



آنالیز و بررسی آسایش حرارتی در ساختمان‌های مسکونی برای اقلیم‌های مختلف ایران با مدل آسایش تطبیقی اشری 55 وحید رضائی *

گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران
* Vrezaee@tvu.ac.ir, 1435763811، تهران، *

چکیده

در این پژوهش، عملکرد تهویه طبیعی در تامین شرایط آسایش حرارتی جهت طراحی روش‌های غیرفعال در ساختمان‌های مسکونی برای شرایط مختلف اقلیمی ایران بررسی شده است. محدوده اقلیم ایران براساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن - گایگر، به 9 اقلیم تقسیم می‌شوند. با روش اقلیم‌شناسی کوپن - گایگر و انتخاب چند شهر منتخب در این اقلیم‌ها با استفاده از نرم‌افزار مشاور اقلیمی و مدل آسایش حرارتی تطبیقی استاندارد اشری 55 تاثیر شرایط اقلیمی روی طراحی ساختمان مسکونی پیشنهاد شد. این مدل برای آسایش حرارتی در ساختمان‌های خنک شونده با تهویه طبیعی و فاقد تجهیزات تهویه مطبوع پیشنهاد شده است. با وارد کردن فایل پارامترهای آب و هوایی شهرهای منتخب در نرم‌افزار مشاور اقلیمی نتایج خروجی شامل چارت سایکرومتریک و استراتژی‌های مختلف معماری برای بهره‌برداری بیشتر از تهویه تطبیقی مطابق با اقلیم‌های مختلف بدست آمد. بهترین عملکرد آسایش تهویه تطبیقی برای شهر زاهدان با 17.4 درصد (1524 ساعت در سال) و ضعیف‌ترین عملکرد برای شهر یاسوج با 9.2 درصد (804 ساعت) مشاهده شده است. همچنین جهت استفاده از تهویه طبیعی راه‌کارهایی برای استفاده از سایبان و جهت پنجره، روشهای ایجاد تهویه دودکشی و تهویه متقاطع، سقف، ایوان و حیاط سرپوشیده برای آسایش غیرفعال پیشنهاد شد.

کلیدواژگان: تهویه طبیعی، چارت سایکرومتریک، اقلیم‌شناسی، مدل آسایش تطبیقی، نرم‌افزار مشاور اقلیمی

Analysis of thermal comfort in residential buildings for different climates in Iran using the ASHRAE 55 adaptive comfort model

Vahid Rezaee

Department of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

* P.O.B. 1435763811 Tehran, Iran, vrezaee@tvu.ac.ir

Received: 24 January 2025 Accepted: 25 June 2025

Abstract

In this research, the performance of natural ventilation in providing thermal comfort conditions for designing passive methods in residential buildings for different climatic conditions in Iran has been investigated. Iran climate is divided into nine climates based on the Köppen-Geiger climate classification. By utilizing the Köppen-Geiger method and selecting a few selected cities in these climates, the effect of climatic conditions on residential building design was proposed using climate consultant software and the ASHRAE Standard 55 adaptive thermal comfort model. This model is recommended for thermal comfort in buildings cooled by natural ventilation and without air conditioning equipment. By importing the weather parameters file of the selected cities into the climate consultant software, the output results, including a psychrometric chart and various architectural strategies for further exploitation of adaptive ventilation according to different climates, were obtained. The best adaptive ventilation comfort performance was observed for Zahedan city with 17.4% (1524 hours per year) and the weakest performance was observed for Yasuj city with 9.2% (804 hours). Moreover, to use natural ventilation, solutions were suggested for using awnings and window orientation, methods for creating chimney ventilation and cross ventilation, roof, veranda, and covered courtyard for passive comfort.

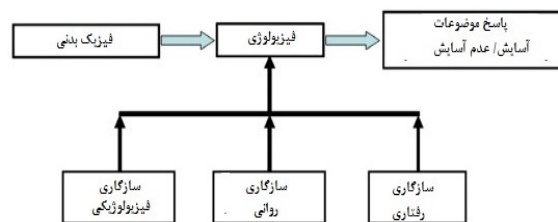
Keywords: natural ventilation, psychrometric, climate, adaptive thermal comfort model, climate consultant software.

1- مقدمه

و ضعیف‌ترین عملکرد برای شهر بندعباس اقلیم گرم و مرطوب مشاهده شده است.

