Applied **E**nergy **C**onversion, Vol. 1, No. 2, pp. 28-35, (2026)
https://doi.org/10.22077/AEC.2026.10350.1033

تبدیل انرژی کاربردی

Homepage: https://aec.birjand.ac.ir/, **ISSN 684X-3092**

Feasibility and Comparative Study of Indoor Temperature Control Methods Based on PMV Model and ASHRAE 55 Adaptive Comfort Standard for Residential Buildings in Iran's Nine Climatic Zones

Vahid Rezaee[1*], Arash Tahvili[2]

[1] *Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.*
[2] *Department of Engineering Sciences, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.*
[*] *Corresponding Author Email address:* Vrezaee@tvu.ac.ir

Article info

Article history:
Received: 28 Oct 2025
Revised: 22 Dec 2025
Accepted: 01 Feb 2026
Available online: 10 Feb 2026

Keywords:
Comfort models
Adaptive ventilation
Köppen-Geiger climatology
PMV model

Abstract

In this study, the feasibility and comparison of the potential of indoor temperature control based on two methods: the PMV model and the Asher standard adaptive model 55 in providing thermal comfort conditions for the design of residential buildings for different climatic conditions in Iran have been investigated and evaluated. Iranian cities are divided into 9 climates using the Köppen-Geiger climatology method. BWh, BSk, BSh and CSa climates are important climatic groups in Iran, each of which covers a large part of the country, and BWk, Cfa, CSb, Dsa and Dsb climates cover a smaller area of Iran. The environmental index parameters in these 9 climates include temperature, relative humidity, metabolic rate, and insulation of the cover. The PMV model was used for the potential of indoor temperature control, and the standard adaptive model of Asher 55 was used for adaptive ventilation. By importing the climate file of the selected cities into the software, the output results including comfort conditions, the number of hours of natural and adaptive ventilation, and other results were obtained for the 9 climates. The results showed that the Cfa and BSh climates have the lowest and highest indoor temperature control potential hours of 11 hours and 590 hours, respectively, and the CSb and Cfa climates have the lowest and highest adaptive ventilation hours of 722 hours and 1960 hours, respectively.

امکان‌سنجی و مطالعه مقایسه‌ای پتانسیل روش‌های کنترل دما براساس مدل PMV و مدل آسایش تطبیقی استاندارد اشری 55 ساختمان‌های مسکونی در اقلیم‌بندی نه‌گانه ایران

وحید رضائی[1*]، آرش تحویلی[2]

[1] *عضو هیئت علمی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران*
[2] *عضو هیئت علمی، گروه علوم مهندسی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران*
[*] *پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Vrezaee@vu.ac.ir*

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۰۴/۰۸/۰۶
بازنگری: ۰۴/۱۰/۰۱
پذیرش: ۰۴/۱۱/۱۲
نشر برخط: ۰۴/۱۱/۲۱

کلمات کلیدی:
مدل‌های آسایش
تهویه تطبیقی
اقلیم شناسی کوپن گایگر
مدل پی‌ام‌وی

چکیده

در این پژوهش، امکان‌سنجی و مقایسه پتانسیل کنترل دمای داخل اتاق براساس دو روش مدل PMV و مدل تهویه تطبیقی استاندارد اشری 55 در تامین شرایط آسایش حرارتی جهت طراحی ساختمان‌های مسکونی برای شرایط مختلف اقلیمی ایران بررسی و ارزیابی شده است. شهرهای ایران با روش اقلیم‌شناسی کوپن گایگر به 9 اقلیم تقسیم می‌شوند. اقلیم‌های BWh، BSk، BSh و CSa از گروه‌های مهم اقلیمی ایران هستند که هر کدام قسمت بزرگی از کشور را در بر می‌گیرند و اقلیم‌های BWk، CSb، Cfa، Dsa و Dsb مساحت کمتری از ایران را در اختیار دارند. پارامترهای شاخص محیطی در این 9 اقلیم شامل دما، رطوبت‌نسبی، نرخ متابولیک و عایق پوشش می‌باشند که برای پتانسیل کنترل دمای داخل از مدل PMV و برای تهویه تطبیقی از مدل تطبیقی استاندارد اشری 55 استفاده شده است. با وارد کردن فایل آب و هوایی شهرهای منتخب در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت، نتایج خروجی شامل شرایط آسایش، مقدار ساعت کنترل دمای داخل، تهویه تطبیقی و دیگر نتایج برای 9 اقلیم بدست آمد. نتایج نشان داد که اقلیم‌های Cfa و BSh به ترتیب کمترین و بیشترین ساعت پتانسیل کنترل دمای داخل به مقدار 11 ساعت و 590 ساعت و همچنین اقلیم‌های CSb و Cfa کمترین و بیشترین تهویه تطبیقی به ترتیب 722 ساعت و 1960 ساعت را دارند.

۱ - مقدمه

افزایش کیفیت زندگی، توسعه اقتصادی، شهرنشینی و تغییرات اقلیمی اغلب از علل رشد مصرف انرژی در جهان هستند. رشد سالانه مصرف انرژی جهان از سال 2005 تا 2011، 3.15 درصد بود، در حالی که اداره اطلاعات انرژی (EIA) روند رشد 56 درصدی را از سال 2014 تا 2020 تخمین زده است[۱]. امروزه، بخش ساختمان به دلیل افزایش مدت اقامت افراد در آن، که تا 90% تخمین زده می‌شود، یکی از بخش‌هایی بوده است که بیشترین رشد را داشته است [۱]. در عین حال، افزایش درآمد قابل تصرف، رشد بخش ساخت و ساز در اقتصادهای نوظهور و تغییر شرایط آب و هوایی جهانی از مهمترین دلایل این موضوع هستند. مصرف انرژی ساختمان در جهان 19 تا 50 درصد است و تمایل دارد در کوتاه مدت به 60 درصد افزایش یابد [۱-۲]. مصرف اصلی انرژی در ساختمان‌ها برای گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) است که می‌تواند تا 40 تا 50 درصد باشد. آسایش حرارتی در ساختمان‌ها شامل جنبه‌های فیزیولوژیکی، روانی، اجتماعی و فرهنگی ساکنان و همچنین جنبه‌های مرتبط با موقعیت جغرافیایی می‌باشد. به طور کلی، مطالعه آسایش حرارتی مبتنی بر رویکرد ایستا است و اخیراً محققین به دنبال اعمال رویکرد تطبیقی هستند. رویکرد ایستا، به‌عنوان مدل میانگین رای پیش‌بینی‌شده (PMV) که توسط فانگر ارایه شده است، بر اساس مطالعات تعادل حرارتی است، در حالی که رویکرد تطبیقی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های میدانی مرتبط با داده‌های شرایط آب و هوایی می‌باشد [۱-۲].

رویکرد تطبیقی بر اساس اصل تطبیقی تعریف می‌شود که اگر تغییری اتفاق بیفتد که باعث ایجاد ناراحتی شود، افراد به روش‌هایی واکنش نشان می‌دهند که تمایل به بازگرداندن آسایش آنها دارد [۲]. پتانسیل تهویه طبیعی برای ارزیابی اطمینان از قابل قبول بودن کیفیت هوای داخلی و آسایش حرارتی به طور طبیعی با تعیین محیط داخلی و خارجی تعریف شده است، پتانسیل تهویه طبیعی می‌تواند تحت تأثیر اقلیم محلی، فرم شهری و ویژگی‌های ساختمان (هندسی و حرارتی) قرار گیرد [۳]. در تهویه طبیعی ساختمان‌ها، جریان هوا از داخل ساختمان به دلیل فشارهای ایجاد شده توسط باد بر روی پوشش ساختمان (تهویه بادی) و یا اختلاف فشار ناشی از اختلاف چگالی هوا ناشی از اختلاف دمای داخل و خارج ساختمان (تهویه توسط دودکش یا اثر پشته) ایجاد می‌شود. در این نوع تهویه، ورود هوای خارجی در ساختمان عمدتاً توسط بازشوهای نما و توسط در و پنجره انجام می‌شود. بازشوها در نماها می‌توانند ثابت یا قابل تنظیم باشند، در حالی که درها و پنجره‌ها را می‌توان به‌صورت دستی یا خودکار توسط یک سیستم مدیریت ساختمان کنترل کرد [۴].

