

Evaluating of the Impact of Environmental Indicators on Thermal Comfort for Different Climates in Iran Using the PMV Model

Vahid Rezaee * , Abouzar Taghizadeh

Department of Mechanical Engineering and Electrical Engineering, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran.

ABSTRACT: In this study, environmental indicators for ensuring thermal comfort conditions for the design of residential buildings in various climatic conditions of Iran have been investigated and evaluated. This study proposes the impact of climatic indicators on building design using coding and the ASHRAE 55 standard thermal comfort model in the Climate Consultant software. Iranian cities are divided into 9 climates using the Köppen climatology method. The environmental indicator parameters in these 9 climates include temperature ranging from 18 to 38 degrees Celsius, air velocity between 0.1 to 0.5 meters per second, relative humidity between 40 to 80 percent, metabolic rate (met) between 0.7 to 2, and clothing insulation (clo) ranging from 0.5 to 1.5, which are generated randomly. The results of active methods (evaporative cooling, heating and humidification, cooling and dehumidification) and passive methods (window shading, direct passive solar heating) for thermal comfort showed that for the four scenarios (winter and summer clo, and met), the best performance was in the scenarios of (winter and summer clo at 0.5 and met at 2). For most climates in Iran, comfortable conditions are achieved with passive methods for approximately 15 to 20 percent of the year.

Review History:

Received: Jan. 20, 2025

Revised: Mar. 10, 2025

Accepted: Apr. 17, 2025

Available Online: Apr. 19, 2025

Keywords:

Passive Cooling

Thermal Comfort

PMV Model

Koppen Climatology

Air Conditioning

1- Introduction

Thermal comfort refers to an individual's subjective satisfaction with their environmental conditions; therefore, thermal comfort has a direct impact on the health and morale of individuals [1]. Consequently, maintaining thermal comfort for building occupants is the primary goal of design engineers, architects, and building operators (heating, ventilation, and air conditioning). According to ASHRAE Standard 55, thermal comfort indicates that individuals wearing typical clothing experience a balanced comfort condition. This comfort condition is achieved when air temperature, relative humidity, and air velocity are within a specific range, often referred to as the comfort zone [2].

Sheikhzadeh et al. [1] numerically investigated the impact of fan speed and placement on thermal comfort parameters and energy consumption in office buildings. Hamze Nejad et al. [3] studied thermal comfort and the PMV and PPD comfort indices based on light and the orientation of houses in the traditional context of Yazd. Sheng Xian Wei et al. [4] examined PMV indices for natural ventilation in residential buildings in one of the provinces of China. Monjazi and Eslamimoghadam [5] used the PMV model to assess thermal comfort in urban outdoor spaces along the sidewalks of Khorramabad during the summer season. Cyril Bris Zizi et al. [6] predicted thermal comfort in air-conditioned buildings in hot and humid areas of South Africa using the PMV and PPD models. Amini et al.

[7] numerically evaluated the performance of an office space equipped with a radiant cooling system in terms of thermal comfort conditions and indoor air quality using ANSYS Airpak software. Mohammadi et al. [8] utilized the PMV model to create a bioclimatic map of Iran for all months of the year. Finally, Taheri et al. [9] investigated the thermal comfort status of employees at the Al-Zahra Educational and Treatment Center using the PMV model.

The three relevant standards related to thermal comfort are the International Standard ISO 7730 (2005), the European Standard EN 15251 (CEN 2007), and ASHRAE 55 (2010) [2]. The International Standard ISO 7730 can be used to determine the PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indices. This standard applies to healthy individuals exposed to indoor environmental conditions. Three software programs that perform thermal comfort calculations include two that are capable of visualizing comfort conditions: the Climate Consultant software, the Ecotect Weather software, and the ASHRAE Thermal Comfort software. Among the four comfort models in Climate Consultant, the second model corresponds to ASHRAE 55 and is known as the PMV model.

In this study, the impact of environmental parameters including temperature, wind speed, relative humidity, metabolic rate, and insulation on thermal comfort was evaluated in nine climates of Iran using the Climate Consultant

*Corresponding author's email: Vrezaee@nus.ac.ir

Table 1. Thermal sensation scale used by Fanger.

PMV	Thermal sensation
-3	Cold
-2	Cool
-1	Slightly cool
0	Neutral
+1	Slightly warm
+2	Warm
+3	Hot

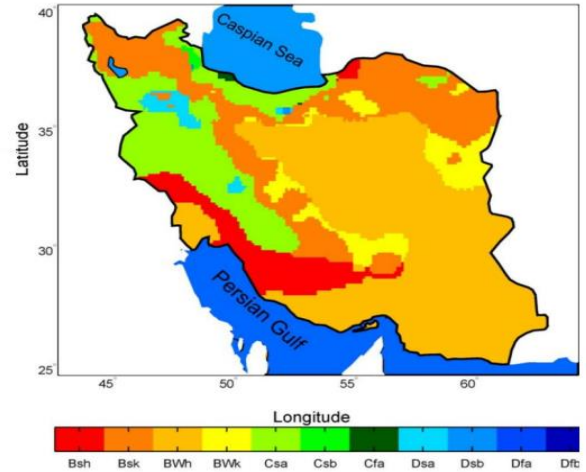
software with the PMV model. Additionally, the influence of climatic indices on building design was proposed through coding in Python and the ASHRAE 55 standard thermal comfort model in the Climate Consultant software.

2- Methodology

PMV is an index that predicts the mean value of the votes of a large group of persons on a seven-point thermal sensation scale (see Table 1) [4]. An environment is considered as very comfortable when PMV varies between 0.5 and +0.5.

Most of Iran is located in a temperate region with latitudes between 25- and 40 degrees north latitude. Iran has a high plateau with a majority of its territory rising beyond 475 meters above sea level. Although Iran is sandwiched between two sizable water basins (the Caspian Sea and the Persian Gulf), the effects of these basins are only felt in the immediate vicinity due to the Alborz and Zagros Mountain ranges and their geographic location. Because of this, these enormous water basins rarely have an impact on controlling the temperature of the country's interior. The produced climate map now shows more information about the country's climate zones thanks to the Köppen-Geiger method and the usage of numerous additional stations with a nearly regular distribution throughout the nation [10]. Therefore, although there are various classifications for Iran's climate, a good way to achieve a basis for determining the country's climatic zones is the Köppen-Geiger climate classification (Figure 1).

The present study aims to investigate climatic factors including temperature, humidity, wind speed, and environmental factors such as insulation and metabolic rate in cities of Iran. The methodology involves using EPW format weather files for each region, which have been extracted from websites like EnergyPlus for the climatic conditions of cities in Iran and other parts of the world. By inputting the weather files of selected cities into the Climatic Consultant software, climatic charts are generated and analyzed using the software. The output results include active methods (evaporative cooling, heating and humidification, cooling and

**Fig. 1. Köppen-Geiger climate classification map of Iran**

dehumidification, individual dehumidification) and passive methods (window shading and passive solar heat gain) for thermal comfort in nine climates of Iran for four scenarios (winter and summer clothing insulation and metabolic rate).

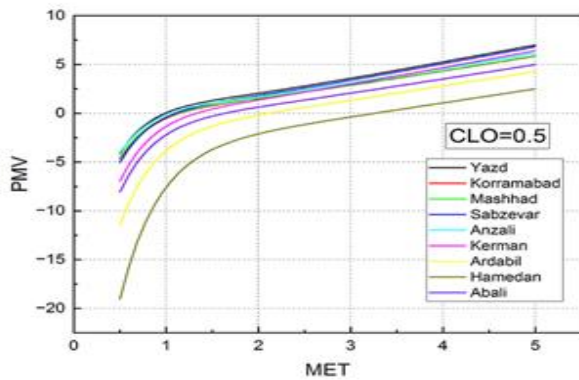
3- Discussion and Results

This research aims to examine and evaluate environmental indicators for ensuring thermal comfort conditions in the design of residential buildings for various climatic conditions using the ASHRAE 55 PMV model. By coding in Python and utilizing the ASHRAE 55 thermal comfort model in the Climate Consultant software, the impact of climatic indicators on building design is proposed. The environmental indicator parameters include temperature, wind speed, relative humidity, metabolic rate, and insulation covering, which are used in the PMV model. The selected data for temperature ranges from 18 to 38 degrees Celsius, air speed from 0.1 to 0.5 meters per second, relative humidity from 40 to 80 percent, metabolic rate from 0.7 to 2, and insulation covering from 0.5 to 1.5, all generated randomly. In total, 13 random datasets have been produced, providing sufficient diversity for analyzing the indicators. Initially, the data was generated, and the calculation results are presented in tabular form. Graphs have been drawn separately and in combination to observe the impact of each variable both individually and collectively.

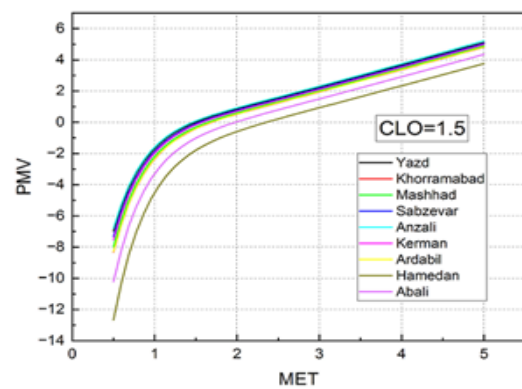
In Figures 2a and 2b, and Figures 3a and 3b, the PMV and PPD graphs are shown against the MET for a winter CLO of 0.5 and a summer CLO of 1.5 in 9 climates of Iran, respectively.

4- Conclusions

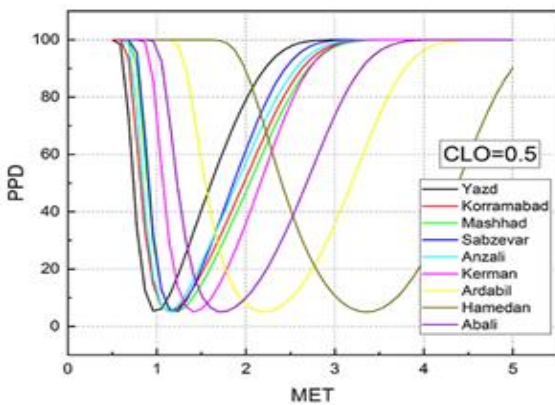
In this study, the impact of climatic indices on building design was proposed using coding and the ASHRAE 55 thermal comfort model in Python and the Climate Consultant software. The environmental index parameters include



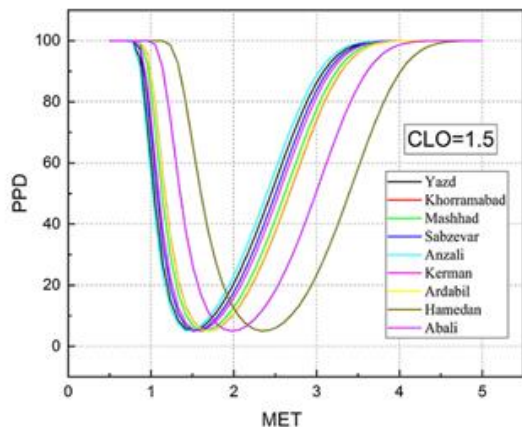
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 2. The PMV and PPD chart at aClo of 0/5 for 9 regions of Iran

Fig. 3. The PMV and PPD chart at aClo of 1/5 for 9 regions of Iran

temperature, wind speed, relative humidity, metabolic rate, and insulation cover, which are utilized in the PMV model. Additionally, the results were examined for four scenarios (CLO winter 0.5, CLO summer 0.5, and MET equal to 0.7), (CLO winter 1, CLO summer 0.5, and MET equal to 1.1), (CLO winter 1.5, CLO summer 0.5, and MET equal to 2), and (CLO winter 1.5, CLO summer 1.5, and MET equal to 2) for nine climates of Iran in residential buildings. The nine climates identified by Köppen-Geiger for Iran include BWh, BSk, BSh, BWk, CSa, CSb, CFa, DSa, and DSb, which were studied for thermal comfort conditions. By inputting climate data in EPW format into the Climate Consultant software and using ASHRAE 55 standards and the PMV model, the output results for these climates included active methods (evaporative cooling, heating and humidification, cooling and dehumidification, individual dehumidification) and passive methods (window shading, direct passive solar heat gain) for thermal comfort.