خداخشیان و سعیدنیا [4] مطالعه تطبیقی الگوهای معماری در فضاهای باز دارای حیاط برای شهر یزد و بوشهر دو اقلیم گرم خشک و گرم مرطوب را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که سطح زیادی از خانه در یزد در مقایسه با بوشهر به حیاط اختصاص دارد و این موضوع نشانگر اهمیت حیاط به عنوان یک عنصر ویژه در اقلیم گرم و خشک است. پورموسی و همکاران [5] ارزیابی تطبیقی رفتار حرارتی و تهویه بناهای مسکونی در اقلیم معتدل و مرطوب ایران (خانه کلبادی و خانه آقاجان نسب) را با نرم افزار اکوتکت و دیزاین بیلدر را انجام دادند. نتایج نشان داد که این دو خانه بیشترین زمان را در دمای 22 درجه سبیری می‌کنند و در مجموع در 40 تا 44 درصد در آسایش قرار داشتند. راجان راول و همکاران [6] مدل آسایش حرارتی تطبیقی را بر اساس بررسی‌های میدانی یک ساله در هشت شهر واقع در پنج منطقه آب و هوایی هند برای راحتی تطبیقی - مسکونی را پیشنهاد می‌کند. ایولین دلگادو-گوئیروز و همکاران [7] پتانسیل آسایش تطبیقی در مناطق مختلف آب و هوایی اکوادور با توجه به گرمایش جهانی را انجام دادند. ژیبین وو و همکاران [8] 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 [9] 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 [10] با استفاده از نرم افزار راینو - گراس هاپر 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 اهمیت بیشتری دارد. رهایی و همکاران [11] عملکرد تهویه طبیعی ساختمانهای اداری در آب و هوای گرم و مرطوب شهر اهواز را بررسی کردند. با کمک نرم افزار فلونت نتایج نشان داد که استفاده از دمنده سقفی و تغییر در شکل و ابعاد راهرو تهویه موثرتری را برقرار می‌کند. صادقی و همکاران [12] عملکرد بادگیرها در ایجاد تهویه طبیعی در اقلیم گرم و خشک را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بهره‌گیری از بادگیر منجر به کاهش 9 درجه دما در اقلیم گرم و خشک می‌شود. همچنین حیاط مرکزی می‌تواند شرایط آسایش حرارتی در فضای باز ساختمان را مهیا سازد. سرگزی و همکاران [13] 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 [14] 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 داد، اما استراتژی تطبیقی بیشترین کاربرد را در ماه‌های گرم‌تر داشت. سمر

آسایش حرارتی یکی از جنبه‌های اساسی کیفیت هوای محیط داخلی است و به شدت با رضایت ساکنان و مصرف انرژی در ساختمان‌ها مرتبط است. حفظ آسایش حرارتی برای ساکنان ساختمان، هدف اصلی مهندسين طراح، معماران و اپراتورهای ساختمان (گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع) است [1]. سه استاندارد مربوطه در رابطه با آسایش حرارتی عبارتند از استاندارد بین المللی ایزو 7733 (2005) [2]، استاندارد اروپایی ای ان 15251 (سی ای ان 2007) [3] و استاندارد اشری 55 (2010) [4]. 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 [1]. طبق استاندارد اشری 55، مدل آسایش تطبیقی [5] را می‌توان در ساختمان‌هایی با شرایط طبیعی، بدون سیستم خنک کننده مکانیکی نصب شده و بدون سیستم گرمایشی در حال کار استفاده کرد. شکل 1 مدل آسایش حرارتی تطبیقی را نشان می‌دهد. فرصت‌های تطبیقی نیز بر اساس ساختار اجتماعی، فرهنگی و سنتی کنترل می‌شوند. فرصت‌های تطبیقی به طور کلی به سه حالت طبقه‌بندی می‌شوند: (الف) سازگاری رفتاری (شخصی، محیطی، فناوری و فرهنگی)، (ب) سازگاری فیزیولوژیکی (انطباق عمومی یا سازگاری) و (ج) سازگاری روان‌شناختی (عادت یا انتظار و ترجیحات) [2].

