حرارتی بیرونی خارج‌شده و به سمت تنش گرمایی حرکت می‌کند که در آینده نزدیک سلامت انسان‌ها را هر چه بیشتر در معرض خطر قرار می‌دهد.

همچنین تغییرات دمای معادل فیزیولوژیکی در ماه‌های فروردین‌ماه و اردیبهشت در حال ورود به محدوده آسایش حرارتی بیرونی می‌باشد. علاوه بر این نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در ده‌ساله گذشته شهر مشهد در فصول مختلف سال با تغییرات قابل‌توجهی روبرو بوده است.

این امر نشان‌دهنده نرخ سریع تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر شهرها است. پیشنهاد می‌شود تا مطالعات آتی با استفاده از نرم‌افزارهای حوزه اقلیمی نسبت به آینده تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی تغییرات آسایش حرارتی بیرونی در شهر مشهد انجام شود تا از این ره‌آورد بتوان به آینده پیش روی سلامت انسان‌ها در شهر مشهد دست‌یافت. از سویی دیگر مطالعاتی در زمینه برنامه‌های کاهش تأثیرات تغییرات اقلیمی در زمینه‌های زیر ضروری به نظر می‌رسد:

- بررسی تأثیرات فرم‌های شهری بر تغییرات اقلیمی و میزان آسایش حرارتی بیرونی.
- بررسی تأثیرات برنامه‌ریزی شهری بر روی تغییرات اقلیمی و میزان شدت آن.
- تأثیرات تغییرات اقلیمی بر سلامت و آسایش انسان‌ها.

## تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور که ما را برای انجام این تحقیق یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نماییم.

**سهم نویسندگان:** الهام ثناگر(نویسنده اول)، نگارنده بحث (۴۰٪)، مجتبی رفیعیان (نویسنده دوم)، روش‌شناسی (۲۰٪)، تکتم حنایی (نویسنده سوم، مسئول)، روش‌شناسی (۲۰٪) ، دانیال منصفی پراپری (نویسنده چهارم)، تحلیل‌گر(۲۰٪)

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]
[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

## منابع و مآخذ


Akbari, H., & Konopacki, S. (2004). Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. *Energy, 29*(2), 191-210.

Ali-Toudert, F. (2005). *Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate.* (PhD ), Universität Freiburg.

Analitis, A., Katsouyanni, K., Biggeri, A., Baccini, M., Forsberg, B., Bisanti, L., . . . Michelozzi, P. (2008). Effects of cold weather on mortality: Results from 15 European cities within the PHEWE project. *American Journal of Epidemiology, 168*(12), 1397-1408.

ASHRAE. (2009). Fundamentals, American society of heating, refrigerating and air: Conditioning Engineers Pub.

ASHRAE. (2004). Fundamentals, American society of heating, refrigerating and rir: Conditioning Engineers Pub.

Cheung, C. S. C., & Hart, M. A. (2014). Climate change and thermal comfort in Hong Kong. *International Journal of Biometeorology, 58*(2), 137-148.

Cimellaro, G. P. (2016). *Urban resilience for emergency response and recovery*. Switzerland: Springer

Dai, Q. (2014). *The impact of urban form on thermal comfort across street zones.* (PhD ), The Chinese University of Hong Kong.

Djongyang, N. l., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*(9), 2626-2640.

Draper, D. B., & Richards, P. A. (2009). *Dictionary for managing trees in urban environments*: Csiro Publishing.

Ebrahimzadeh, I., & Esmaeil Negad, M. (2017). The future challenge of climatic refugees regional developments dase study: South Khorasan. *Geography and Development, 15*(48), 1-18. (Persian).

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. J. (2010). *Urban microclimate: Designing the spaces between buildings*. London: Taylor & Francis Group.

Fallah Ghalhari, G., Esmaili, R., & Shakeri, F. (2016). Assessing the seasonal variability of thermal stresses during the last half century in some climatic zones of Iran. *Iranian Journal of Health and Environment, 9*(2), 233-246. (Persian)

Fanger, P. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. New York: McGraw-Hill pub.

Hajat, S., Armstrong, B., Baccini, M., Biggeri, A., Bisanti, L., Russo, A., . . . Kosatsky, T. (2006). Impact of high temperatures on mortality: Is there an added heat wave effect? *Epidemiology, 17*(5), 632-638.