References

- [1] G.A. Sheikhzadeh, S. Sadripour, M. Mollamahdi, Numerical Study of the Effects of Speed and Place of Ceiling Fans on Thermal Comfort and Reducing Energy in Office Buildings, *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 50(2) (2018) 309-326. (in Persian)
- [2] S. Schiavon, T. Hoyt, A. Piccioli, Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55, in: *Building Simulation*, Springer, 2014, pp. 321-334.
- [3] M. Hamze Nejad, F. Fadaee, P. Ildarabadi, Evaluation of comfort and thermal comfort (PMV and PPD) according to daylight and home orientation in Yazd traditional houses (Case study: Malekzade home in Yazd city), *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 8(11) (2020) 151-182. (in Persian)
- [4] S. Wei, M. Li, W. Lin, Y. Sun, Parametric studies and evaluations of indoor thermal environment in wet season using a field survey and PMV-PPD method, *Energy and Buildings*, 42(6) (2010) 799-806.
- [5] N.M. MONJEZI, A. ESLAMIMOGHADAM, Investigation of PMV index in thermal comfort of urban

- open spaces in summer Case study: River sidewalk near Khorramabad, Lorestan, *Urban Design Discourse-a Review of Contemporary Litreatures and Theories*, 2(3) (2022) 19-41. (in Persian)
- [6] C.B. Ze Ze, L. Nneme Nneme, L. Monkam, PMVd/PPDd model for predicting thermal comfort in air-conditioned buildings in hot and humid regions of Sub-Saharan Africa, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 32(1) (2024) 19.
- [7] M. Amini, A. Minaei, N. Moallemi Khiavi, Numerical evaluation of thermal comfort and indoor air quality in an office space equipped with a radiant ceiling cooling system and hybrid radiative-convective cooling system, *Journal of Modeling in Engineering*, 22(77) (2024) 37-56.
- [8] B. Mohammadi, P. Mohammadkhani, M.H. Gholizadeh, Preparing Iran's bioclimatic map by using the predicted mean vote index, *Geographical Research*, 32(2) (2017) 21-39.
- [9] M. Taheri, H. Dehghan, B. Mahaki, N. Khoshzat, Assessment of thermal comfort Alzahra hospital staffs and comparison with the ASHRAE Standard 55-2010, *Journal of Health System Research*, 9(12) (2014) 1283-1292.
- [10] T. Razinei, Koppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century, (2017). (in Persian)



ارزیابی تاثیر شاخص‌های محیطی در آسایش حرارتی برای اقلیم‌های مختلف ایران با مدل پی‌ام‌وی

وحید رضائی*^{id}، ابودر تقی‌زاده

گروه مهندسی مکانیک و مهندسی برق، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱
بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۰
پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۸
ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

کلمات کلیدی:

سرمايش غيرفعال
آسایش حرارتی
مدل پی‌ام‌وی
اقلیم شناسی کوپن
تهویه مطبوع

خلاصه: در این پژوهش شاخص‌های محیطی در تامین شرایط آسایش حرارتی جهت طراحی ساختمان‌های مسکونی برای شرایط مختلف اقلیمی ایران بررسی و ارزیابی شده است. این بررسی با استفاده از کدنویسی و مدل آسایش حرارتی استاندارد اشری در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت، تاثیر شاخص‌های اقلیمی روی طراحی ساختمان را پیشنهاد می‌دهد. شهرهای ایران با روش اقلیم‌شناسی کوپن به ۹ اقلیم تقسیم می‌شوند. پارامترهای شاخص محیطی در این ۹ اقلیم شامل دما بین ۱۸ تا ۳۸ درجه سلسیوس، سرعت هوا بین ۰/۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه، رطوبت نسبی بین ۴۰ تا ۸۰ درصد، نرخ متابولیک (میت) بین ۰/۷ تا ۲ و عایق لباس (کلو) ۰/۵ تا ۱/۵ به صورت تصادفی تولید می‌شوند. نتایج روش‌های فعال (سرمايش تبخیری، گرمایش و رطوبت‌زنی، سرمايش و رطوبت‌گیری) و روش‌های غیرفعال (سایه‌اندازی پنجره‌ها، حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی) برای آسایش حرارتی نشان داد که برای چهار حالت (کلو زمستانی، تابستانی و میت) بهترین عملکرد در حالت (کلو زمستانی و تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲)، برای اکثر اقلیم‌های ایران تقریباً ۱۵ تا ۲۰ درصد اوقات سال شرایط آسایش با روش‌های غیرفعال برقرار است.

۱- مقدمه

می‌کنند. برای محاسبه درجه حرارت آسایش حرارتی یک گروهی از افراد، فانگر شاخص پی‌ام‌وی^۳ (میانگین رای پیش‌بینی شده) را طراحی کرد. مدل پی‌ام‌وی شاخصی برای پیش‌بینی میانگین آرای حرارتی افراد بر اساس یک مقیاس هفت نقطه‌ای احساس حرارتی می‌باشد. شاخص پی‌ام‌وی بر مبنای تعادل حرارتی بدن استوار است. چهار متغیر محیطی دمای هوا، میانگین دمای تابشی، رطوبت و سرعت وزش باد به طور مستقیم و نرخ فعالیت (میت) و نرخ پوشش و لباس (کلو) به صورت غیرمستقیم بر شاخص پی‌ام‌وی و آسایش حرارتی تاثیر می‌گذارند. در زمینه آسایش حرارتی و مدل پی‌ام‌وی پژوهش‌های زیادی انجام شده است.

شیخ‌زاده و همکاران [۱] تاثیر سرعت و مکان قرارگیری فن سقفی بر پارامترهای آسایش حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان اداری را به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص‌های آسایش حرارتی پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی^۴ (درصد نارضایتی حرارتی پیش‌بینی شده) تنها شرط لازم برای تامین آسایش حرارتی انسان نیست و شرط کافی بررسی

آسایش حرارتی بیانگر احساس رضایت ذهنی فرد نسبت به شرایط محیط است، لذا شرایط آسایش حرارتی اثر مستقیمی بر سلامت و روحیه افراد دارد [۱]. بنابراین حفظ آسایش حرارتی برای ساکنان ساختمان، هدف اصلی مهندسين طراح، معماران و اپراتورهای ساختمان (گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع)^۱ می‌باشد. طبق استاندارد اشری^۲ آسایش حرارتی نشان می‌دهد، افرادی که لباس معمولی می‌پوشند، شرایط راحتی متعادلی را تجربه می‌کنند. این شرایط راحتی زمانی حاصل می‌شود که دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت هوا در محدوده مشخصی باشد که اغلب به آن منطقه آسایش می‌گویند [۲].

شش عامل موثر بر آسایش حرارتی شامل شرایط محیطی و شخصی ممکن است مستقل از یکدیگر باشند، اما با هم به آسایش حرارتی فرد کمک

1. heating, ventilation, and air conditioning (HVAC)
2. ASHRAE 55

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: vrezaee@nus.ac.ir



جداگانه پارامترهای پنج‌گانه تشکیل‌دهنده شرایط آسایش حرارتی است.

حمزه‌نژاد و همکاران [۳] آسایش حرارتی و شاخص‌های آسایش حرارتی مدل پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی بر مبنای نور و جهت‌گیری خانه در بافت سنتی خانه‌های شهر یزد را با نرم‌افزار الگوریتمیک گرس‌هاپر ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که قرارگیری اتاق پنج دری در حالت روان راسته معادل ۳۰۰ لوکس نور دریافت می‌کند. همچنین با پی‌ام‌وی برابر با ۰/۵۳+ و پی‌پی‌دی برابر با ۱۴/۳۸ درصد بالاترین شرایط آسایش حرارتی را دارد.

شنگ شیان وی^۱ و همکاران [۴] شاخص‌های پی‌ام‌وی برای تهویه طبیعی مسکونی در یکی از استان‌های چین را انجام دادند. نتایج نشان داد که مقادیر پی‌ام‌وی تقریباً از ۱- تا ۱+ متفاوت است و محیط حرارتی داخلی اساساً در حالت آسایش قرار دارد. ارتباط پارامترها (دمای هوای داخل و خارج، میانگین دمای تابشی، پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی و گرادیان دمای هوای داخل ساختمان (عمودی و افقی) نیز با استفاده از رگرسیون خطی و تکنیک‌های برازش چند جمله‌ای درجه دوم مورد مطالعه قرار گرفتند.

منجزی و اسلامی‌مقدم [۵] با استفاده از مدل پی‌ام‌وی آسایش حرارتی فضای باز شهری در پیاده‌روهای شهر خرم‌آباد در فصل تابستان را انجام دادند. نتایج نشان داد که عواملی نظیر انتخاب جهت مسیر حرکت، ساعت پیاده‌روی، عرض پیاده‌رو، وجود درختان و پوشش گیاهی، سایه، آب و همچنین عواملی نظیر نرخ متابولیک و فعالیت و عایق لباس در میزان آسایش حرارتی تاثیرگذار است.

زی^۲ و همکاران [۶] پیش‌بینی آسایش حرارتی در ساختمان‌های دارای تهویه مطبوع در مناطق گرم و مرطوب آفریقای جنوبی با مدل پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی را انجام دادند. این مدل نشان می‌دهد که دمای آسایش بهینه پیش‌بینی‌شده در محدوده ۲۶/۱ درجه سلسیوس تا ۲۷/۵ درجه سلسیوس قرار دارند و همچنین به نظر می‌رسد که محدوده رطوبت برای آسایش بین ۳۰ تا ۸۰ درصد است.

امینی و همکاران [۷] عملکرد یک فضای اداری مجهز به سیستم سرمایش تابشی را از نظر شرایط آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخل با نرم‌افزار انسیس ایرپک به صورت عددی مورد مطالعه قرار دادند. برای دمای ۱۸ و ۱۹ درجه سلسیوس و ۲۰ تا ۲۶ درجه سلسیوس مقادیر پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی بدست آمد. محمدی و همکاران [۸] با استفاده از مدل پی‌ام‌وی نقشه زیست اقلیم ایران را برای تمامی ماه‌های سال تهیه کردند. نتایج نشان داد که شرایط زیست اقلیمی در بازه زمانی و مکانی در گستره ایران

1. Sheng xian Wei
2. Cyrille Brice Ze Ze

دارای تنوع بسیار زیادی است. به گونه‌ای که یک مکان می‌تواند در طول سال هم از شرایط خیلی سرد تا شرایط خیلی گرم برخوردار باشد. طاهری و همکاران [۹] وضعیت آسایش حرارتی در کارکنان مرکز آموزشی درمانی الزهرا به کمک مدل پی‌ام‌وی را انجام دادند. مقدار عددی شاخص پی‌ام‌وی برای بخش‌های آشپزخانه، لندری و استریلیزاسیون به ترتیب برابر با ۲/۲، ۲/۵ و ۲/۵ و پی‌پی‌دی برابر با ۹۳، ۹۳ و ۸۵ درصد بدست آمد. به طور کلی به جز دفتر گروه‌ها و کلاس‌های آموزشی، دیگر بخش‌ها و واحدهای مربوطه خارج از محدوده آسایش حرارتی استاندارد اشری ۵۵ قرار داشتند. خورانی و همکاران [۱۰] برای دو دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۵۰-۲۱۰۰) آسایش حرارتی گردشگران ساحلی در استان هرمزگان را با استخراج شاخص پی‌ام‌وی انجام دادند. نتایج نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر برای گردشگری ساحلی فاقد تنش گرمایی یا خنثی، مارس و نوامبر کمی گرم، و آوریل تا اکتبر داغ و خیلی داغ محسوب شده است. ماریو ال روز و همکاران [۱۱] یک نرم‌افزار آموزشی برای یادگیری کنترل آسایش حرارتی براساس شاخص پی‌ام‌وی، پی‌پی‌دی و محاسبه مصرف انرژی ارائه دادند. این ابزار آموزشی حالت‌های مختلف شبیه‌سازی را فراهم می‌کند. امانی اودیلون کواسی و همکاران [۱۲] شرایط آسایش را با مدل پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی برای کشور ساحل عاج تعیین کردند. مدل پی‌ام‌وی دمای حرارتی ۲۴/۸۷ درجه سلسیوس در فصل بارانی و دمای ۲۵/۷ درجه سلسیوس را برای فصل خشک پیشنهاد داده است. لیجوان وانگ و همکاران [۱۳] روی مطالعه بر رفتار لباس ساکنان در رابطه با احساسات حرارتی طبیعی آنها در داخل ساختمان‌ها به کمک تجزیه و تحلیل‌های آماری با هدف درک بهتر چگونگی دستیابی ساکنان ساختمان به آسایش حرارتی با تنظیم عایق لباس متمرکز شده است. نتایج تجزیه و تحلیل نشان داد که آب و هوا، فصل، نوع ساختمان (مانند دفتر، مدرسه، یا ساختمان مسکونی) و تغییرات دمای داخل و خارج، متغیرهای اولیه کلیدی هستند که برای درک رفتار لباس ساکنان در نظر گرفته می‌شوند. مرتضوی و همکاران [۱۴] با ارزیابی احساس حرارتی و ترجیح ساکنین جزیره کیش مطابق با استانداردهای اشری و با کمک مطالعات میدانی در اقلیم گرم و مرطوب ایران که شامل اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی و بررسی نظرسنجی از کاربران بود، کاهش مصرف انرژی در رابطه با آسایش حرارتی کاربران را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افراد در شرایط داخلی با استفاده از سامانه‌ها در شرایط آسایش قرار می‌گیرند. اکثر مطالعات انجام شده در ایران و جهان محدود به آسایش حرارتی در یک فضا یا یک اقلیم خاص بوده است.

که اکثر مردم در آن راحت هستند با استفاده از مدل پی‌ام‌وی محاسبه می‌شود. در محیط‌های مسکونی، افراد لباس‌ها را متناسب با فصل می‌پوشند و در سرعت‌های بالاتر هوا احساس راحتی می‌کنند و بنابراین دامنه راحتی بیشتری نسبت به ساختمان‌هایی با سیستم‌های HVAC متمرکز دارند.