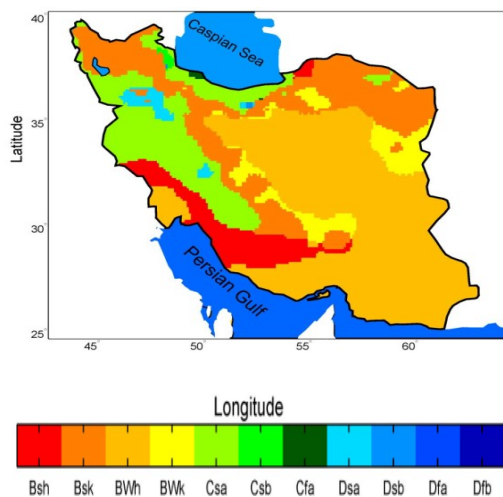


شکل 1 مدل آسایش حرارتی تطبیقی [2]

این استاندارد مشخص می‌کند که میانگین دمای غالب در فضای باز باید بیشتر از 10 درجه سلسیوس و کمتر از 33.5 درجه سلسیوس باشد، و ساکنین باید در فعالیت‌های تقریباً بی‌تحرك (میت بین 1.0 و 1.3) شرکت کنند و این آزادی را داشته باشند که سطح لباس‌های خود را حداقل در محدوده 0.5 تا 1.0 کلو^۲ (واحد عایق لباس) تطبیق دهند. مدل آسایش تطبیقی بر اساس کار آقایان دیر و براگر است که نشان می‌دهد ساکنان ساختمان‌های دارای تهویه طبیعی طیف وسیع‌تری از دماها را ترجیح می‌دهند که نوسانات آب و هوای بیرون را منعکس می‌کند. این سازگاری به دو دلیل سازگاری‌های رفتاری و فیزیولوژیکی است. در زمینه تهویه طبیعی و مدل‌های آسایش تحقیقات بسیار زیادی انجام شده است. در حوزه آسایش حرارتی تطبیقی، مینایی و معلمی [3] آسایش حرارتی برای یک ساختمان برای تهویه طبیعی برای شش شهر ایران را انجام دادند. روش انجام تحقیق به صورت عددی و با نرم‌افزار انرژی پلاس انجام شد. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد برای شهر تبریز اقلیم سرد

4. ASHRAE 55 (2010)
5. Adaptive Comfort
6. CLO - m²-K/W

1. Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC)
2. ISO 7730 (2005)
3. EN 15251 (CEN 2007)



شکل 2 طبقه‌بندی اقلیم کوپن - گایگر در ایران [24]

2- روش‌شناسی

روش تحقیق در این مقاله شبیه‌سازی، مطالعه موردی و تحلیلی در نظر گرفته شده است. نحوه کار بدین صورت می‌باشد که در هر منطقه فایل های آب و هوایی با فرمت EPW¹⁰ داده شده است که این فرمتها را میتوان در سایت‌هایی همانند انرژی پلاس برای شرایط آب و هوایی شهرهای ایران و دیگر نقاط جهان استخراج کرد. با وارد کردن فایل های آب و هوایی شهرهای منتخب در نرم‌افزار مشاور اقلیمی نمودارهای اقلیمی رسم و تحلیل آن با استفاده از نرم‌افزار انجام می‌شود. 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. این مدل فرض می‌کند که ساکنین لباس‌های خود را با شرایط حرارتی تطبیق می‌دهند و بی‌حرکت هستند (1.0 تا 1.3 مت). همچنین نباید سیستم خنک کننده مکانیکی وجود داشته باشد، اما اگر سیستم گرمایش مکانیکی در حال کار باشد، این روش اعمال نمی‌شود. جدول 1 و 2 ویژگی‌های شهرهای منتخب در اقلیم‌های مختلف را برای انجام آنالیز را نشان می‌دهد. در شکل 3 فلوجارت 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.

تا پنا و همکاران [15] 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 کرد.

صفوی و اقبالی [16] برای بهبود تهویه طبیعی و آسایش حرارتی در اقلیم گرم و خشک موارد تغییر فازدهنده را مورد بررسی و انتخاب قرار دادند. راه‌حق و همکاران [17]، میرالهی و همکاران [18]، کسمایی و ورمقانی [19]، انتظاری و همکاران [20]، شیاوون و همکاران [21]، ژانگ و همکاران [22]، رضائی و همکاران [23]، با نرم‌افزار مشاور اقلیمی شرایط آسایش و تهویه طبیعی برای اقلیم‌ها و شهرهای مختلف را مورد بررسی قرار دادند. بیشتر تحقیقات انجام شده در ایران نهایت یک اقلیم یا دو اقلیم در نظر گرفته شده است. در مطالعه حاضر نیز، از مدل آسایش حرارتی تطبیقی نرم‌افزار مشاور اقلیمی استفاده شد. شرایط تهویه طبیعی 4 شهر در 4 اقلیم بزرگ ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تهویه طبیعی در شهرهای مختلف با جداول و نمودارهای مختلف نشان داده شده است. همچنین استراتژی‌های و راهکارهای مختلف روش‌های غیرفعال در معماری ساختمان‌های مسکونی ارائه شد.