امروزه، مدل‌های آسایش تطبیقی زیادی وجود دارد که ساکنان ساختمان را به عنوان عوامل فعال برای دستیابی به آسایش حرارتی در نظر می‌گیرند، بنابراین این ایده که ساکنان دریافت‌کنندگان منفعل ساده آب و هوای داخلی هستند، تغییر می‌کند. استانداردسازی که اولین بار در سال 2004 توسط اشری منتشر شد، پرکاربردترین مدل آسایش است. آخرین نسخه به روز شده، یعنی اشری 55، در سال 2020 انجام شد و از آن زمان در مکان‌های مختلف در سراسر جهان اعمال شده است. به همین دلیل تصمیم گرفته شده است که از استاندارد اشری در مقابل استاندارد EN-16798 که ملاحظات مشابهی دارد، استفاده شود [۵]. استاندارد اشری 55 ترکیبی از عوامل محیط حرارتی داخلی و عوامل شخصی را مشخص می‌کند که شرایط محیطی حرارتی قابل قبول برای اکثر ساکنان یک فضا را ایجاد می‌کند. مطالعات نشان می‌دهد که با اعمال رویکردهای غیرفعال در ساختمان‌ها می‌توان انرژی مصرفی برای سرمایش را به میزان قابل توجهی کاهش داد [۶].

در زمینه تهویه تطبیقی و مدل‌های آسایش تحقیقات بسیار زیادی انجام شده است. در حوزه آسایش حرارتی تطبیقی، مینایی و معلمی [۷] بررسی آسایش حرارتی با مدل تهویه تطبیقی استاندارد اشری 55 با نرم افزار انرژی پلاس برای 6 شهر مختلف ایران را انجام دادند. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد برای شهر تبریز اقلیم سرد و ضعیف‌ترین عملکرد برای شهر بندرعباس با اقلیم گرم و مرطوب می‌باشد.

گارسیا و همکاران [۸] عملکرد مقایسه‌ای انرژی با استفاده از دمای نقطه تنظیم بر اساس مدل آسایش محلی استرالیا در مقایسه با مدل تطبیقی اشری 55 را برای شرایط آب و هوایی استرالیا با روش کوپن گایگر انجام دادند. نتایج نشان داد با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی، با مدل استرالیایی به طور متوسط تقاضای افزایش انرژی و با مدل اشری 55، تقاضای کاهش انرژی در سناریوهای آتی را دارد. بنابراین، دمای نقطه تنظیم مطابق با مدل آسایش تطبیقی منطقه‌ای استرالیا یک روش بسیار کارآمد برای حفظ انرژی است.

راجان راوال و همکاران [۹] مدل آسایش حرارتی تطبیقی بر اساس بررسی‌های میدانی یک ساله در هشت شهر واقع در پنج منطقه آب و هوایی هند برای آسایش تطبیقی - مسکونی پیشنهاد کردند. ایولین دلگادو-گوتیرز و همکاران [۵] پتانسیل آسایش تطبیقی در مناطق مختلف آب و هوایی اکوادور را با توجه به گرمایش جهانی انجام دادند. ژیبین وو و همکاران [۱۰] آسایش حرارتی تطبیقی در ساختمان‌های خوابگاهی با تهویه طبیعی در چانگشا، چین را انجام دادند. حد بالایی دما برای پذیرش 80% برابر با 28.5 درجه سلسیوس تعیین شد. قابل قبول‌ترین دمای عملکرد 26.6 درجه سلسیوس بود. 80 درصد ساکنین در محدوده دمایی بین 25 تا 28.7 درجه سلسیوس راحت بودند. خوشبخت و همکاران [۱۱] مطالعه حساسیت حرارتی و تهویه تطبیقی در سه ساختمان اداری برای آب و هوای نیمه گرمسیری مرطوب را انجام دادند. نتایج نشان داد که دمای خنثی 0.5 درجه بیشتر از استاندارد اشری 55 بود. همچنین محدوده آسایش 0.75 درجه بیشتر از استاندارد اشری 55 بدست آمد. سلیقه و همکاران [۱۲] با استفاده از نرم‌افزار راینو – گراس‌هاپر آسایش حرارتی را در مدارس متوسطه دوم آب و هوای شهر تبریز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان خیرگی و کفایت نور در آسایش حرارتی تطبیقی نسبت سطح به حجم اهیمت بیشتری دارد. رهایی و همکاران [۱۳] عملکرد تهویه طبیعی ساختمان‌های اداری در آب و هوای گرم و مرطوب شهر اهواز را بررسی کردند. با کمک نرم افزار فلوئنت نتایج نشان داد که استفاده از دمنده سقفی و تغییر در شکل و ابعاد راهرو تهویه موثرتری را برقرار می‌کند. سرگزی و همکاران [۱۴] عملکرد تهویه تطبیقی و آسایش حرارتی در منطقه سیستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که با روش‌های تهویه تطبیقی در روزهای گرم در حدود 51 درصد اوقات روز آسایش حرارتی برقرار می‌شود. بینونیدو هورتاس و همکاران [۱۵] صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از مدل‌های آسایش اشری 55 و تهویه تطبیقی منطقه‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد تهویه طبیعی در اکثر کشورها کاربرد محدودی را نشان می‌دهد، اما استراتژی تطبیقی بیشترین کاربرد را در ماه‌های گرم‌تر داشت. سمر تاپا و همکاران [۱۶] اثر ارتفاع در تهویه تطبیقی برای آب و هوای شرق هند را انجام دادند. این مدل می‌تواند توسط معماران در منطقه یا جاهای دیگر با تنظیم زیست اقلیمی مشابه برای تخمین دمای آسایش موردنیاز تهویه طبیعی داخل ساختمان استفاده شود. صفوی و اقبالی [۱۷] برای بهبود تهویه طبیعی و آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک موارد تغییر فازدهنده را مورد بررسی و انتخاب قرار دادند.

با مطالعه پیشینه تحقیق‌های انجام شده نیاز به یک تحقیق جامع و کامل برای اقلیم‌های مختلف ایران در حوزه کنترل دما و تهویه تطبیقی ضروری و لازم است. هدف اصلی این پژوهش، امکان‌سنجی پتانسیل کنترل دمای داخل و تهویه تطبیقی برای شرایط اقلیمی شهرهای ایران با مدل استاندارد اشری 55 برحسب روش اقلیم‌شناسی کوپن – گایگر[1] می‌باشد. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت[2] تاثیر پارامترهای محیطی شامل دما، سرعت باد، نرخ متابولیک و عایق پوشش بر روی آسایش حرارتی در 9 اقلیم ایران با مدل PMV ارزیابی شده است. در نرم‌افزار برای امکان‌سنجی پتانسیل کنترل دمای داخل از مدل استاندارد اشری 55 به روش PMV و برای مدل تهویه تطبیقی از مدل استاندارد اشری 55 استفاده شده است. نوآوری و اهداف مقاله به این صورت است که با مطالعه آسایش حرارتی، می‌توان مهندسان طراح را برای استفاده از روش‌های غیرفعال و تهویه تطبیقی و کنترل دمای داخل ساختمان مسکونی راهنمایی نمود. با توجه به اقلیم‌های مختلف ایران استفاده از تجهیزات مکانیکی به حداقل خواهد رسید.