در این پژوهش ابتدا با استفاده از نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت تاثیر پارامترهای شاخص محیطی شامل دما، سرعت باد، رطوبت نسبی، نرخ متابولیک و عایق پوشش بر روی آسایش حرارتی در ۹ اقلیم ایران با مدل پی‌ام‌وی ارزیابی شده است. همچنین با استفاده از کدنویسی در پایتون و مدل آسایش حرارتی استاندارد اشری ۵۵ در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت تاثیر شاخص‌های اقلیمی روی طراحی ساختمان پیشنهاد شد.

با مطالعه پیشینه تحقیق‌های انجام شده نیاز به یک تحقیق جامع و کامل برای اقلیم‌های مختلف ایران در حوزه آسایش حرارتی ضروری و لازم است. نوآوری و اهداف مقاله به این صورت است که با مطالعه آسایش حرارتی مهندسان طراح را برای استفاده از روش‌های غیرفعال (آسایش حرارتی، سایه‌اندازی پنجره، تولید حرارت داخل، حرارت غیرفعال خورشیدی) و استفاده حداقلی از روش‌های فعال (سرمايش تبخیری، گرمایش و رطوبت‌زنی، سرمايش و رطوبت‌گیری، رطوبت‌گیری انفرادی) می‌توان برای ایجاد آسایش در ساختمان مسکونی راهنمایی کرد. با توجه به اقلیم‌های مختلف ایران در چهار فصل استفاده از تجهیزات مکانیکی به حداقل خواهد رسید. این مقاله هماهنگ با استاندارد اشری ۵۵ و ایزو ۷۷۳۰ به ارزیابی حرارتی با مدل پی‌ام‌وی می‌پردازد. همچنین در این تحقیق نوآوری اصلی در استفاده از مقادیرهای مختلف عایق لباس در زمستان و تابستان و نرخ متابولیک برای اقلیم‌های نه‌گانه شهرهای ایران است که شرایط آسایش حرارتی در طراحی فعال و غیرفعال بررسی شده است. دیگر نوآوری این مطالعه، استفاده از شاخص‌های محیطی اقلیم‌های ایران شامل دما، رطوبت‌نسبی و سرعت باد در مدل پی‌ام‌وی می‌باشد [۱۸].

۲- مدل پی‌ام‌وی

مدل پی‌ام‌وی شاخصی است که میانگین مقدار آرای گروه بزرگی از افراد را در مقیاس احساس حرارتی هفت درجه‌ای پیش‌بینی می‌کند. بر اساس استاندارد اشری ۵۵ دامنه مدل پی‌ام‌وی بین منفی ۳ تا مثبت ۳ قرار دارد [۴]. این مقادیر نمایانگر احساس گرمای حرارتی است که توسط افراد در داخل فضا حس می‌شود. جدول ۱ مفاهیم متغیر پی‌ام‌وی را بر مبنای استاندارد اشری ۵۵ بیان می‌کند بر این فرض استوار است که افرادی که در مقیاس

دامنه‌وری و همکاران [۱۵] آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی یک هایپرمارکت در آب و هوای گرمسیری با رطوبت و دمای بالا در شهرهای مالزی را با مدل پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی بررسی کردند. نتایج شرایط مطلوبی را با پی‌پی‌دی ۱۲ درصد و پی‌ام‌وی در محدوده توصیه شده، نشان داد. این یافته‌ها با استاندارد اشری ۵۵ و اقلیم‌شناسی کوپن گایگر مقایسه شدند و راه‌کارهای بهبود افزایش آسایش حرارتی تاکید شد. کارنیرو و همکاران [۱۶] شبیه‌سازی عددی آسایش حرارتی احساس شده توسط ساکنان ساختمان در شهر لیسبون را با نرم‌افزار انرژی پلاس برای به دست آوردن نتایج پی‌ام‌وی با در نظر گرفتن تأثیر عایق چوب پنبه در روزهای زمستان و تابستان انجام دادند. نتایج نشان داد که تأثیر عایق چوب پنبه بر مقادیر پی‌ام‌وی در فصل تابستان بیشتر از زمستان محسوس است و تعداد ساعات آسایش ساختمان را افزایش می‌دهد.

سه استاندارد مربوطه در رابطه با آسایش حرارتی عبارتند از استاندارد بین‌المللی ایزو ۷۷۳۰ (۲۰۰۵)، استاندارد اروپایی ای‌ان ۱۵۲۵۱ (سی‌ای‌ان ۲۰۰۷) و اشری ۵۵ (۲۰۱۰) [۲]. به کمک استاندارد بین‌المللی ایزو ۷۷۳۰ می‌توان شاخص پی‌ام‌وی (میانگین رای پیش‌بینی شده) و پی‌پی‌دی (درصد نارضایتی حرارتی پیش‌بینی شده) را تعیین کرد [۱۷]. این استاندارد برای افراد سالمی که در معرض شرایط محیط داخل قرار دارند، کاربرد دارد. سه نرم‌افزاری که محاسبات آسایش حرارتی را انجام می‌دهند، دو مورد از آنها قادر به تجسم شرایط آسایش هستند: نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت یا مشاور اقلیمی، نرم‌افزار آب‌وهوای اکوتکت^۲ و نرم‌افزار آسایش حرارتی اشری. از چهار مدل آسایش در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت مدل دوم مربوط به استاندارد اشری ۵۵ است که به عنوان مدل پی‌ام‌وی شناخته می‌شود. این نرم‌افزار یک الگوریتم تجربی مشتق شده است که دمای حباب خشک، رطوبت، سرعت هوا و فعالیت متابولیک را در نظر می‌گیرد. دارای دو منطقه آسایش برای لباس‌های تابستانی و زمستانی است و محدودیت‌های شیب دمایی کم، دلیل این واقعیت است که مردم در هوای خشکتر در دمای کمی بالاتر راحت‌تر هستند. این مدل کلایمنت کانسالتنت فرض می‌کند که میانگین دمای تابشی تقریباً برابر با دمای حباب خشک است. آسایش حرارتی بر اساس دمای حباب خشک، سطح لباس، فعالیت متابولیک، سرعت هوا، رطوبت و میانگین دمای تابشی است. در داخل ساختمان فرض می‌شود که میانگین دمای تابشی نزدیک به دمای حباب خشک است. منطقه‌ای

1. ISO 7730 (2005)
2. EN 15251 (CEN 2007)
3. Autodesk Ecotect

جدول ۱. مقیاس احساس حرارتی مورد استفاده فانگر

Table 1. Thermal sensation scale used by Fanger

احساس حرارتی	بسیار سرد	سرد	تا حدی سرد	متعادل	تا حدی گرم	گرم	بسیار گرم
مدل پی‌ام‌وی	-۳	-۲	-۱	۰	+۱	+۲	+۳

حس حرارتی +۲، +۳، -۲ یا -۳ رای می‌دهند ناراضی هستند و بر این ساده‌سازی است که پی‌پی‌دی حول یک پی‌ام‌وی خنثی متقارن است. زمانی که پی‌ام‌وی بین مقادیر -۰/۵ تا +۰/۵ متغیر باشد، محیطی بسیار راحت^۱ و بین مقادیر -۱ و +۱ راحت^۲ در نظر گرفته می‌شود. این مقادیر به ترتیب منجر به پی‌پی‌دی و پی‌ام‌وی ۱۰٪ و ۲۷٪ می‌شود. وقتی پی‌ام‌وی صفر است، یعنی برای حالت کامل، پی‌پی‌دی ۵ درصد است. شاخص پی‌ام‌وی از رابطه (۱) تعیین می‌شود [۵]. مولفه‌های این شاخص از رابطه (۱) تا (۶) تعیین می‌شوند.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times [(M - W) - H - E_c - C_{rec} - E_{rec}] \quad (۱)$$

$$E = 3.05 \times 10^{-3} (256_{tsk} - 3373 - P_a) + E_{sw} \quad (۲)$$

$$E_c = 3.05 \times 10^{-3} [(5733 - 6.99 \times 9M - W) - P_a] + 0.42(M - W - 58.15) \quad (۳)$$

$$C_{rec} = 0.0014M (34 - T_a) \quad (۴)$$

$$E_{rec} = 1.72 \times 10^{-5} M (5867 - P_a) \quad (۵)$$

$$H = K_{cl} = T_{sk} - \frac{t_{cl}}{I_{cl}} \quad (۶)$$

1. very comfortable
2. comfortable

شاخص پی‌پی‌دی از رابطه (۷) تعیین می‌شود.

$$PPD = 100 - 95e^{(-0.03353 \times PMV^4 - 0.2179 \times PMV^2)} \quad (۷)$$

فرضیات زیر برای این پژوهش در نظر گرفته شده است [۱۹]:

- ۱- به دلیل اختلاف دمای کم میانگین دما تابشی و دمای پوست نسبت به دمای داخل ساختمان از این دو دما صرفه‌نظر شد.
- ۲- از دمای حباب خشک و رطوبت‌نسبی متوسط در فصل‌های زمستان و تابستان استفاده شده است.
- ۳- مقدار کلو برای فعالیت آرام و نشسته در ساختمان مسکونی بین ۰/۵ تا ۱/۵ می‌باشد.
- ۴- مقدار میت برای فعالیت آرام و نشسته در ساختمان مسکونی بین ۰/۷ تا ۲ می‌باشد.
- ۵- فشار هوا برای کلیه اقلیم‌ها اتمسفر در نظر گرفته شده است.

۳- شرایط اقلیمی ایران برحسب روش کوپن - گایگر

وضعیت غالب آب و هوای یک منطقه که در یک دوره درازمدت وجود داشته و تابعی از پارامترهای هواشناسی نظیر دما، بارندگی، رطوبت، تشعشع، باد و غیره می‌باشد را اقلیم آن منطقه می‌نامند. در مورد تقسیم‌بندی اقلیمی نقاط مختلف جهان، روشهای گوناگونی پیشنهاد شده که از میان آنها روش کوپن دانشمند اتریشی مورد قبول قرار گرفته است [۱۷]. کوپن براساس رشد و نمو نباتات، انواع مختلف اقلیم در جهان را معرفی کرده است. اصولاً در بسیاری از مناطق جهان، اقلیم به وسیله عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا مشخص می‌شود. ایران با قرار گرفتن بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض جغرافیایی شمالی، در منطقه گرم قرار دارد و از نظر ارتفاع نیز، فلات مرتفعی است که مجموع سطوحی از آن که ارتفاعشان از سطح دریا کمتر از ۴۷۵ متر است، درصد بسیار کمی از سطح کل کشور را تشکیل می‌دهد. بررسی‌های

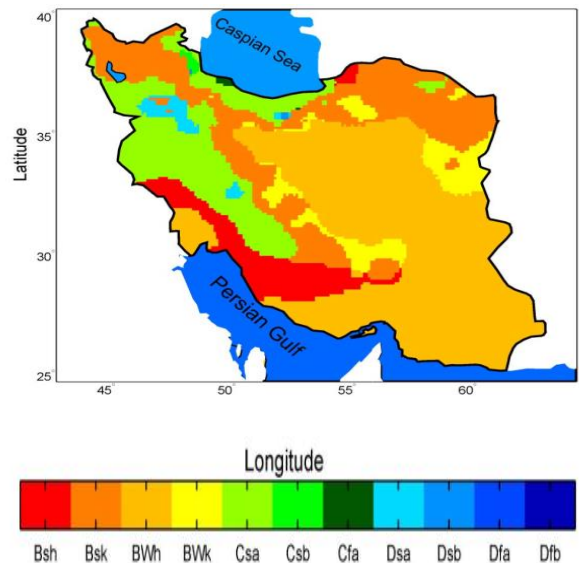
۴- روش تحقیق

تحقیق حاضر با هدف بررسی عوامل اقلیمی شامل دما، رطوبت، سرعت باد و عوامل محیطی شامل عایق پوشش و نرخ متابولیک در شهرهای ایران می‌باشد. نحوه کار بدین صورت است که در هر منطقه فایل‌های آب و هوایی با فرمت EPW^{۱۰} داده شده است که این فرمت‌ها در سایت‌هایی همانند انرژی پلاس برای شرایط آب و هوایی شهرهای ایران و دیگر نقاط جهان استخراج شد [۲۰]. با وارد کردن فایل‌های آب و هوایی شهرهای منتخب در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت نمودارهای اقلیمی رسم و تحلیل آن با استفاده از نرم‌افزار انجام شده است. نتایج خروجی شامل روش‌های فعال (سرمايش تبخیری، گرمایش و رطوبت‌زنی، سرمايش و رطوبت‌گیری، رطوبت‌گیری انفرادی) و روش‌های غیرفعال (سایه‌اندازی پنجره‌ها و دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی) برای آسایش حرارتی در ۹ اقلیم کشور ایران برای چهار حالت (کلو زمستانی و تابستانی (عایق پوشش) و میت (نرخ متابولیک))، بدست آمده است [۲۱]. جدول ۲ ویژگی ایستگاه‌های هواشناسی شهرهای منتخب برای اقلیم کوپن - گایگر برای انجام آنالیز ارائه می‌دهد [۲۲]. در شکل ۲ فلوچارت مراحل انجام تحقیق نشان داده شده است. لازم به ذکر می‌باشد که ابتدا فایل آب و هوایی هر شهر - ایستگاه به طور جداگانه وارد نرم‌افزار شده و بعد از استخراج نتایج تحلیل و مقایسه شهرها انجام شده است.