Hansen, A., Bi, P., Nitschke, M., Ryan, P., Pisaniello, D., & Tucker, G. (2008). The effect of heat waves on mental health in a temperate Australian city. *Environmental Health Persepectives, 116*(10), 1369-1375.

Heidari, S., & Monam, A. (2013). Evaluation of thermal comfort indices in outdoor space,. *Journal of Geography and Regional Development, 11*(20), 192-216. (Persian)

Hensel, H. (1981). Thermoreception and Temperature Regulation. *Monographs of the Physiological Society, 38*, 1-321.

Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings, 34*(6), 661-665.

IPCC. (2007). Climate change synthesis report - summary for policymakers: Retrieved from Cambridge University Press.

Johansson, E. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment, 41*(10), 1326-1338.

Karimian, Z. (2013). *Optimization of urban green space for the comfort of the warmest period of the year using modeling methods.* (PhD ), Ferdosi University of Mashhad, Mashhad. (Persian)

Linares, C., & Dı´az, J. (2008). Impact of high temperatures on hospital admissions: Comparative analysis with previous studies about mortality (Madrid). *European Journal of Public Health, 18*(3), 317-322.

Matzarakis, A., Mayer, H., & Rutz, F. (2002). *Radiation and thermal comfort*. Paper presented at the 6th Hellenic Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics

Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology, 54*(2), 131-139.

Monsefi Parapari, D. (2015). *Adaptation to climate change and thermal comfort.* (PhD), Dortmund University of Technology.

Morris, J. (2008). *History of urban form: Before the industrial revolutions* (R. Rezazadeh, Trans.). Tehran: Iran University of Science & Technology. (Persian)

Oliver, J. E. (2005). *Encyclopedia of world climatology*. Netherlands: Springer


[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]

DOI: 10.29252/geores.33.3. 38

Pirard, P., Vandentorren, S., Pascal, M., Laaidi, K., Le Tertre, A., Cassadou, S., & Ledrans, M. (2005). Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France. *Euro Surveill, 10*(7), 153-156.

Prasad, N., Ranghieri, F., Shah, F., Trohanis, Z., Kessler, E., & Sinha, R. (2009). *Climate resilient cities: A primer on reducing vulnerabilities to disasters*. Washington, DC: World Bank.

Qanbarzadeh, H., & Behniafar, A. (2007). *Fundemental of environmental change*. Mashhad: Islamic Azad University Press. (Persian)

Roaf, S., Crichton, D., & Nicol, F. (2009). *Adapting buildings and cities for climate change: A 21st century survival guide*. Oxford, United Kingdom: Taylor, Francis Ltd.

Shams, M., Safari Rad, A., & Ghasemi, A. (2014). Assessing climate conditions of Mashhad city using the quantitative indices of thermal comfort, . *Gerographical Journal of Tourism Space, 3*(10), 91-104. (Persian)

Szokolay, S. V. (2008). *Architectural science the basis of sustainable design*. Oxford: Elsevier

Taylor, J., Wilkinson, P., Davies, M., Armstrong, B., Chalabi, Z., Mavrogianni, A., . . . Bohnenstengel, S. I. (2015). Mapping the effects of urban heat island, housing, and age on excess heat-related mortality in London. *Urban Climate, 14*, 517-528.

Wilkinson, P., Landon, M., Armstrong, B., Stevenson, S., & McKee, M. (2001). *Cold comfort: The social and environmental determinants of excess winter death in England.* Bristol: The Policy Press.

Yang, L., Qian, F., Song, D.-X., & Zheng, K.-J. (2016). Research on urban heat-island effect. *Procedia Engineering, 169*, 11-18.

Yilmaz, S., Akif Irmak, M., & Matzarakis, A. (2013). The importance of thermal comfort in different elevation for city planning. *Global Nest Journal, 15*(4 ), 408-420.

Yow, D. M. (2007). Urban heat Islands: Observations, impacts, and adaptation. *Geography Compass, 1*(6), 1227-1251.

Zolfaghari, H. (2008). Determination of suitable calendar for tourism in Tabriz with using the thermo-physiological indices (PET and PMV). *Journal of Geographical Studies, 39*(62), 129-141. (Persian)

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-06-11 ]

[ DOI: 10.29252/geores.33.3.38 ]