۲ - شرح مساله

۲-۱- مدل PMV

مدل PMV شاخصی است که میانگین مقدار آرای گروه بزرگی از افراد را در مقیاس احساس حرارتی هفت درجه‌ای پیش‌بینی می‌کند (جدول (۱)). بر اساس استاندارد اشری 55 دامنه مدل PMV بین منفی 3 تا مثبت 3 قرار دارد [۱۸]. این مقادیر نمایانگر احساس گرمای حرارتی است که توسط افراد در داخل فضا حس می‌شود.

1. Köppen–Geiger climate
2. Climate Consultant Software (CCS)

جدول (۱) مفاهیم متغیر PMV را بر مبنای استاندارد اشری 55 بیان میکند. مدل PMV بر این فرض استوار است که افرادی که در مقیاس حس حرارتی 2+، 3+، 2- یا 3- رای می‌دهند ناراضی هستند و بر این ساده‌سازی است که PPD (درصد نارضایتی حرارتی پیش‌بینی شده) حول یک PMV خنثی متقارن است.

زمانی که PMV بین منفی 0.5 تا 0.5+ متغیر باشد، محیطی بسیار راحت[1] در نظر گرفته می‌شود. بین 1- و 1+ راحت[2] در نظر گرفته می‌شود. این مقادیر به ترتیب منجر به PPD و PMV 10% و 27% می‌شود. وقتی PMV صفر است، یعنی برای حالت کامل، PPD 5 درصد است. شاخص PMV از رابطه (۱) تعیین می‌شود[۱۸].

$$PMV = (0.303.e^{-0.036M} + 0.028).L \qquad (۱)$$

در رابطه بالا M نرخ متابولیسم و L بار حرارتی روی بدن است که به عنوان تفاوت بین تولید گرمای داخلی و از دست دادن گرما به محیط تعریف می‌شود. شاخص PPD از رابطه (۲) تعیین می‌شود.

$$PPD = 100 - 95\, e^{(-0.03353\times PMV^4 - 0.2179\times PMV^2)} \qquad (۲)$$

جدول ۱. مقیاس احساس حرارتی مورد استفاده فانگر.

Table 1. Thermal sensation scale used by Fanger.

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

فرضیات زیر در این تحقیق در نظر گرفته شده است:

- از دما تابشی و دمای پوست صرفه‌نظر شده است.
- دمای حباب خشک متوسط در فصل‌های زمستان و تابستان استفاده شد.
- رطوبت نسبی متوسط در فصل‌های زمستان و تابستان استفاده شد.
- مقدار Clo زمستانی و تابستانی به ترتیب برابر با 1 و 0.5 می‌باشد.
- مقدار Met 1.1 می‌باشد.
- فشار هوا اتمسفر در نظر گرفته شده است.
- مقدار PPD برابر 90 درصد می‌باشد.
- کمترین و بیشترین مقدار "دمای موثر جدید" (ET^*) زمستانی در مدل PMV به ترتیب برابر با 20.3 و 24.3 درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است.
- بیشترین مقدار "دمای موثر جدید" (ET^*) تابستانی در مدل PMV برابر با 26.7 درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است.
- ماکزیمم رطوبت در مدل PMV برابر با 84.6 درصد می‌باشد.

۲-۲- مدل آسایش تطبیقی

مدل آسایش حرارتی PMV متداول‌ترین مدل آسایش حرارتی است. اما این مدل در ساختمان‌های دارای تهویه طبیعی مقدار پایین‌تری برای احساس حرارتی ساکنان در مقایسه با احساس حرارتی واقعی آنها پیش‌بینی می‌کند. به سفارش اشری، دیر و براگر برای ساختمان خنک‌شونده با تهویه طبیعی با استفاده از مطالعات میدانی یک رابطه تجربی برای دمای آسایش فضای داخل ارایه دادند. در این مدل شرایط آسایش حرارتی محیط داخل بر حسب شرایط محیط بیرون متغیر است.

مدل آسایش حرارتی تطبیقی دیر و براگر شرایط قابل قبول برای ساکنین یک ساختمان خنک شونده با تهویه طبیعی را بیان می‌کند و در شرایط زیر قابل استفاده است:

هیچ‌گونه وسیله تهویه مکانیکی مانند فن یا تهویه مطبوع مانند کولر آبی یا گازی و غیره برای سرمایش و گرمایش وجود ندارد. نرخ متابولیک افراد داخل ساختمان در محدود 1 تا 1.5 Met[3] است. بر حسب شرایط داخل و محیط بیرون، ساکنین ساختمان آزادند تا پوشش خود را در محدوده 0.5 تا 1 Clo تغییر دهند.

میانگین دمای محیط بیرون باید در هر ماه بیشتر از 10 درجه سلسیوس و کمتر از 33.5 درجه سلسیوس باشد. در صورتی که دما خارج از این محدوده باشد نمی‌توان از این مدل استفاده کرد [۱۹]. به علاوه در چنین شرایطی استفاده از تهویه تطبیقی برای ساختمان توصیه نمی‌گردد. در مدل آسایش حرارتی تطبیقی اشری 55، دمای بهینه محیط داخل (T_{comf}) برای برقراری رضایت حرارتی تمامی ساکنان با استفاده از برازش بر روی داده‌های تجربی به‌صورت رابطه (۳) بیان شده است.

$$T_{comf} = 0.31T_{a,out} + 17.8 \qquad (۳)$$

در رابطه فوق $T_{a,out}$ میانگین دمای محیط بیرون در یک بازه زمانی یک ماهه است.

۲-۳- شرایط اقلیمی ایران بر حسب روش کوپن گایگر

وضعیت غالب آب و هوای یک منطقه که در یک دوره دراز مدت وجود داشته و تابعی از پارامترهای هواشناسی نظیر دما، بارندگی، رطوبت، تشعشع، باد و غیره می‌باشد را اقلیم آن منطقه می‌نامند [۲۰]. اقلیم تا آنجا که به آسایش انسان مربوط می‌شود، نتیجه تاثیر متقابل عناصری چون تابش آفتاب، دما و رطوبت هوا، وزش باد و میزان بارندگی است. در مورد تقسیم‌بندی اقلیمی نقاط مختلف جهان، روش‌های گوناگونی پیشنهاد شده که یکی آنها روش کوپن دانشمند اتریشی مورد توجه قرار گرفته است. اصولا در بسیاری از مناطق جهان، اقلیم به وسیله عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا مشخص می‌شود. ایران با قرار گرفتن بین 25 تا 40 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 475 متر است، درصد بسیار کمی از سطح کل کشور را تشکیل می‌دهد [۲۱].

بررسی‌های اخیر انجام‌شده بین سال‌های 1990 و 2014 نشان می‌دهد که از 31 گروه اقلیمی شناسایی‌شده توسط کوپن-گایگر، ایران 9 گروه از آنها را در بر می‌گیرد (شکل (۱)). بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن – گایگر، اقلیم‌های بیابانی خشک و بسیار گرم (BWh)[4]، نیمه بیابانی خشک و سرد (BSk)[5]، نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم (BSh)[6] و معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم (CSa)[7] 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 (BWk)[8]، معتدل با تابستان‌های خشک و گرم (CSb)[9]، اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم (DSa)[10]، اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم (DSb)[11] و معتدل پرباران با تابستان‌های گرم (CFa)[12] بخش بسیار کوچکی از مساحت کشور را تشکیل می‌دهند [۲۰] (شکل (۱)).