۵- نتایج و بحث

هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی شاخص‌های محیطی در تامین شرایط آسایش حرارتی جهت طراحی ساختمان‌های مسکونی برای شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از مدل پی‌اموی استاندارد اشری ۵۵ می‌باشد [۲۳]. [۲۴]. با کدنویسی در پایتون و مدل آسایش حرارتی استاندارد اشری ۵۵ در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت تاثیر شاخص‌های اقلیمی روی طراحی ساختمان پیشنهاد شده است. پارامترهای شاخص محیطی شامل دما، سرعت باد، رطوبت‌نسبی، نرخ متابولیک و عایق پوشش می‌باشند که در مدل پی‌اموی استفاده شد. داده‌های انتخابی برای دما بین ۱۸ تا ۳۸ درجه سلسیوس، سرعت هوا بین ۰/۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه، رطوبت‌نسبی بین ۴۰ تا ۸۰ درصد، نرخ متابولیک بین ۰/۷ تا ۲ و عایق پوشش بین ۰/۵ تا ۱/۵ به صورت تصادفی تولید شدند [۲۵]. در کل، ۱۳ مجموعه داده تصادفی تولید شده است که تنوع کافی برای تحلیل شاخص‌ها را فراهم می‌کند. ابتدا داده‌ها تولید شد و نتایج محاسبات در قالب جدول ۳ ارائه شده است. نمودارها به

10. Energy Plus weather



شکل ۱. طبقه‌بندی اقلیم کوپن - گایگر در ایران [۱۷]

Fig. 1. Köppen -Geiger climate classification map of Iran

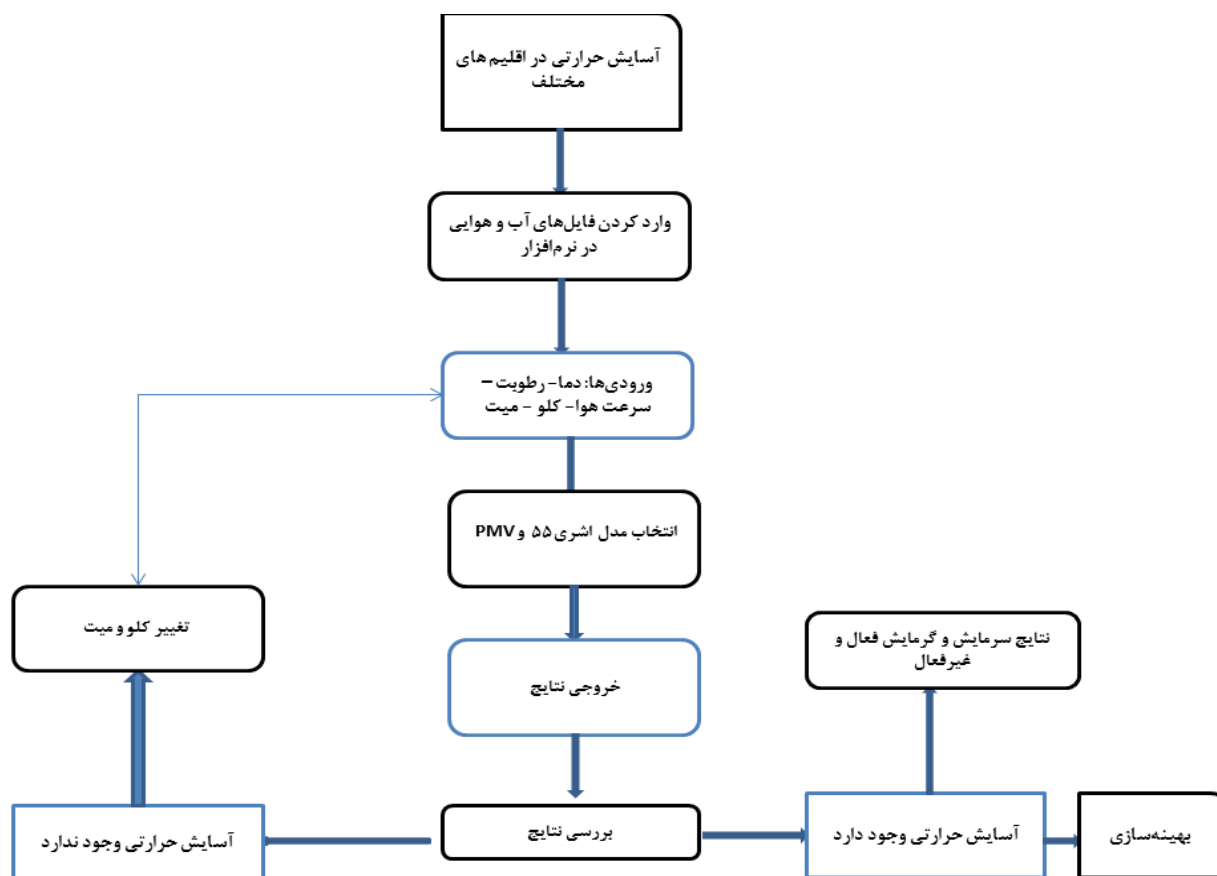
اخیر انجام‌شده بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که از ۳۱ گروه اقلیمی شناسایی‌شده توسط کوپن - گایگر، ایران ۹ گروه از آنها را در بر می‌گیرد. شکل ۱ طبقه‌بندی شهرهای ایران را بر حسب تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن گوینگر نشان داده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن - گایگر، اقلیم‌های بیابانی خشک و بسیار گرم، نیمه بیابانی خشک و سرد، نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم^۳ و معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم^۴ از گروه‌های مهم اقلیمی ایران هستند که هر کدام قسمت بزرگی از مساحت کشور را در بر می‌گیرند و سایر گروه‌های اقلیمی شامل بیابانی خشک و سرد^۵، معتدل با تابستان‌های خشک و گرم^۶، اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم^۷، اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم^۸ و معتدل پرباران با تابستان‌های گرم^۹ بخش بسیار کوچکی از مساحت کشور را تشکیل می‌دهند (شکل ۱).

1. Hot desert climate (BWh)
2. Cold semi-arid climate (BSk)
3. Hot semi-arid climate (BSh)
4. Hot-summer Mediterranean climate (CSa)
5. Cold desert climate (BWk)
6. Warm-summer Mediterranean climate (CSb)
7. Mediterranean-influenced hot-summer humid continental climate (DSa)
8. Mediterranean-influenced warm-summer humid continental climate (DSb)
9. Humid subtropical climate (CFa)

جدول ۲. مشخصات دمایی شهرهای منتخب برای آنالیز [۱۷]

Table 2. Temperature characteristics of the cities selected for analysis

شهر	میانگین دمای خشک زمستانی °C	میانگین رطوبت نسبی زمستان ٪	میانگین دمای خشک تابستانی °C	میانگین رطوبت نسبی تابستان ٪
یزد	۱۰	۴۰	۲۷	۱۸
خرم آباد	۶/۵	۶۵/۵	۲۲/۵	۳۱/۶
مشهد	۷/۳۳	۶۰/۶۷	۲۲/۶۷	۳۲
سبزوار	۹	۵۳/۸	۲۵/۵	۲۷/۸
انزلی	۹/۸	۸۵/۳۳	۲۲/۵	۸۱
کرمان	۸/۶	۴۵/۳۳	۲۳/۱۶	۲۱/۳۳
مشگین شهر	۶/۵	۷۰	۱۳	۶۴
همدان - نوژه	-۴	۶۳	۳/۳۳	۳۶/۶
آبعلی	۲	۵۸/۶۶	۱۷/۶۶	۳۵



شکل ۲. فلوجارت مراحل انجام پژوهش

Fig. 2. Flowchart of the research process

جدول ۳. نتایج محاسبات مدل پی‌ام‌وی

Table 3. Results of the PMV model calculations

RUN	پی‌پی‌دی	پی‌ام‌وی	کلو	میت	رطوبت نسبی	سرعت باد	دمای محیط
۱	۸۴/۶۶	۲/۱۹	۱/۲۴	۰/۹۹	۵۱	۰/۱۱	۳۰/۷۹
۲	۷۲/۱۳	۱/۹	۰/۵۳	۱/۲۵	۴۳/۴۸	۰/۴۶	۳۱/۵۳
۳	۱۱/۷۲	-۰/۵۷	۱/۱۵	۰/۹۶	۴۱/۰۶	۰/۳	۲۲/۳۷
۴	۵۹/۸۱	۱/۶۶	۰/۵۱	۱/۷۵	۶۳/۵۷	۰/۱۹	۲۸/۹
۵	۹۸/۷۱	۳/۰۹	۱/۴۶	۰/۹	۵۳/۶۱	۰/۳۸	۳۴/۱۲
۶	۳۶/۴۱	۱/۲۲	۱/۱	۱/۸	۴۳/۸۷	۰/۱۴	۲۴/۷۳
۷	۹۸/۷۱	۲/۹۲	۰/۸۸	۱/۹۷	۶۱/۴۵	۰/۳۹	۳۴/۱۴
۸	۷۴/۷۴	۱/۹۶	۱/۰۸	۱/۸۲	۶۴/۷۴	۰/۴۳	۲۹/۰۴
۹	۸۷/۹۶	۲/۲۹	۰/۵۸	۱/۰۸	۴۹/۱۲	۰/۱۲	۳۲/۰۹
۱۰	۹/۵۳	۰/۴۷	۰/۸۶	۱/۵۳	۵۱/۱۲	۰/۱۴	۲۲/۶۶
۱۱	۴۷/۶۱	۱/۴۴	۱/۱۵	۱/۹۲	۵۰/۶۸	۰/۱۸	۲۵/۴
۱۲	۶۹/۳	۱/۸۴	۰/۸۸	۰/۹۱	۶۹/۱۷	۰/۱۷	۳۰/۱۸
۱۳	۹۹/۹۵	۳/۴۸	۱/۳۴	۱/۵۹	۶۲/۲۸	۰/۳۶	۳۷/۷۹

احساس گرم‌تر بودن محیط است. پی‌پی‌دی نیز با افزایش یا کاهش شدید دما نسبت به شرایط خنثی (پی‌ام‌وی برابر با صفر) افزایش می‌یابد.

شکل ۴ نمودار پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی در برابر سرعت هوا را نشان می‌دهد. بازه سرعت بین ۰/۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. افزایش سرعت هوا باعث کاهش پی‌ام‌وی می‌شود که نشان‌دهنده خنک‌تر شدن محیط است. کاهش پی‌ام‌وی معمولاً با کاهش پی‌پی‌دی همراه است زیرا افراد در سرعت هوای بالاتر احساس راحتی بیشتری می‌کنند. در این نمودارها داده‌ها به صورت تصادفی تولید شده‌اند و در صورت نیاز می‌توان از مقادیر واقعی یا توزیع‌های منظم استفاده کرد. همچنین استفاده از گام‌های منظم در مقادیر متغیرها (مثلاً تغییر دما با یک گام) می‌تواند نمودارهای روان‌تری ایجاد کند.

شکل ۵ نمودار پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی در برابر رطوبت نسبی را نشان می‌دهد. تاثیر مستقیم رطوبت نسبی بر پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی کمتر از سایر متغیرها است، اما در شرایط بسیار مرطوب یا خشک ممکن است احساس ناخوشایندی ایجاد شود.

صورت جداگانه و ترکیبی ترسیم شده‌اند تا بتوان تاثیر در هر متغیر را به تفکیک و به صورت کلی مشاهده کرد [۲۶].

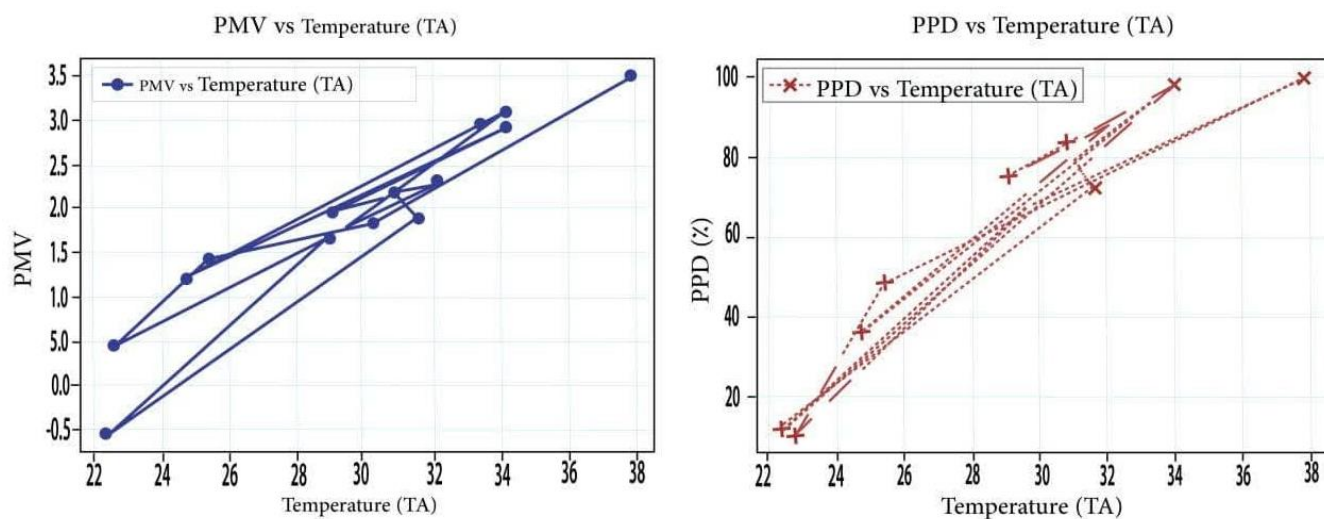
اعتبارسنجی داده‌های بدست آمده با نتایج مرجع [۱۹] به طور کامل تصدیق می‌شود. محدوده عددی در نظر گرفته شده برای پی‌ام‌وی بین ۳- و ۳+ و یا هر عدد دیگری یک حس دمایی است (جدول ۱). محدوده مناسب برای شاخص پی‌ام‌وی بین ۰/۵+ تا ۰/۵- قرار دارد. همچنین هدف نهایی مدل‌های آسایش حرارتی، ارائه شاخصی برای محاسبه درصد نارضایتی افراد (پی‌پی‌دی) نسبت به شرایط گرمایی محیط است و در واقع همین شاخص است که باید به عنوان معیار طراحی حرارتی محیط توسط طراحان مورد نظر قرار گیرد. طبق پیشنهاد اشری مقدار مناسب شاخص پی‌پی‌دی مقادیر کمتر یا مساوی با ۱۵٪ است. جدول ۴ نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر به همراه نتایج مرجع [۱۹] را نشان داده است.

شکل ۳ نمودار پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی در برابر دما را نشان می‌دهد. افزایش دما باعث افزایش پی‌ام‌وی می‌شود که نشان‌دهنده گرمای بیشتر و احتمال

جدول ۴. اعتبارسنجی نتایج

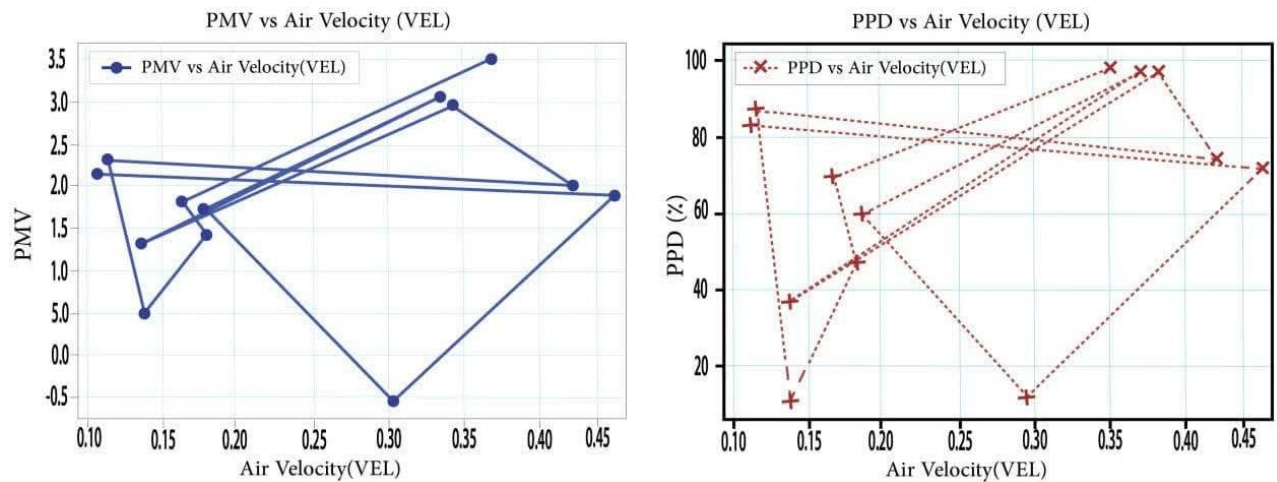
Table 4. Validation of the results

کلو	میت	رطوبت نسبی	سرعت باد	پی ام وی	پی پی دی	پی ام وی	پی پی دی
[۱۹]	[۱۹]	[۱۹]	[۱۹]	[۱۹]	[۱۹]	نگارنده	نگارنده
۰/۵	۱/۱	۶۰	۰/۱	+۲	۷۵	۲/۱۹	۸۴/۶۶
۰/۵	۱/۱	۶۰	۰/۳	+۱	۲۵	۱/۹	۷۲/۱۳
۰/۵	۱/۲	۴۰	۰/۱	+۰/۵	۱۰	۰/۴۷	۹/۵۳
۱	۱/۲	۴۰	۰/۱	۰	۵	-	-
۰/۵	۱/۲	۶۰	۰/۳	-۰/۵	۱۰	-۰/۵۷	۱۱/۷۲
۰/۵	۱/۲	۶۰	۰/۱	-۱	۲۵	-	-
۱	۱/۲	۶۰	۰/۱	-۲	۷۵	-	-



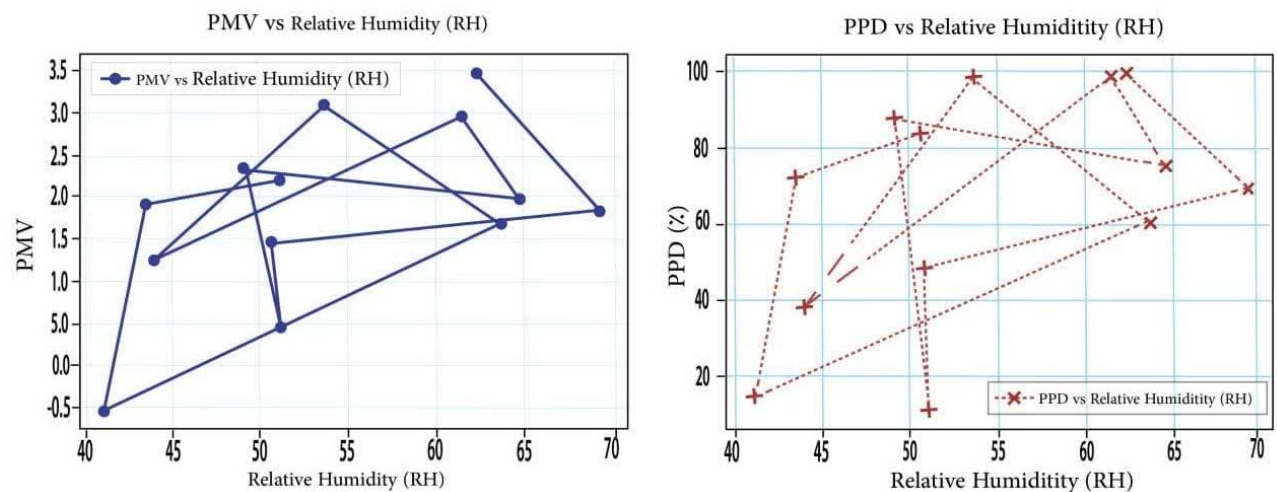
شکل ۳. نتایج آسایش حرارتی مدل پی ام وی و پی پی دی در مقابل دما

Fig. 3. Results of the PMV and PPD Thermal comfort models versus temperature



شکل ۴. نتایج آسایش حرارتی پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی در مقابل سرعت هوا

Fig. 4. Results of the PMV and PPD Thermal comfort models versus air velocity



شکل ۵. نتایج آسایش حرارتی پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی در مقابل رطوبت نسبی

Fig. 5. Results of the PMV and PPD Thermal comfort models versus relativehumidity

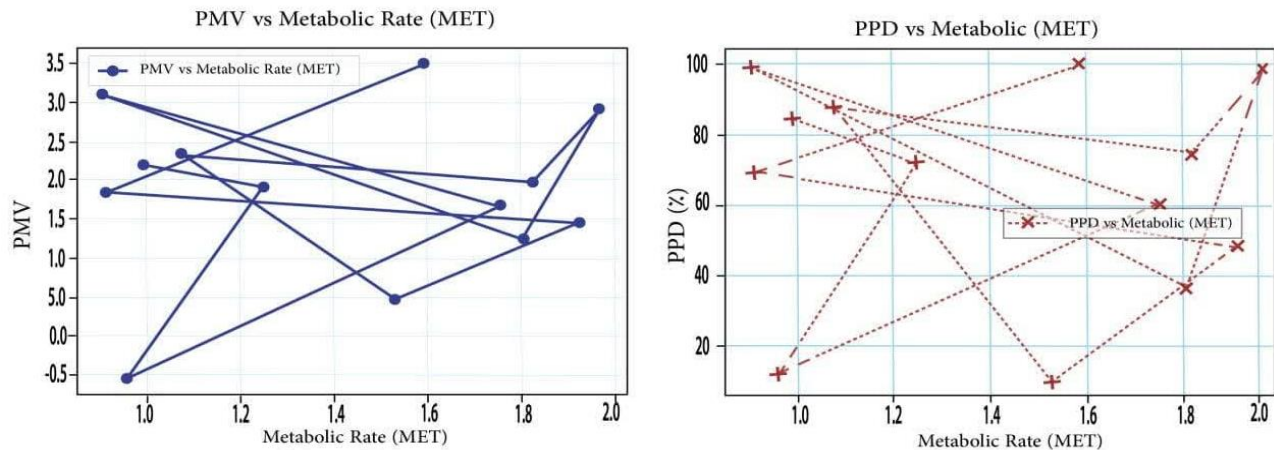
کلو یا عایق لباس باعث کاهش پی‌ام‌وی شده و احساس خنک‌تر شدن ایجاد می‌کند. تغییرات در کلو به طور مستقیم بر پی‌پی‌دی تاثیرگذار است.

شکل ۸ نتایج ترکیبی پارامترهای محیطی در مدل پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی را نشان داده است.

همچنین نتایج برای چهار حالت (کلو زمستانی ۰/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۰/۷)، (کلو زمستانی ۱، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۱/۱)، (کلو زمستانی ۱/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲) و (کلو زمستانی ۱/۵، میت برابر با ۲/۷) به صورت جداگانه در شکل ۱۰ ارائه شده است.

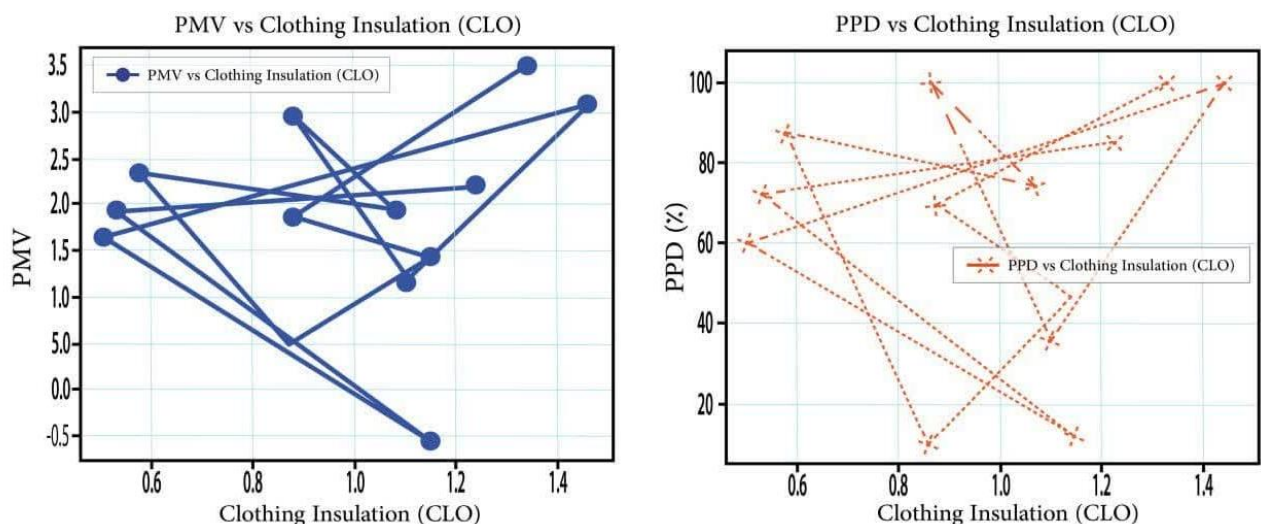
شکل ۶ نمودار پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی در برابر نرخ متابولیک (میت) را نشان می‌دهد. افزایش نرخ متابولیک باعث افزایش پی‌ام‌وی می‌شود زیرا تولید گرمای بدن افزایش می‌یابد. این تغییر می‌تواند باعث افزایش نارضایتی پی‌پی‌دی نیز شود.