1. Very comfortable
2. Comfortable

3. Met Unit of metabolic activity Wm^{-2}
4. Hot desert climate
5. Cold semi-arid climate
6. Hot semi-arid climate
7. Hot-summer Mediterranean climate
8. Cold desert climate
9. Warm-summer Mediterranean climate
10. Mediterranean-influenced hot-summer humid continental climate
11. Mediterranean-influenced warm-summer humid continental climate
12. Humid subtropical climate

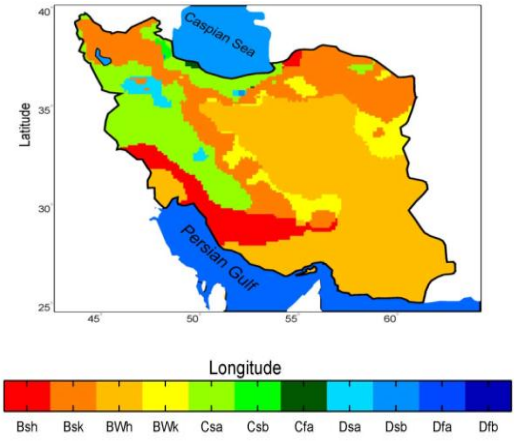

Fig. 1. Köppen-Geiger climate classification of Iranian cities.

شکل ۱. طبقه بندی اقلیم کوپن گایگر در شهرهای ایران.

۲-۴- روش حل

نحوه کار بدین صورت می‌باشد که در هر منطقه فایل‌های آب و هوایی با فرمت EPW[1] داده شده است که این فرمت‌ها را می‌توانیم در سایت‌هایی همانند انرژی پلاس برای شرایط آب و هوایی شهرهای ایران و دیگر نقاط جهان استخراج کنیم. 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 آب و هوایی اکوتکت و نرم‌افزار آسایش حرارتی اشری. از چهار مدل آسایش حرارتی در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت، مدل دوم مربوط به استاندارد اشری 55 است که به عنوان مدل PMV شناخته می‌شود. همچنین مدل چهارم مربوط به مدل آسایش تطبیقی استاندارد اشری 55 می‌باشد. با وارد کردن فایل‌های آب و هوایی شهرهای منتخب در نرم افزار مشاوره آب و هوایی نمودارهای اقلیمی رسم و تحلیل آن با استفاده از نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت انجام شد. در نرم‌افزار مشاوره آب و هوایی از استاندارد اشری 55 و مدل PMV استفاده شده است. در این استاندارد آسایش حرارتی بر اساس دمای حباب خشک، سطح لباس، فعالیت متابولیک، سرعت هوا، رطوبت، و میانگین دمای تابشی است. در این پژوهش طراحی غیرفعال ساختمان و ایجاد شرایط آسایش حرارتی در داخل ساختمان بدون استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع فعال مدنظر است. در جدول (۲) و (۳) ویژگی ایستگاه‌های هواشناسی شهرهای منتخب برای اقلیم کوپن - گایگر برای انجام آنالیز ارایه شده است. 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 شد. بعد از وارد کردن داده‌های آب و هوایی در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت و انتخاب مدل استاندارد اشری 55 و مدل تهویه تطبیقی نتایج خروجی شامل دما، میزان تابش خورشیدی، درصد آسایش، تعداد ساعات کنترل دمای داخل و تعداد ساعات تهویه تطبیقی در شهرهای منتخب اقلیم‌های نه‌گانه ایران با شکل و جداول مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲. ویژگی‌های جغرافیایی شهرهای منتخب برای آنالیز.

Table 2. Geographical characteristics of the cities selected for analysis.

City (Climate)	Eastern Longitude	Northern Latitude	Elevation m
Yazd (BWh)	54.28	31.88	1237
Khorramabad (CSa)	48.28	33.43	1184
Mashhad (BSk)	59.57	36.27	1128
Sabzevar (BSh)	57.66	36.21	941
Bandar-e Anzali (CFa)	49.46	37.46	-26
Kerman (BWk)	56.96	30.25	1754
Ardabil (CSb)	47.1	38.23	1830
Hamedan-Nozheh (DSa)	48.68	35.2	1680
Abali (DSb)	51.96	35.76	2057

1. Energy Plus weather

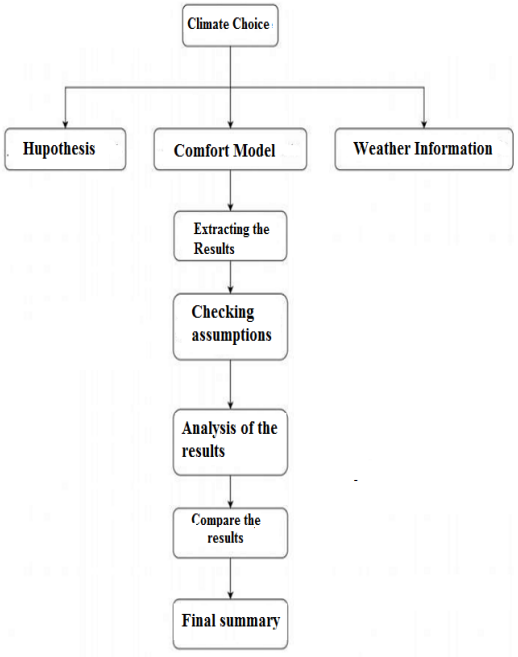

Fig. 2. Flowchart of research steps.

شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام پژوهش.

جدول ۳. ویژگی‌های دمایی شهرهای منتخب برای آنالیز.

Table 3. Temperature characteristics of the cities selected for analysis.

City (Climate)	Mean Dry-Bulb Temperature (°C)	Mean Relative Humidity in Winter (%)	Mean Dry-Bulb Temperature in (°C)	Mean Relative Humidity in Summer (%)
Yazd (BWh)	10	40	27	18
Khorramabad (CSa)	6.5	65.5	22.5	31.6
Mashhad (BSk)	7.33	60.67	22.67	32
Sabzevar (BSh)	9	53.8	25.5	27.8
Bandar-e Anzali (CFa)	9.8	85.33	22.5	81
Kerman (BWk)	8.6	45.33	23.16	21.33
Ardabil (CSb)	6.5	70	13	64
Hamedan-Nozheh (DSa)	-4	63	3.33	36.6
Abali (DSb)	2	58.66	17.66	35