شکل ۷ نمودار پی‌ام‌وی و پی‌بی‌دی در برابر عایق پوشش (کلو) را نشان می‌دهد. مطابق با استاندارد اش‌ری و ایزو مقدار عددی کلو برای پوشش زمستانی تقریباً ۱/۵ و برای پوشش تابستانی برابر با ۰/۵ می‌باشد. افزایش



شکل ۶. نتایج آسایش حرارتی پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی در مقابل میت

Fig. 6. Results of the PMV and PPD Thermal comfort models versus MET

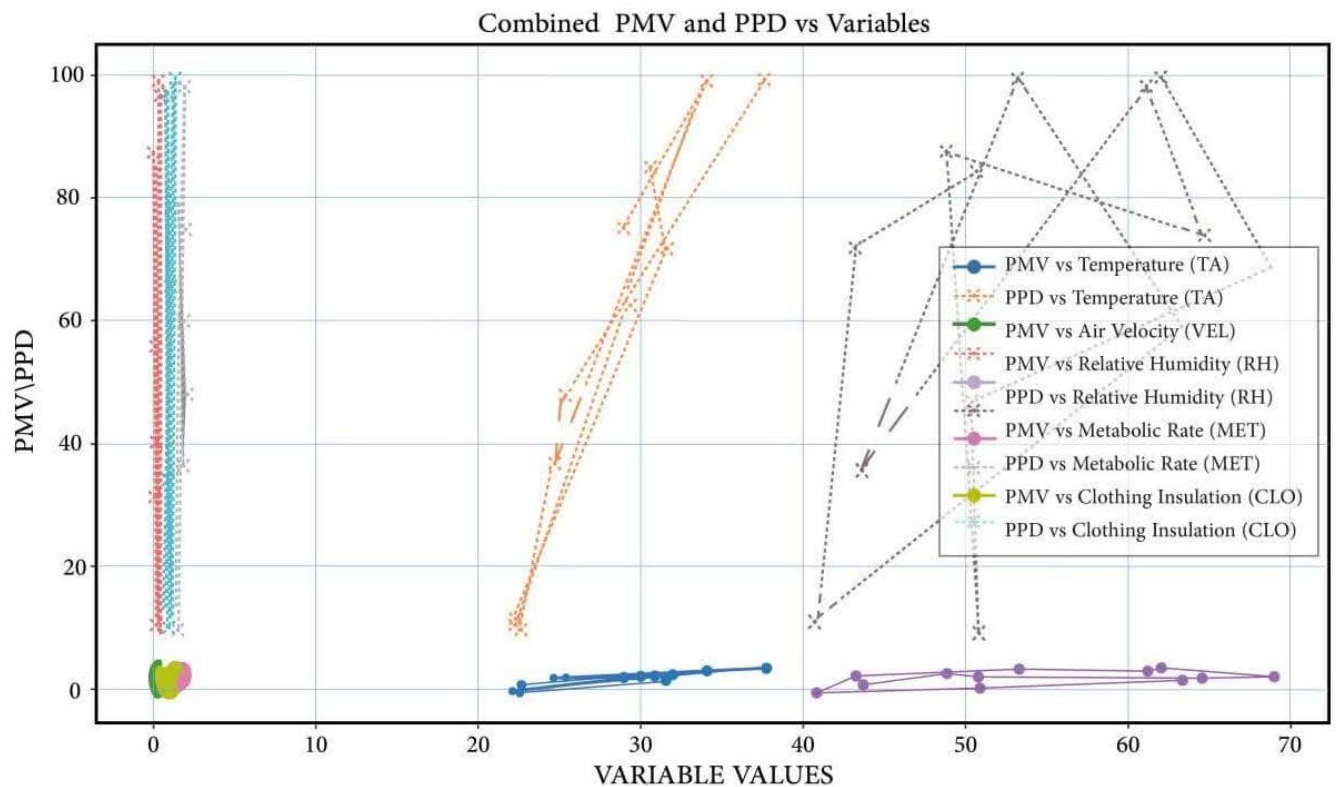


شکل ۷. نتایج آسایش حرارتی پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی در مقابل کلو

Fig. 7. Results of the PMV and PPD Thermal comfort models versus CLO

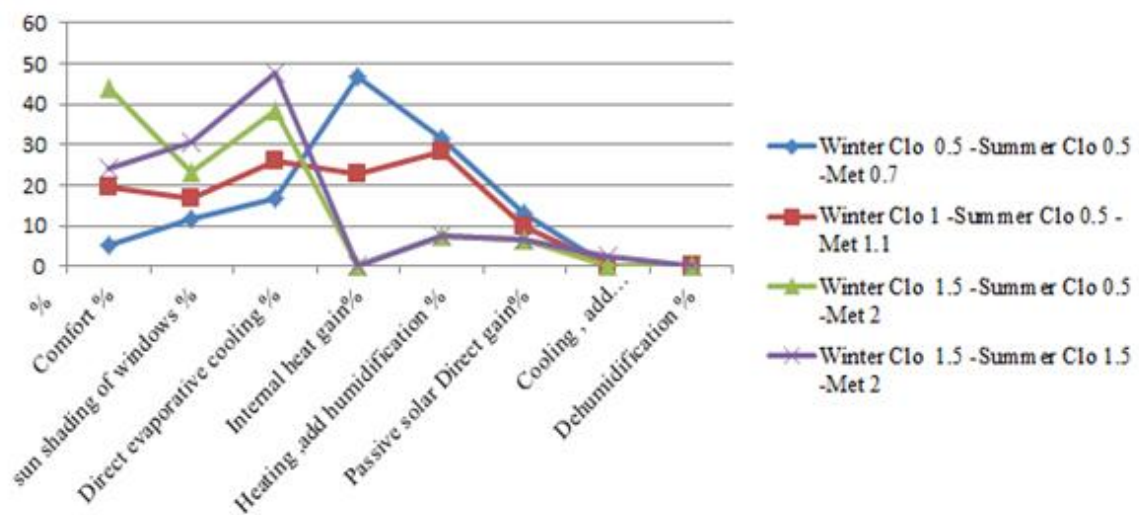
و میانگین رطوبت‌نسبی برای فصل‌های تابستان و زمستان نشان داده شده است. با ورود اطلاعات هواشناسی با فرمت EPW در نرم‌افزار و تغییر کلو تابستانی و زمستانی و همچنین تغییر میت نتایج شهرهای اقلیم BWh در شکل ۹ برای شهر یزد نماینده اقلیم BWh نشان داده شده است. نتایج خروجی این اقلیم‌ها شامل روش‌های فعال (سرمایش تبخیری، گرمایش و رطوبت‌زنی، سرمایش و رطوبت‌گیری، رطوبت‌گیری انفرادی) و روش‌های غیرفعال (سایه‌اندازی پنجره‌ها، دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی)

کلو تابستانی ۱/۵ و میت برابر با ۲، برای ۹ اقلیم ایران بدست آمده است. اقلیم غالب در کشور ایران اقلیم بیابانی BW و نیمه بیابانی BS است و اقلیم معتدل به بخشی از زاگرس و دامنه‌های شمالی البرز محدود می‌شود. اقلیم BWh شامل شهرهای سیستان و بلوچستان، یزد، هرمزگان، قسمت‌هایی از استان سمنان، اصفهان، قم، اهواز، قسمت‌هایی از استان خراسان جنوبی، قسمت‌هایی از استان فارس و غیره می‌باشد که ایستگاه یزد معرف اقلیم BWh در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ میانگین دمای حباب خشک



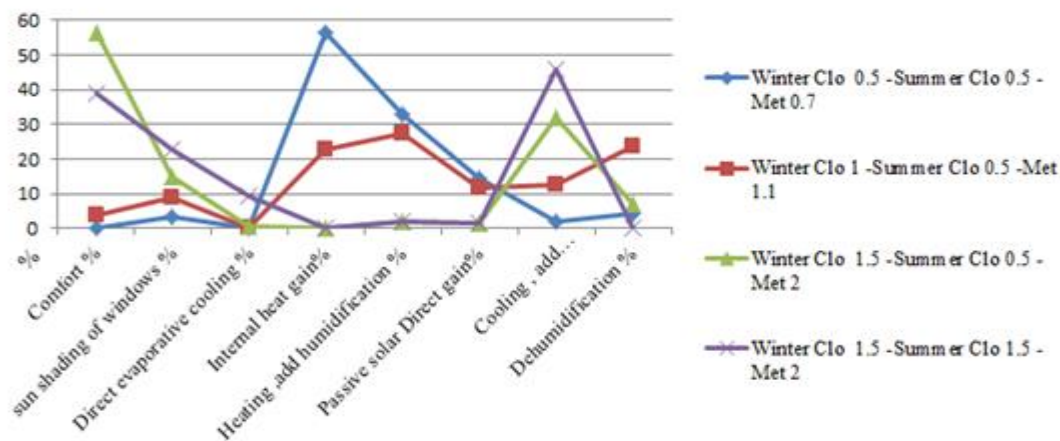
شکل ۸. نتایج کامل پارامترهای محیطی در مدل پی‌ام‌وی و پی‌پی‌دی

Fig. 8. Complete results of environmental conditions in the PMV and PPD models



شکل ۹. نتایج پارامترهای فعال و غیرفعال در کلوها و میت مختلف در اقلیم BWh

Fig. 9. Results of active and passive parameters in different Clo and Met in the BWh climate



شکل ۱۰. نتایج پارامترهای فعال و غیرفعال در کلوها و میت مختلف در اقلیم sfa

Fig. 10. Results of active and passive parameters in different Clo and Met in the sfa climate

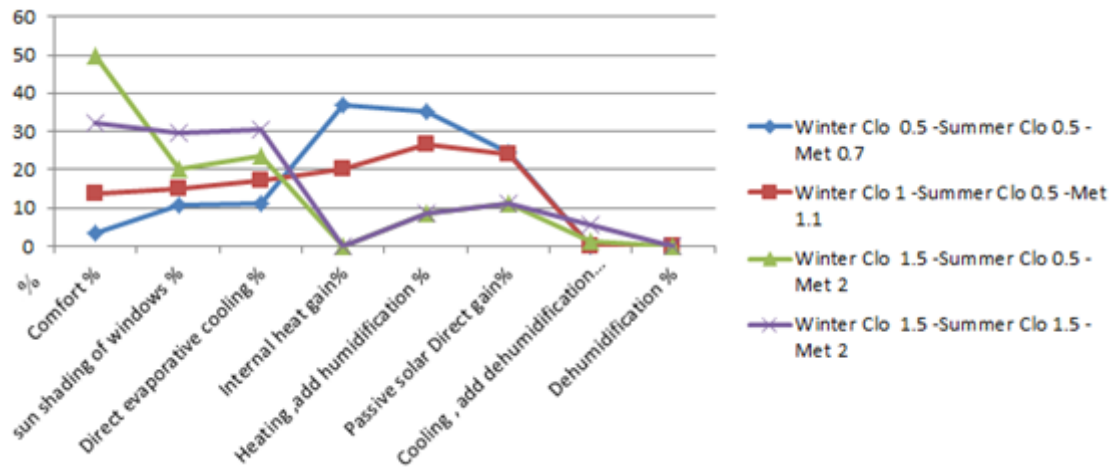
شهر انزلی در کلو زمستانی ۱/۵ و کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲ به ترتیب برابر با ۳۲ درصد (۲۸۰۱ ساعت در سال) و ۶/۸ درصد (۵۹۷ ساعت در سال) بدست آمده است.

ایستگاه خرم‌آباد معرف و نماینده اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم Sca است که بخش زیادی از زاگرس، البرز و ناحیه خزری را در بر می‌گیرد. اقلیم Sca شامل شهرهای گرگان، ساری، کردستان، بخش‌هایی از آذربایجان شرقی، ارومیه و پیرانشهر، خرم‌آباد، ایلام، کرمانشاه، مرکزی، چهارمحال بختیاری بجز شهرکرد و همدان می‌باشد. بهترین نتایج برای شهر خرم‌آباد در کلو زمستانی ۱/۵ و کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲ بدست آمده است. در ۴۹/۹ درصد اوقات سال (۴۳۷۵ ساعت در سال) شرایط آسایش برقرار است. با روش‌های غیرفعال سایه‌اندازی پنجره‌ها ۲۰/۱ درصد (۱۷۶۴ ساعت در سال) و دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی ۱۱ درصد (۹۶۷ ساعت در سال) و روش‌های فعال سرمایش تبخیری ۲۳/۵ درصد (۲۰۶۲ ساعت در سال)، گرمایش و رطوبت‌زنی ۸/۶ درصد (۷۵۳ ساعت در سال) و سرمایش با رطوبت‌گیری ۱/۳ درصد (۱۱۵ ساعت در سال)، شرایط آسایش را برای ساکنین فراهم کرد. همچنین برای کلوها و میت مختلف نتایج در شکل ۱۱ برای شهر خرم‌آباد نشان داده شده است.