۳ – نتایج

هدف از این پژوهش بررسی پتانسیل کنترل دمای اتاق و تهویه تطبیقی با استفاده از مدل آسایش PMV و تطبیقی استاندارد اشری در اقلیم‌های مختلف ایران است. مدل آسایش تطبیقی در استاندارد اشری 55 در فضاهای دارای تهویه طبیعی که در آن ساکنان می‌توانند پنجره‌ها را باز و بسته کنند، پاسخ حرارتی آنها تا حدی به آب و هوای بیرون بستگی دارد و ممکن است محدوده راحتی بیشتری نسبت به ساختمان‌هایی با سیستم‌های HVAC متمرکز داشته باشد. شرایط داخل ساختمان زمانی قابل قبول است که میانگین دمای هوای بیرون بین 10 درجه سلسیوس تا 33.33 درجه سلسیوس باشد، و زمانی که دمای داخل را می‌توان در محدوده دمایی عملیاتی 10 درجه مشخص شده نگه داشت. این مدل فرض می‌کند که ساکنین لباس‌های خود را با شرایط حرارتی تطبیق می‌دهند و بی‌حرکت هستند (1.0 تا 1.3 Met). این مدل زمانی که سیستم گرمایشی ساختمان در حال کار است و یا در صورت وجود سیستم تهویه مطبوع کاربرد ندارد. نباید سیستم خنک کننده مکانیکی وجود داشته باشد، اما اگر سیستم گرمایش مکانیکی در حال کار باشد، این روش اعمال نمی‌شود. در مطالعه حاضر 9 نوع اقلیم کشور ایران برحسب روش کوپن - گایگر مورد توجه قرار گرفتند که این اقلیم‌ها به‌صورت زیر می‌باشد:

- 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.
- اقلیم BSk شهرهای خراسان رضوی و شمالی، آذربایجان شرقی و غربی و غیره می‌باشد که ایستگاه مشهد معرف اقلیم BSk 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.
- شهر کرمان نماینده اقلیم Bwk می‌باشد.
- اقلیم cfa شامل شهرهای رشت، آستارا، رامسر و انزلی است که ایستگاه انزلی معرف و نماینده اقلیم cfa می‌باشد.
- اقلیم sca شامل شهرهای گرگان، ساری، کردستان، بخش‌هایی از آذربایجان شرقی، ارومیه و پیرانشهر، خرم‌آباد، ایلام، کرمانشاه، مرکزی، چهارمحال بختیاری بجز شهرکرد، همدان می‌باشد که ایستگاه خرم‌آباد معرف و نماینده اقلیم sca در نظر گرفته شد.
- استان اردبیل و مشکین شهر نماینده اقلیم scb می‌باشد.
- اقلیم dsa شامل شهرکرد و تالش می‌باشند. ایستگاه همدان- نوژه نماینده اقلیم dsa در نظر گرفته شده است.
- ایستگاه آبعلی نماینده اقلیم dsb می‌باشد.

در جدول (٤) میانگین نتایج پتانسیل کنترل دمای داخل و تهویه تطبیقی در شهر- اقلیم‌های مختلف ایران در سال نشان داده شده است. طبق جدول (٤) با حرکت از شمال ایران به سمت مرکز و جنوب، پتانسیل استفاده از کنترل دمای داخل طبق نتایج نرم‌افزار بیشتر است. آبادان با 673 ساعت تهویه در سال بیشترین پتانسیل تهویه را داشته، سپس به ترتیب قم با 625 ساعت تهویه در سال، تهران 570 ساعت تهویه در سال، بیشترین پتانسیل تهویه را دارند. شهرهای شمالی و ساحلی دریای خزر کمترین پتانسیل و ساعات تهویه را دارند. رشت با 5 ساعت تهویه در سال کمترین پتانسیل تهویه را داشته، سپس به ترتیب رامسر با 10 ساعت تهویه در سال، گرمسار 11 ساعت تهویه در سال، کمترین پتانسیل تهویه را دارند. به طور کلی می‌توان بیان نمود شهرهای مرکزی و جنوبی طبق شرایط تعریف شده از پتانسیل بیشتری برای استفاده از تهویه طبیعی برخوردارند. اما نتایج برای تهویه تطبیقی کمی متفاوت است.

شهرهای رشت، انزلی، رامسر جزء شهرهای با پتانسیل بالای تهویه تطبیقی قرار دارند. بوشهر با 2189 ساعت تهویه در سال بیشترین پتانسیل تهویه تطبیقی را داشته، سپس به ترتیب رامسر با 1943 ساعت تهویه تطبیقی در سال، گرگان 1807 ساعت تهویه در سال، بیشترین پتانسیل تهویه تطبیقی را دارند. اقلیم‌های اردبیل، خرم‌آباد، همدان - نوژه کمترین پتانسیل و ساعات تهویه تطبیقی را دارند. یاسوج با 804 ساعت تهویه در سال کمترین پتانسیل تهویه را داشته، سپس به ترتیب شهرکرد با 904 ساعت تهویه در سال، همدان - نوژه 935 ساعت تهویه در سال، کمترین پتانسیل تهویه را دارند. نتایج کامل پتانسیل تهویه طبیعی و تطبیقی همه شهرها در جدول (٤) نشان داده شده است.

پارامترهای میانگین دمای خشک زمستانی و تابستانی و میانگین رطوبت‌نسبی زمستان و تابستان این شهرها در جدول (٣) نشان داده شده است. بررسی شکل (٣) نمودار دما اقلیم‌های 9 گانه ایران نشان می‌دهد که در حدود 60 درصد اوقات سال دما بین 0 تا 21 درجه سلسیوس قرار می‌گیرد و نیاز به راهکارهای غیرفعال و فعال برای گرمایش دارد. در این اقلیم‌ها حدود 20 درصد اوقات سال دما بین 21 تا 27 درجه سلسیوس و تقریبا بین 10 تا 15 درصد اوقات سال دما بین 27 تا 38 درجه سلسیوس و تقریبا 5 درصد اوقات سال دما بالاتر از 38 درجه سلسیوس می‌باشد.

جدول ۴. نتایج کنترل دما داخل(تهویه طبیعی) و تطبیقی شهرهای ایران.

Table 4. Results of natural and adaptive ventilation in Iranian cities.

City (Climate)	Thermal Comfort or Natural Ventilation (hours)	Adaptive Ventilation (hours)
Abali(DSb)	118	1050
Astara (cfa)	3	1030
Ilam (sca)	444	1272
Khorramabad (CSa)	341	1132
Rasht (cfa)	5	1658
Zanjan (BSh)	261	1019
Sabzevar (BSh)	590	1366
Ardabil (CSb)	59	727
Anzaly(Cfa)	11	1960
Tabriz (BSk)	290	1277
Ramsar (cfa)	10	1943
Zahedan (Bwh)	554	1524
Sari (sca)	77	1565
Shahrekord (dsa)	310	901
Kerman (BWk)	435	1307
Hamedan(BSk)	275	904
Yasuj (BSh)	256	804
Abadan (Bwh)	673	1248
Ahvaz (Bwh)	511	1190
Tehran (BSk)	570	1626
Qom (Bwh)	625	1305
Shiraz (BSh)	378	1218
Gorgan (sca)	161	1807
Bojnord (BSk)	549	1417
Urmia (sca)	261	1090
Kermanshah (sca)	333	1014
Mashhad (BSk)	377	1033
Hamedan-Nozheh (DSa)	225	935
Yazd (BWh)	425	1357
Sanandaj (sca)	338	977
Arak (sca)	310	1153
Isfahan (Bwh)	330	1114
Rafsanjan (Bwh)	543	1468
Bandar Abbas (Bwh)	263	2198
Birjand (BSk)	466	1264
Bushehr (Bwh)	78	2189
Qazvin	260	1093
Garmsar	11	1720

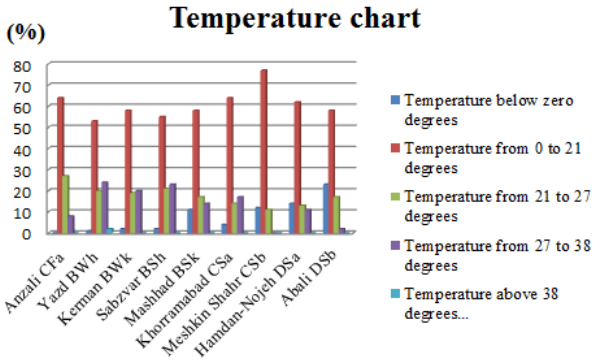

Fig. 3. Temperature chart in the nine climates of Iran.