شهرهایی مانند یاسوج، سبزوار و دامنه جنوبی زاگرس در استان خوزستان، فارس و بوشهر و قسمت کوچکی از استان گلستان در شمال شرق ایران در منطقه BSh قرار دارند. ایستگاه سبزوار معرف اقلیم BSh در نظر گرفته شده است. در حالت (کلو زمستانی ۰/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت

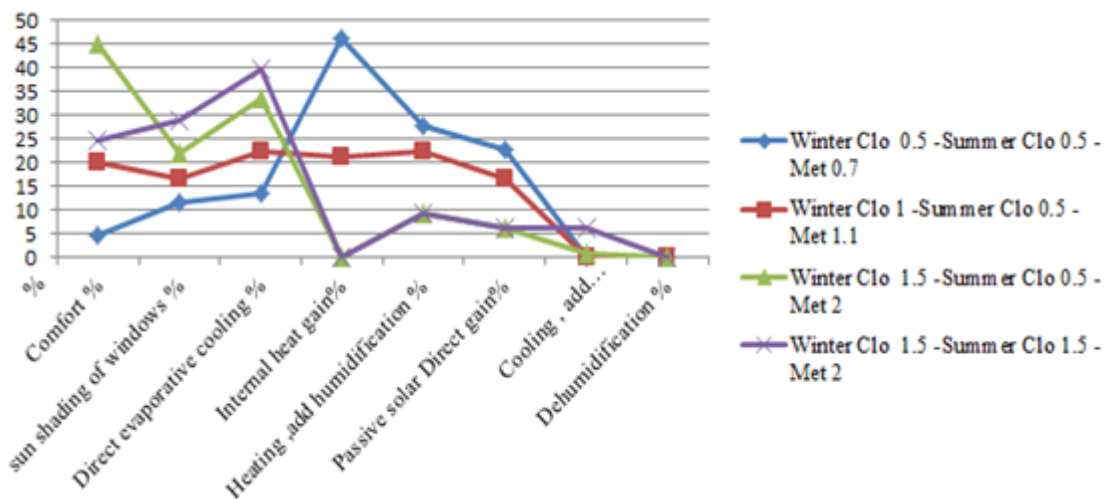
برای آسایش حرارتی می‌باشد. بهترین نتایج برای شهر یزد در کلو زمستانی ۱/۵ و کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲ بدست آمده است. در ۴۴/۲ درصد اوقات سال (۳۸۷۵ ساعت در سال) شرایط آسایش برقرار است. با روش‌های غیرفعال سایه‌اندازی پنجره‌ها ۲۳/۲ درصد (۲۰۳۰ ساعت در سال) و دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی ۶/۵ درصد (۵۷۰ ساعت در سال) و روش‌های فعال سرمایش تبخیری ۳۸/۶ درصد (۳۳۸۳ ساعت در سال)، گرمایش و رطوبت‌زنی ۷/۶ درصد (۶۶۲ ساعت در سال) شرایط آسایش برای ساکنین فراهم شده است. همچنین برای کلوها و میت مختلف، نتایج در شکل ۹ برای شهر یزد نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بزرگ بودن کلو در زمستان بر روی شرایط آسایش تاثیر بسیار زیادی دارد.

اقلیم sfa شامل شهرهای رشت، آستارا، رامسر و انزلی است که ایستگاه انزلی معرف و نماینده اقلیم sfa می‌باشد. نتایج شهرهای اقلیم sfa در شکل ۱۰ برای شهر انزلی نشان داده شده است. بهترین نتایج برای شهر انزلی در کلو زمستانی ۱/۵ و کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲ بدست آمده است. در ۵۶/۴ درصد اوقات سال (۴۹۳۸ ساعت در سال) شرایط آسایش برقرار است. با روش‌های غیرفعال سایه‌اندازی پنجره‌ها ۱۵/۱ درصد (۱۳۲۳ ساعت در سال) و دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی ۱/۶ درصد (۱۴۴ ساعت در سال) شرایط آسایش برای ساکنین فراهم شده است. سرمایش تبخیری (۶۵ ساعت در سال) در این اقلیم کاربردی ندارد به همین دلیل برای سرمایش در تابستان باید از دیگر سیستم‌های فعال مکانیکی استفاده کرد. نتایج سرمایش با رطوبت‌گیری مکانیکی و رطوبت‌گیری انفرادی برای



شکل ۱۱. نتایج پارامترهای فعال و غیرفعال در کلوها و میت مختلف در اقلیم SCA

Fig. 11. Results of active and passive parameters in different Clo and Met in the SCA climate



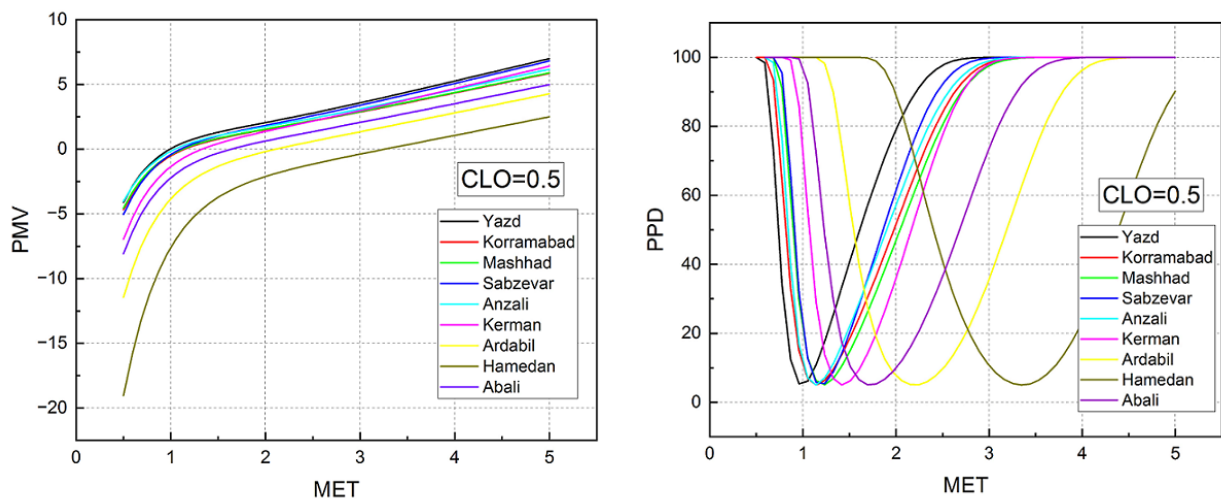
شکل ۱۲. نتایج پارامترهای فعال و غیرفعال در کلوها و میت مختلف در اقلیم BSh

Fig. 12. Results of active and passive parameters in different Clo and Met in the BSh climate

رطوبت‌زنی ۹/۳ درصد (۸۱۱ ساعت در سال) و سرمایش با رطوبت‌گیری ۰/۸ درصد (۷۳ ساعت در سال)، شرایط آسایش را برای ساکنین فراهم کرد. همچنین برای کلوها و میت مختلف نتایج در شکل ۱۲ برای شهر سبزوار نشان داده شده است.

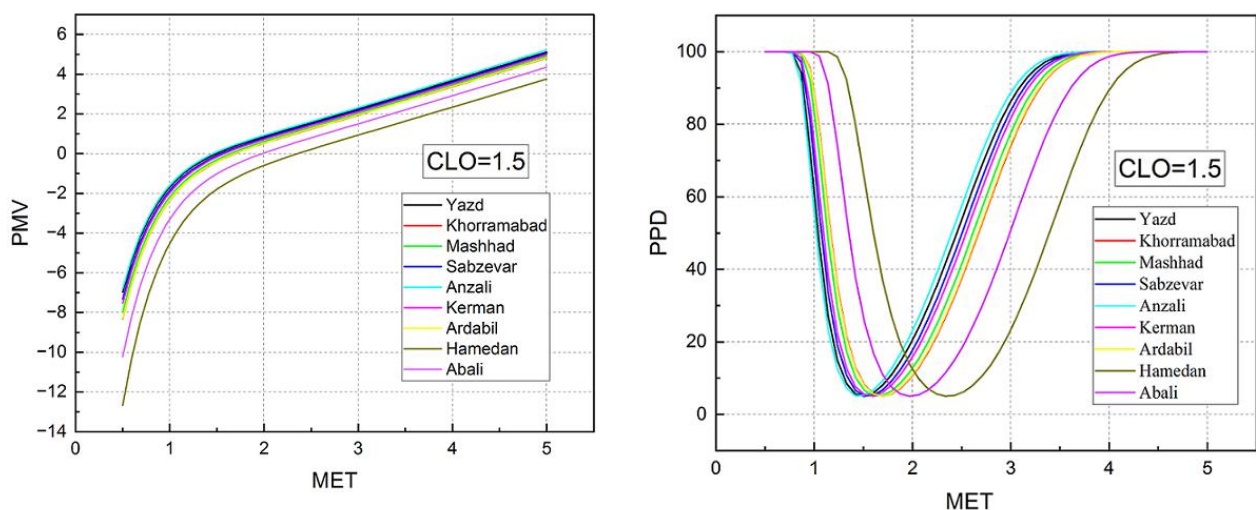
اقلیم BSk شهرهای خراسان رضوی و شمالی، آذربایجان شرقی و غربی و غیره می‌باشد که ایستگاه مشهد معرف اقلیم BSk است. همچنین شهر کرمان نماینده اقلیم BWk می‌باشد. ایستگاه مشهد معرف اقلیم نیمه بیابانی سرد BSk و ایستگاه کرمان از اقلیم بیابانی سرد BWk برخوردار

برابر با ۰/۷)، دریافت حرارت داخلی برابر با ۴۶/۲ درصد (۴۰۵۰ ساعت در سال)، و شرایط آسایش برابر با ۴/۷ درصد (۴۱۵ ساعت در سال) بدست آمده است. همچنین بهترین نتایج برای شهر سبزوار در کلو زمستانی ۱/۵ و کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲ بدست آمده است. در ۴۵ درصد اوقات سال (۳۹۴۵ ساعت در سال) شرایط آسایش برقرار است. با روش‌های غیرفعال سایه‌اندازی پنجره‌ها ۲۲/۲ درصد (۱۹۴۹ ساعت در سال) و دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی ۶/۳ درصد (۵۴۹ ساعت در سال) و روش‌های فعال سرمایش تبخیری ۳۳/۷ درصد (۲۹۵۱ ساعت در سال)، گرمایش و



شکل ۱۳. نمودار پیاموی و پیبیدی در کلوی ۰/۵ برای ۹ اقلیم ایران

Fig. 13. PMV and PPD chart at 0.5 CLO for 9 climates of Iran



شکل ۱۴. نمودار پی‌ام‌وی و پی‌بی‌دی در کلوی ۱/۵ برای ۹ اقلیم ایران

Fig. 14. PMV and PPD chart at 1/5 CLO for 9 climates of Iran

درصد و ۳۰/۲ درصد در ایام سال برقرار می‌باشد. همچنین اقلیم‌های معتدل کشور ایران مانند اقلیم معتدل با تابستان خشک و گرم Csb یعنی ایستگاه مشگین‌شهر و اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم Dsa یعنی ایستگاه همدان - نوژه و ایستگاه آبعلی معرف اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم Dsb می‌باشند که وسعت این اقلیم‌ها در ایران محدود است. در شکل ۱۳ و ۱۴ نمودار پی‌ام‌وی و پی‌بی‌دی در برابر میت برای کلو زمستانی ۰/۵ و کلو تابستانی ۱/۵ در ۹ اقلیم ایران نشان داده شده است.

هستند. در اقلیم نیمه‌بیابانی سرد BSk برای چهار حالت (کلو زمستانی ۰/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۰/۷)، (کلو زمستانی ۱، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۱/۱)، (کلو زمستانی ۱/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲) و (کلو زمستانی ۱/۵، کلو تابستانی ۱/۵ و میت برابر با ۲)، به ترتیب شرایط آسایش ۳/۶ درصد، ۱۷/۴ درصد، ۴۸/۲ درصد و ۲۶/۸ درصد در ایام سال برقرار می‌باشد. همچنین در اقلیم بیابانی سرد BWk شهر کرمان برای حالت‌های ذکر شده به ترتیب شرایط آسایش ۴/۱ درصد، ۱۹/۱ درصد، ۵۲/۲

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از کدنویسی و مدل آسایش حرارتی استاندارد اشری ۵۵ در نرم افزار پایتون و نرم افزار کلاiment کانسالتنت تاثیر شاخص های اقلیمی روی طراحی ساختمان پیشنهاد شد. پارامترهای شاخص محیطی شامل دما، سرعت باد، رطوبت نسبی، نرخ متابولیک و عایق پوشش می باشد که در مدل پی ام وی استفاده شده است. داده های انتخابی برای دما بین ۱۸ تا ۳۸ درجه سلسیوس، سرعت هوا بین ۰/۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه، رطوبت نسبی بین ۴۰ تا ۸۰ درصد، نرخ متابولیک بین ۰/۷ تا ۲ و عایق پوشش ۰/۵ تا ۱/۵ به صورت تصادفی تولید شدند. ابتدا داده ها تولید شد و نتایج محاسبه شده در قالب یک جدول نمایش داده شدند. همچنین نمودار متغیرهای مختلف به صورت جداگانه برای پی ام وی و پی پی دی ترسیم شده است.

نتایج برای چهار حالت (کلو زمستانی ۰/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۰/۵ و میت برابر با ۰/۷)، (کلو زمستانی ۱، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۱/۱)، (کلو زمستانی ۱/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲) و (کلو زمستانی ۱/۵، کلو تابستانی ۱/۵ و میت برابر با ۲)، برای ۹ اقلیم ایران در ساختمان های مسکونی بررسی شده است. برای ۹ اقلیم از ۳۱ اقلیم شناسایی شده توسط کوپن - گایگر برای کشور ایران را که شامل اقلیم های، BSh, BSk, BWh, BWk, DSb, DSa, CFa, CSb, CSa, EPW با فرمت در نرم افزار کلاiment کانسالتنت و استفاده از استاندارد اشری ۵۵ و مدل پی ام وی در نرم افزار استفاده شد. نتایج خروجی این اقلیم ها شامل روش های فعال (سرمایش تبخیری، گرمایش و رطوبت زنی، سرمایش و رطوبت گیری، رطوبت گیری انفرادی) و روش های غیرفعال (سایه اندازی پنجره ها، دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی) برای آسایش حرارتی می باشد. مهمترین نتایج اقلیم ها عبارتند از:

۱- در اقلیم بیابانی و گرم BWh که ایستگاه یزد به عنوان معرف و نماینده در نظر گرفته شده است. ویژگی این نوع اقلیم نشان می دهد که مقدار بارش ماه های مختلف سال بسیار ناچیز و این ایستگاه دارای یک فصل طولانی خشک است که با دمای بسیار بالای هوا در تمام ماه های سال همراه است. بهترین نتایج برای شهر یزد در کلو زمستانی ۱/۵ و کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲ بدست آمده است. در ۴۴/۲ درصد اوقات سال (۳۸۷۵ ساعت در سال) شرایط آسایش برقرار است. با روش های غیرفعال سایه اندازی پنجره ها ۲۳/۲ درصد (۲۰۳۰ ساعت در سال) و دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی ۶/۵ درصد (۵۷۰ ساعت در سال) و روش های

فعال سرمایش تبخیری ۳۸/۶ درصد (۳۳۸۳ ساعت در سال)، گرمایش و رطوبت زنی ۷/۶ درصد (۶۶۲ ساعت در سال) شرایط آسایش را برای ساکنین فراهم کرده است.

۲- ایستگاه خرم آباد معرف اقلیم معتدل با تابستان های خشک و بسیار گرم CSa است که بخش زیادی از زاگرس، البرز و ناحیه خزری را در بر می گیرد. این اقلیم اگرچه از یک دوره خشک تابستانه برخوردار است ولی در اغلب ماه های سال بارش تقریباً خوبی دریافت می کند و تابستان های آن نیز خنک است. بهترین نتایج برای شهر خرم آباد در کلو زمستانی ۱/۵ و کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲ بدست آمده است. در ۴۹/۹ درصد اوقات سال (۴۳۷۵ ساعت در سال) شرایط آسایش برقرار است. با روش های غیرفعال سایه اندازی پنجره ها ۲۰/۱ درصد (۱۷۶۴ ساعت در سال) و دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی ۱۱ درصد (۹۶۷ ساعت در سال) و روش های فعال سرمایش تبخیری ۲۳/۵ درصد (۲۰۶۲ ساعت در سال)، گرمایش و رطوبت زنی ۸/۶ درصد (۷۵۳ ساعت در سال) و سرمایش با رطوبت گیری ۱/۳ درصد (۱۱۵ ساعت در سال)، شرایط آسایش برای ساکنین فراهم خواهد شد.

۳- شهرهایی مانند یاسوج، سبزوار و دامنه جنوبی زاگرس در استان خوزستان، فارس و بوشهر و قسمت کوچکی از استان گلستان در شمال شرق ایران در منطقه BSh قرار دارند. ایستگاه سبزوار معرف اقلیم BSh در نظر گرفته شده است. در حالت (کلو زمستانی ۰/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۰/۷)، دریافت حرارت داخلی برابر با ۴۶/۲ درصد (۴۰۵۰ ساعت در سال)، و شرایط آسایش برابر با ۴/۷ درصد (۴۱۵ ساعت در سال) بدست آمده است. همچنین بهترین نتایج برای شهر سبزوار در کلو زمستانی ۱/۵ و کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲ بدست آمده است. در ۴۵ درصد اوقات سال (۳۹۴۵ ساعت در سال) شرایط آسایش برقرار است. با روش های غیرفعال سایه اندازی پنجره ها ۲۲/۲ درصد (۱۹۴۹ ساعت در سال) و دریافت حرارت مستقیم غیرفعال خورشیدی ۶/۳ درصد (۵۴۹ ساعت در سال) و روش های فعال سرمایش تبخیری ۳۳/۷ درصد (۲۹۵۱ ساعت در سال)، گرمایش و رطوبت زنی ۹/۳ درصد (۸۱۱ ساعت در سال) و سرمایش با رطوبت گیری ۰/۸ درصد (۷۳ ساعت در سال)، شرایط آسایش برای ساکنین فراهم شده است.

۴- اقلیم BSk شامل شهرهای خراسان رضوی و شمالی، آذربایجان شرقی و غربی و غیره می باشد که ایستگاه مشهد معرف اقلیم BSk است. همچنین شهر کرمان نماینده اقلیم BWk می باشد. ایستگاه مشهد معرف اقلیم نیمه بیابانی سرد BSk و ایستگاه کرمان از اقلیم بیابانی سرد BWk برخوردار هستند. در اقلیم نیمه بیابانی سرد BSk برای چهار حالت (کلو

منابع

- [1] G.A. Sheikhzadeh, S. Sadripour, M. Mollamahdi, Numerical Study of the Effects of Speed and Place of Ceiling Fans on Thermal Comfort and Reducing Energy in Office Buildings, *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 50(2) (2018) 309-326. (in Persian)
- [2] S. Schiavon, T. Hoyt, A. Piccioli, Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55, in: *Building Simulation*, Springer, 2014, pp. 321-334.
- [3] M. Hamze Nejad, F. Fadaee, P. Ildarabadi, Evaluation of comfort and thermal comfort (PMV and PPD) according to daylight and home orientation in Yazd traditional houses (Case study: Malekzade home in Yazd city), *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 8(11) (2020) 151-182. (in Persian)
- [4] S. Wei, M. Li, W. Lin, Y. Sun, Parametric studies and evaluations of indoor thermal environment in wet season using a field survey and PMV-PPD method, *Energy and Buildings*, 42(6) (2010) 799-806.
- [5] N.M. MONJEZI, A. ESLAMIMOGHADAM, Investigation of PMV index in thermal comfort of urban open spaces in summer Case study: River sidewalk near Khorramabad, Lorestan, *Urban Design Discourse-a Review of Contemporary Litreatures and Theories*, 2(3) (2022) 19-41. (in Persian)
- [6] C.B. Ze Ze, L. Nneme Nneme, L. Monkam, PMVd/PPDd model for predicting thermal comfort in air-conditioned buildings in hot and humid regions of Sub-Saharan Africa, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 32(1) (2024) 19.
- [7] M. Amini, A. Minaei, N. Moallemi Khiavi, Numerical evaluation of thermal comfort and indoor air quality in an office space equipped with a radiant ceiling cooling system and hybrid radiative-convective cooling system, *Journal of Modeling in Engineering*, 22(77) (2024) 37-56. (in Persian)
- زمستانی ۰/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۰/۷، (کلو زمستانی ۱، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۱/۱)، (کلو زمستانی ۱/۵، کلو تابستانی ۰/۵ و میت برابر با ۲)، و (کلو زمستانی ۱/۵، کلو تابستانی ۱/۵ و میت برابر با ۲)، به ترتیب شرایط آسایش ۳/۶ درصد، ۱۷/۴ درصد، ۴۸/۲ درصد و ۲۶/۸ درصد در ایام سال برقرار می‌باشد. همچنین در اقلیم بیابانی سرد BWk شهر کرمان برای حالت‌های ذکر شده به ترتیب شرایط آسایش ۴/۱ درصد، ۱۹/۱ درصد، ۵۲/۲ درصد و ۳۰/۲ درصد در ایام سال برقرار می‌باشد. همچنین اقلیم‌های معتدل کشور ایران مانند اقلیم معتدل با تابستان خشک و گرم Csb یعنی ایستگاه مشگین‌شهر و اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم Dsa یعنی ایستگاه همدان – نوژه و ایستگاه آبدلی معرف اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم Dsb می‌باشند که وسعت این اقلیم‌ها در ایران محدود است.

۷- فهرست علائم

علائم انگلیسی

c_{rec} تبادل حرارتی همرفتی تعرق، $[W/m^2]$

E_{rec} تبادل حرارتی همرفتی تعرق، $[W/m^2]$

E_c تبادل حرارتی تبخیری در سطح پوست زمانی که در حالت حرارتی خنثی قرار دارد، $[W/m^2]$

e تبادل حرارتی تبخیری در سطح پوست، $[W/m^2]$

H تلفات حرارتی خشک به صورت همرفت – هدایت و تابش، $[W/m^2]$

I_{cl} تابش لباس به طور متوسط برای تمام بدن، $[W/m^2]$

M نرخ سوخت و ساز بدن، $[W/m^2]$

P_a رطوبت – فشار جزیی بخار هوا، $[Pa]$

T_a دمای هوا، $[^{\circ}C]$

t_{cl} دمای سطح پوست، $[^{\circ}C]$

t_{sk} دمای متوسط پوست، $[^{\circ}C]$

- Masonry Building—Numerical Study, in: Occupational and Environmental Safety and Health VI: Volume 1: Occupational Risk Assessment, Management and Case Studies, Springer, 2025, pp. 217-227.
- [17] T. Razi, Koppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century, (2017). (in Persian)
- [18] J. Sajedifar, R. Mirzaei, G.H. Teimori, A. Mehri, F. Azadbakht, A. Choupani, M.R. Taheri, Evaluation of thermal comfort in an Iranian educational hospital using PMV-PPD model, Biotech Health Science, 2017 (2017).
- [19] I. ISO, 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, Management, 3(605) (2005) e615.
- [20] L. Yang, F. Wang, S. Zhao, S. Gao, H. Yan, Z. Sun, Z. Lian, L. Duanmu, Y. Zhang, X. Zhou, Comparative analysis of indoor thermal environment characteristics and occupants' adaptability: Insights from ASHRAE RP-884 and the Chinese thermal comfort database, Energy and Buildings, 309 (2024) 114033.
- [21] E.E. Broday, C.R. Ruivo, M.G. da Silva, The use of Monte Carlo method to assess the uncertainty of thermal comfort indices PMV and PPD: Benefits of using a measuring set with an operative temperature probe, Journal of Building Engineering, 35 (2021) 101961.
- [22] J. Shaeri, M. Mahdavinjad, Prediction indoor thermal comfort in traditional houses of Shiraz with PMV/PPD model, International Journal of Ambient Energy, 43(1) (2022) 8316-8334.
- [23] W. Huo, Y. Cheng, Y. Jia, C. Guo, Research on the thermal comfort of passenger compartment based on the PMV/PPD, International Journal of Thermal Sciences, 184 (2023) 107876.
- [24] H. Rezaei Rad, Z. Khodaei, M.M. Ghiai, J. Tabe Arjmand, M. El Haj Assad, The quantitative assessment of the effects of the morphology of urban complexes on the thermal comfort using the PMV/PPD model (a case study of Gheyariyeh neighborhood in Tehran), [8] B. Mohammadi, P. Mohammadkhani, M.H. Gholizadeh, Preparing Iran's bioclimatic map by using the predicted mean vote index, Geographical Research, 32(2) (2017) 21-39. (in Persian)
- [9] M. Taheri, H. Dehghan, B. Mahaki, N. Khoshzat, Assessment of thermal comfort Alzahra hospital staffs and comparison with the ASHRAE Standard 55-2010, Journal of Health System Research, 9(12) (2014) 1283-1292. (in Persian)
- [10] A. Khorani, A. Moradi, A. Moradi, Projecting changes in the thermal comfort of coastal tourists in Hormozgan province, Physical Geography Research, 55(2) (2023) 71-87. (in Persian)
- [11] M.L. Ruz, J. Garrido, F. Vázquez, Educational tool for the learning of thermal comfort control based on PMV□ PPD indices, Computer Applications in Engineering Education, 26(4) (2018) 906-917.
- [12] A.O. Kouassi, C. Honoré, K. Clé, Determination of Comfort Conditions Using the PMV, Set and PDD Thermal Comfort Indexes in Ivory Coast, Journal of Geoscience and Environment Protection, 12(10) (2024) 277-286.
- [13] L. Wang, J. Kim, J. Xiong, H. Yin, Optimal clothing insulation in naturally ventilated buildings, Building and Environment, 154 (2019) 200-210.
- [14] H. Mortazavi Alavi, S. Heidari, N. Nikghadam, An Evaluation of The Thermal Comfort of Users in Hot and Humid Climates (Case study: Indigenous housing in Kish Island), Housing and Rural Environment, 40(174) (2021) 29-44. (in Persian)
- [15] A.A.M. Damanhuri, N.N.M. Ishak, T.B. Tuan, M.S.S. Mustafa, A.M.H.S. Lubis, C.C. Khean, Evaluation Thermal Comfort based on PMV and PPD using CBE Tool for Three Non-Air-Conditioned Pre School: A Case Study in Melaka Tengah, Malaysia District Area, Journal of Design and Built Environment, (2025) 126-135.
- [16] A. Carneiro, P. Gonçalves, R. Saraiva, D. Oliveira, L. Martins, J.C. Teixeira, N. Rodrigues, A.C. Ferreira, S. Teixeira, Assessment of the Thermal Comfort of a

- model, Building and Environment, 212 (2022) 108842.
- [26] V. Rezaee, M. Masoumnezhad, A. Tahvili, Feasibility of natural ventilation potential of residential buildings for different climates of Iran, Science and Technology in Mechanical Engineering, (2024). (in Persian)
- International Journal of Low-Carbon Technologies, 16(2) (2021) 672-682.
- [25] M. Charai, A. Mezrhab, L. Moga, A structural wall incorporating biosourced earth for summer thermal comfort improvement: Hygrothermal characterization and building simulation using calibrated PMV-PPD

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

Vahid Rezaee, Abouzar Taghizadeh, Evaluating of the impact of environmental indicators on thermal comfort for different climates in Iran using the PMV model, Amirkabir J. Mech Eng., 57(1) (2025) 3-24.

DOI: [10.22060/mej.2025.23850.7819](https://doi.org/10.22060/mej.2025.23850.7819)