شکل ۳. نمودار دما در اقلیم‌های نه گانه ایران.

تابش آفتاب از دو جهت در طراحی اقلیم مهم است. میزان دریافت انرژی خورشیدی و استفاده از نور طبیعی روز برای روشنایی فضاهاست. این دو عامل به شاخص‌هایی نظیر میزان ابری یا صاف بودن آسمان بستگی دارد. شکل (٤) میزان دریافت تابش خورشیدی اقلیم‌های نه گانه ایران را در سال نشان می‌دهد. میله‌های به رنگ آبی، قرمز و سبز به ترتیب تابش نرمال مستقیم خورشید, تابش افقی جهانی یا کل خورشید و تابش سطح منحرف شده یا پخش می‌باشد. حداقل و حداکثر میانگین تابش در این اقلیم ترتیب 300 تا 450 وات بر مترمربع بر ساعت است.

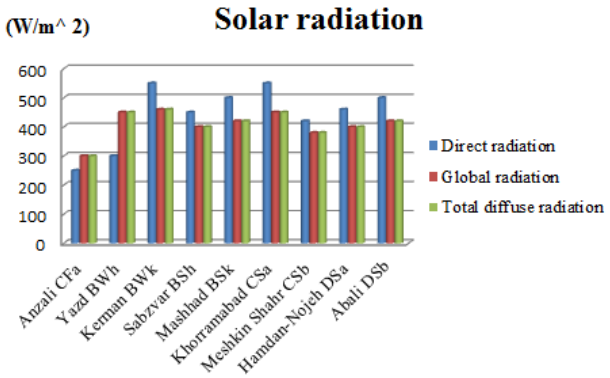

Fig. 4. Amount of solar radiation received in the nine climates of Iran.

شکل ۴. میزان دریافت تابش خورشیدی در اقلیم‌های نه گانه ایران.

شکل (۵) نتایج شرایط آسایش اقلیم‌های 9 گانه شهرهای منتخب را نشان می‌دهد. میانگین درصد آسایش در طول ماه‌های اکتبر تا آوریل در شهرهای منتخب در شکل (۵) نشان می‌دهد که به ترتیب اقلیم‌های Cfa و Bw کمترین و بیشترین درصد آسایش در طول سال را دارند.

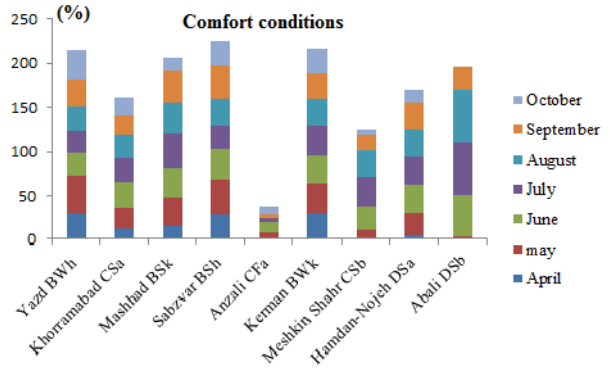

Fig. 5. Comfort conditions of selected cities in the nine climates of Iran.

شکل ۵. شرایط آسایش شهرهای منتخب در اقلیم‌های نه گانه ایران.

۳-۱- نتایج تهویه طبیعی

شکل (٦) نتایج تهویه طبیعی در ماه‌های اکتبر تا آوریل در اقلیم‌های نه‌گانه ایران را نشان می‌دهد. نتایج اقلیم CFa نشان می‌دهد که تهویه طبیعی در این اقلیم کاربردی ندارد و باید از سیستم فعال و مکانیکی پربازده استفاده شود. شرایط آسایش در این اقلیم در حدود 5 درصد می‌باشد. ایستگاه خرم‌آباد نماینده اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم SCa است که بخش زیادی از زاگرس، البرز و ناحیه خزری را در بر می‌گیرد. شهرهای ساری، ایلام، همدان، سنندج، کرمانشاه، اراک و ارومیه در این اقلیم قرار دارند و شکل (٦) نتایج آن را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در اقلیم SCa به طور عادی تهویه طبیعی و شرایط آسایش به ترتیب در حدود 5 درصد و حدود 15 تا 20 درصد ایام سال فراهم است و در این اقلیم می‌توانیم از سیستم سرمایش تبخیری به جز شهر ساری در بقیه شهرها تا حدودی استفاده شود. هرچند نیاز به تجهیزات رطوبت‌زنی انفرادی نیز در بعضی از شهرهای این اقلیم مشاهده شد.

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. ایستگاه یزد نماینده اقلیم بیابانی گرم BWh است. شهرهای زاهدان، قم، اصفهان، بندرعباس، اهواز، بندر لنگه، آبادان، کاشان و غیره در اقلیم BWh قرار دارند. نتایج شکل (٦) نشان می‌دهد که در این اقلیم شرایط آسایش در 20 درصد اوقات سال فراهم است. در این اقلیم تهویه طبیعی در حدود 5 درصد اوقات سال می‌تواند استفاده شود. همچنین سرمایش تبخیری مستقیم و غیرمستقیم در این اقلیم می‌تواند مورد استفاده قرار گیرند. اما شهرهای بندرعباس و بندر لنگه بدلیل شرجی بودن و رطوبت بالا استفاده از کولر آبی توصیه نمی‌شود و حتما باید از سیستم‌های سرمایش و رطوبت‌زنی همانند کولر گازی استفاده شود. ایستگاه مشهد معرف اقلیم نیمه بیابانی سرد BSk و ایستگاه کرمان از اقلیم بیابانی سرد BWk برخوردار هستند. در اقلیم نیمه بیابانی سرد BSk شرایط آسایش در حدود 20 درصد ایام سال برقرار می‌باشد. در اقلیم بیابانی سرد BWk تهویه طبیعی در حدود 5 درصد می‌باشد.

ایستگاه سبزوار معرف اقلیم نیمه بیابانی گرم BSh است. شکل (٦) نتایج شهرها در این اقلیم را نشان می‌دهد. با کمک استراتژی غیرفعال شرایط آسایش از 10 درصد تقریبا به 50 درصد می‌رسد. همچنین شهر بوشهر به دلیل شرجی بودن نیاز به سیستم سرمایش و رطوبت‌گیری دارد و از کولرابی استفاده نمی‌شود. همچنین شهرهای یاسوج و سبزوار زمستان‌های سردتری نسبت به بوشهر دارند و باید سیستم فعال گرمایش و رطوبت‌زنی استفاده شود.

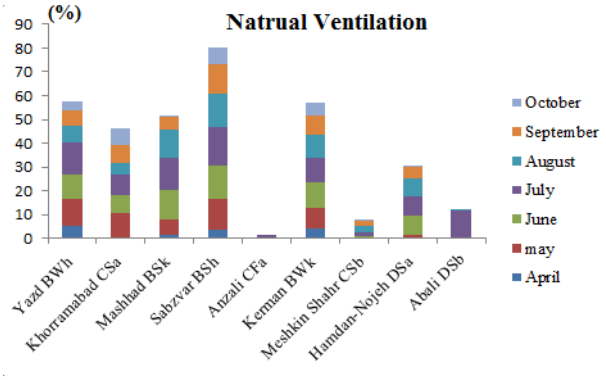

Fig. 6. Natural ventilation results of selected cities in the nine climates of Iran.

شکل ۶. نتایج تهویه طبیعی شهرهای منتخب در اقلیم‌های نه گانه ایران.

۳-۲- نتایج تهویه تطبیقی

شکل (۷) نتایج تهویه تطبیقی در شهرهای منتخب را نشان می‌دهد. نتایج مدل آسایش تطبیقی نشان داد بهترین عملکرد تهویه تطبیقی برای شهر انزلی اقلیم Cfa با 65.7 درصد (ماه جولای) و ضعیف‌ترین عملکرد تهویه برای شهر خرم‌آباد اقلیم Csa با 18.8 درصد (ماه جولای) مشاهده شده است. در طول ماه‌های زمستان (ژانویه و دسامبر) تهویه تقریبا برابر با صفر می‌باشد و از نمودار نتایج حذف شده است. شکل (۷) نتایج میانگین تهویه تطبیقی در یک سال در شهرهای مختلف را نشان می‌دهد.

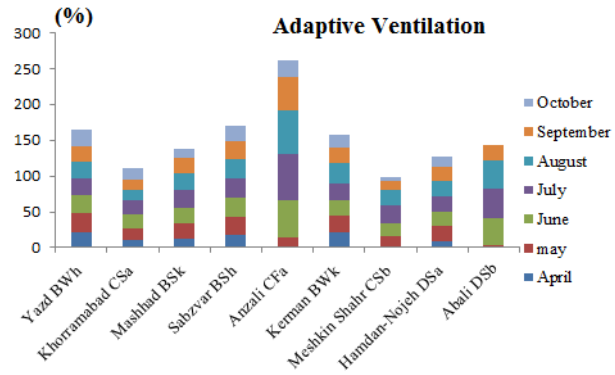

Fig. 7. Adaptive ventilation results of selected cities in the nine climates of Iran.

شکل ۷. نتایج تهویه تطبیقی شهرهای منتخب در اقلیم‌های نه گانه ایران.

۳-۳- اعتبارسنجی نتایج

داده‌های آب‌وهوایی مورد استفاده از پایگاه‌های معتبر بین‌المللی استخراج و صحت آن‌ها با منابع داخلی تأیید گردید. تحلیل‌ها با نرم‌افزار استاندارد Climate Consultant و مطابق با مدل‌های ASHRAE 55 و تهویه تطبیقی انجام شده است. برای اعتبارسنجی، نتایج با مطالعات معتبر همرده (همچون مرجع [۱۲] و [۲۱]) در اقلیم‌های مشابه مقایسه شد که همخوانی قابل قبولی را نشان می‌دهد.

همچنین مقایسه با مرجع [۷] که در جدول (۵) نشان داده شده، حاکی از انطباق مناسب در بیشتر شهرهاست. اختلاف مشاهده‌شده در جدول (۵) در برخی شهرها (نظیر تبریز و بندرعباس) عمدتاً ناشی از تفاوت روش‌شناسی (تحلیل داده‌های اقلیمی خام در مقابل شبیه‌سازی عددی ساختمان) و محدودیت دمایی ذاتی مدل تطبیقی (10 تا 33.5 درجه سلسیوس) است که در روش حاضر به‌طور کامل اعمال گردیده است. بنابراین، روش و نتایج این پژوهش از اعتبار علمی لازم برخوردارند.

برای شهر تبریز در ماه‌های زمستان به دلیل پایین بودن دمای بیرون استفاده از تهویه طبیعی مجاز نیست و باید از گرمایش استفاده کرد. اما در آخر ماه‌های بهار و ماه‌های تیر، مرداد و اواخر شهریور تهویه طبیعی می‌تواند آسایش حرارتی را با مدل تهویه تطبیقی برقرار کند و نشان‌دهنده پتانسیل خوب این شهر برای تهویه طبیعی را نشان می‌دهد. همچنین در شهر بندرعباس در ماه‌های تیر و مرداد دمای محیط بالاتر از 33.5 درجه می‌باشد و تهویه طبیعی پاسخگو نیست و از تهویه مطبوع باید استفاده شود.

جدول ۵. اعتبارسنجی نتایج.

Table 5. Validation of results.

City (Climate)	Present Work (%)	Reference Work [7] (%)
Yazd (BWh)	27	37
Isfahan (Bwh)	25	56
Tabriz (BSk)	30.5	69
Shiraz (BSh)	24.7	45
Bandar Abbas (Bwh)	35	12
Tehran (BSk)	34	40

۴ - نتیجه گیری

در این پژوهش امکان‌سنجی پتانسیل کنترل دمای داخل و تهویه تطبیقی در ساختمان‌های مسکونی برای اقلیم‌های شهرهای ایران بررسی شده است. برای 9 اقلیم از 31 اقلیم شناسایی شده توسط کوپن - گایگر برای کشور ایران را که شامل اقلیم‌های، BWh، BSk، BSh، BWk و CSa، CSb، CFa، DSa، DSb می‌باشد، شرایط آسایش حرارتی و تهویه طبیعی و تطبیقی مورد مطالعه قرار گرفت. با وارد کردن داده‌های آب و هوایی با فرمت EPW در نرم‌افزار کلایمنت کانسالتنت و استفاده از استاندارد اشری 55 و مدل PMV و مدل تهویه تطبیقی در نرم‌افزار مشاوره آب و هوایی استفاده شد. نتایج خروجی شهرها شامل آسایش حرارتی، تهویه طبیعی و تطبیقی با شکل‌ها و جداول مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مهمترین نتایج نه‌اقلیم عبارتند از:

- در اقلیم بیابانی و گرم BWh که ایستگاه یزد به عنوان معرف و نماینده در نظر گرفته شده است. ویژگی این نوع اقلیم نشان می‌دهد که مقدار بارش ماه‌های مختلف سال بسیار ناچیز و این ایستگاه دارای یک فصل طولانی خشک است که با دمای بسیار بالای هوا در تمام ماه‌های سال همراه است. نتایج در این اقلیم نشان داد که در 20 درصد اوقات سال یعنی 1827 ساعت از 8760 ساعت سال با استراتژی‌های غیرفعال در شرایط آسایش قرار دارد. همچنین با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 425 و 1357 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.
- ایستگاه خرم‌آباد معرف اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم CSa است که بخش زیادی از زاگرس، البرز و ناحیه خزری را در بر می‌گیرد. این اقلیم اگرچه از یک دوره خشک تابستانه برخوردار است ولی در اغلب ماه‌های سال بارش تقریبا خوبی دریافت می‌کند و تابستان‌های آن نیز خنک است. نتایج در این اقلیم نشان داد که در 14 درصد اوقات سال یعنی 1198 ساعت از سال در شرایط آسایش قرار دارد. همچنین با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 341 و 1132 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.
- نتایج اقلیم نیمه بیابانی سرد BSk ایستگاه مشهد نشان داد که در این اقلیم 20.7 درصد اوقات سال یعنی 1814 ساعت در شرایط آسایش قرار دارد. با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 377 و 1033 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.
- نتایج اقلیم نیمه بیابانی گرم BSh ایستگاه سبزوار نشان داد که 20 درصد اوقات سال یعنی 1756 ساعت در شرایط آسایش قرار می‌گیرد. با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 590 و 1366 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.
- ایستگاه انزلی معرف اقلیم معتدل پرباران با تابستان‌های گرم و بدون فصل خشک CFa است. نتایج ایستگاه رشت و اقلیم CFa که فقط در نوار ساحلی دریای خزر دیده می‌شود نشان داد که در 5.6 درصد اوقات سال یعنی 489 ساعت در شرایط آسایش قرار دارد با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 11 و 1960 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.
- در اقلیم بیابانی سرد BWk ایستگاه کرمان در 19.9 درصد اوقات سال یعنی 1741 ساعت در شرایط آسایش قرار می‌گیرد. با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 435 و 1307 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.
- اقلیم معتدل با تابستان‌های خشک و گرم CSb ایستگاه اردبیل نشان داد که 10 درصد اوقات سال در شرایط آسایش قرار می‌گیرد و با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 225 و 727 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.
- ایستگاه همدان – نوژه معرف اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم DSa است که در زمستان بسیار سرد است ولی تابستان‌های بسیار گرمی دارد. نتایج نشان داد که در 14 درصد اوقات سال یعنی 1263 ساعت در شرایط آسایش قرار می‌گیرد و با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 425 و 935 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.
- نتایج اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم DSb ایستگاه آبعلی که در مقایسه با اقلیم DSa تابستان‌های خنک‌تری دارد و از بارش بیشتری نیز برخوردار است نشان می‌دهد که در 16.5 درصد یا 1446 ساعت در شرایط آسایش قرار می‌گیرد و با استفاده از تهویه طبیعی و یا تهویه تطبیقی به ترتیب 118 و 1050 ساعت به شرایط آسایش اضافه می‌شود.

همچنین برای تحقیقات آینده تحلیل دیگر مدل‌های آسایش حرارتی و مقایسه با مدل استاندارد اشری 55 و مدل تهویه تطبیقی در یک پژوهش جدید پیشنهاد می‌شود.

۵ - فهرست علائم

p فشار (Pa) یا $(\mathrm{kgm^{-1}s^{-2}})$

T دما (K)

حروف یونانی

ρ چگالی $(\mathrm{kgm^{-3}})$

بالانویس‌ها

$*$ کمیات بی بعد

زیرنویس‌ها

$Comf$ آسایش

a, out محیط بیرون

۶ - مراجع

[1] L. López-Pérez, J. Flores-Prieto, C. Ríos-Rojas, "*Adaptive thermal comfort model for educational buildings in a hot-humid climate*", Building and Environment, Vol. 1, No. 150, pp. 181- 194, 2019.

[2] F. Nicol, M. Humphreys, S. Roaf, "*Adaptive thermal comfort: principles and practice*", Routledge, Mar 15, 2012.

[3] Z. Tan, X. Deng, *"Assessment of natural ventilation potential for residential buildings across different climate zones in Australia"*, Atmosphere, Vol. 8, No. 9, pp. 161-177, 2017.

[4] A. Rodrigues, M. Santos, M. Gomes, R. Duarte, *"Impact of natural ventilation on the thermal and energy performance of buildings in a Mediterranean climate"*, Buildings, Vol. 9, No. 5, pp. 111-123, 2019.

[5] E. Delgado-Gutierrez, J. Canivell, D. Bienvenido-Huertas, FM. Hidalgo-Sánchez, *"Adaptive Comfort Potential in Different Climate Zones of Ecuador Considering Global Warming"*, Energies, Vol. 17, No. 9, 2024.

climates of Iran", Science and Technology in Mechanical Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 126-137, 2024. [in Persian]

[22] A. Omidvar, M. Sharifi, *"Optimizing of thermal insulation thickness in exterior building walls based on adaptive indoor thermostat setpoint strategies in various climatic zones of Iran",* Applied Thermal Engineering, Vol. 267, 125830, 2025.

[6] N. Khiavi, A. Minaei, M. Rouhi, *"Evaluation of Natural Ventilation Performance in Providing Local Thermal Comfort and Indoor Air Quality in an Office Room",* Iranica Journal of Energy & Environment, Vol. 16, No. 3, pp. 413-425, 2025.

[7] A. Minaei, N. Khiavi, *"Thermal comfort evaluation for naturally ventilated building applying an adaptive model in different cities of Iran",* Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, Vol. 54, No. 11, pp. 537-540, 2025 [in Persian فارسی].

[8] D. Sánchez-García, D. Bienvenido-Huertas, J. Martínez-Crespo, R. Dear, *"Using setpoint temperatures based on adaptive thermal comfort models: The case of an Australian model considering climate change",* Building and Environment, Vol. 15, No. 258, pp. 111647, 2024.

[9] R. Rawal, Y. Shukla, V. Vardhan, S. Asrani, M. Schweiker, R. de Dear, V. Garg, J. Mathur, S. Prakash, S. Diddi, SV. Ranjan, *"Adaptive thermal comfort model based on field studies in five climate zones across India",* Building and Environment, Vol. 219, 109187, 2022.

[10] Z. Wu, N. Li, P. Wargocki, J. Peng, J. Li, H. Cui, *"Adaptive thermal comfort in naturally ventilated dormitory buildings in Changsha, China",* Energy and Buildings, Vol. 1, No. 186, pp. 56-70, 2019.

[11] M. Khoshbakht, F. Zhang, ZS. Zomorodian, Z. Gou, *"Thermal sensitivity and adaptive comfort in mixed-mode office buildings in humid subtropical climate",* Building Research & Information, Vol. 17, No. 52, pp. 693-707, 2024.

[12] E. Saligheh, A. Maleki, Y. Shahbazi, A. Ghaffari, *"Multi-objective optimization of visual and thermal comfort in classrooms as a function of room dimensions and proportions (case study: secondary high schools in Tabriz city) ",* Journal of Renewable and New Energy, Vol. 11, No. 2, pp. 90-9, 2024.

[13] O. Rahaei, S. Abi, A. Shams, T. Zandi, *"Improvement of Natural Ventilation in Corridor Spaces of Ahvaz Office Buildings through Intervention in Architecture",* Journal of Renewable and New Energy, Vol. 11, No. 2, pp. 47-56, 2024.

[14] MA. Sargazi, M. Tahbaz, A. Haj Ebrahim Zargar, *"Adaptive behaviors and summer thermal comfort in the indoor environments of the vernacular architecture of Sistan region, Iran",* Journal of Architecture in Hot and Dry Climate, Vol. 8, No. 12, pp. 169-96, 2021.

[15] D. Bienvenido-Huertas, D. Sánchez-García, B. Tejedor, C. Rubio-Bellido , *"Energy savings in buildings applying ASHRAE 55 and regional adaptive thermal comfort models",* Urban Climate, Vol. 55, 101892, 2024.

[16] S. Thapa, AK. Bansal, GK. Panda, M. Indraganti, *"Adaptive thermal comfort in the different buildings of Darjeeling Hills in eastern India–Effect of difference in elevation",* Energy and Buildings, Vol. 173, pp. 649-77, 2018.

[17] SH. Safavi, SR. Eghbali, *"Investigation of Phase Change Materials Selection in Passive Cooling to Improve Natural Ventilation and Thermal Comfort",* Journal of Renewable and New Energy, Vol. 8, No. 2, pp. 1-10, 2021.

[18] AG. Kheybari, M. Gutai, B. Mok, G. Cavana, *"Thermal comfort of standard and advanced glazed building envelopes",* Energy and Buildings, Vol. 329, 115211, 2025.

[19] T. Williamson, L. Daniel, *"A new adaptive thermal comfort model for homes in temperate climates of Australia",* Energy and Buildings, Vol. 210, 109728, 2020.

[20] T. Raziei, *"Koppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century",* [in Persian فارسی].

[21] V. Rezaee, M. Masoumnezhad, A. Tahvili, *"Feasibility of natural ventilation potential of residential buildings for different*