1-2- شرایط اقلیمی ایران بر حسب 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. 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 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 [24]. بررسی‌های اخیر انجام شده بین سال‌های 1990 و 2014 نشان می‌دهد که از 31 گروه اقلیمی شناسایی شده توسط کوپن - گایگر، ایران 9 گروه از آنها را در بر می‌گیرد (رجوع کنید به شکل 2). بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن - گایگر، اقلیم‌های بیابانی خشک و بسیار گرم¹ (BWh)، نیمه بیابانی خشک و سرد² (BSK)، نیمه بیابانی خشک و بسیار گرم³ (BSh) و معتدل با تابستان‌های خشک و بسیار گرم⁴ (CSa) 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 سرد⁵ (BWk)، معتدل با تابستان‌های خشک و گرم⁶ (CSb)، اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و بسیار گرم⁷ (DSa)، اقلیم برفی با تابستان‌های خشک و گرم⁸ (DSb) و معتدل پرباران با تابستان‌های گرم⁹ (CFa) بخش بسیار کوچکی از مساحت کشور را تشکیل می‌دهند [24] (شکل 2).

6. Warm-summer Mediterranean climate
7. Mediterranean-influenced hot-summer humid continental climate
8. Mediterranean-influenced warm-summer humid continental climate
9. Humid subtropical climate
10. Energy Plus weather

1. Hot desert climate
2. Cold semi-arid climate
3. Hot semi-arid climate
4. Hot-summer Mediterranean climate
5. Cold desert climate

2-1- مدل آسایش تطبیقی

مدل آسایش حرارتی میانگین پیش‌بینی آرا 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 خنک شونده با تهویه طبیعی با استفاده از مطالعات میدانی یک رابطه تجربی برای دمای آسایش فضای داخل ارائه 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 ۱ تا 1.5 میت^۱ است. بر حسب شرایط داخل و محیط بیرون، ساکنین ساختمان آزادند تا پوشش خود را در محدوده 0.5 تا 1 کلو تغییر دهند.

میانگین دمای محیط بیرون باید در هر ماه بیشتر از 10 درجه سلسیوس و کمتر از ۲۳.5 درجه سلسیوس باشد. در صورتی که دما خارج از این محدوده باشد نمی‌توان از این مدل استفاده کرد. به علاوه در چنین شرایطی استفاده از تهویه طبیعی برای ساختمان توصیه نمی‌گردد. در مدل آسایش حرارتی تطبیقی، دمای بهینه محیط داخل (T_{comf}) برای برقراری رضایت حرارتی تمامی ساکنان با استفاده از برازش بر روی داده‌های تجربی به صورت رابطه ۱ بیان شده است.

$$T_{comf} = 0.31T_{a,out} + 17.8 \quad (1)$$

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

3- نتایج

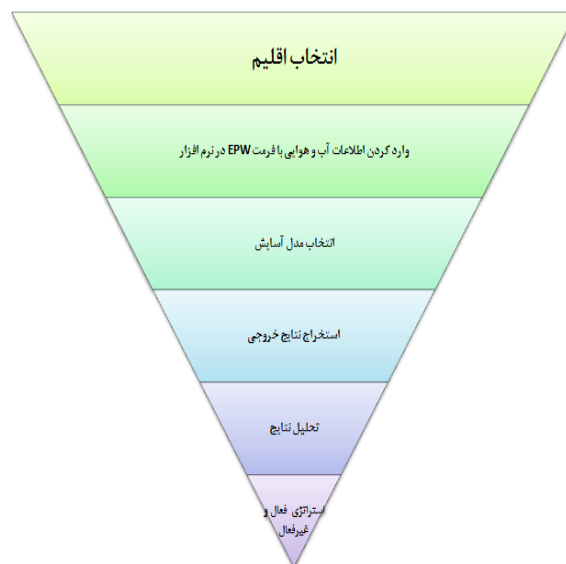
هدف از این تحقیق بررسی پتانسیل تهویه طبیعی با استفاده از مدل آسایش تطبیقی استاندارد اشری در چهار شهر برای چهار اقلیم بزرگ ایران است. شهر زاهدان نماینده اقلیم Bwh، شهر تبریز اقلیم BSk، شهر یاسوج اقلیم BSh، و شهر خرم‌آباد برای اقلیم CSa در این تحلیل در نظر گرفته شده است. مدل آسایش تطبیقی در استاندارد اشری 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 میت). این مدل زمانی که سیستم گرمایشی ساختمان در حال کار می‌باشد و یا در صورت استفاده سیستم تهویه مطبوع کاربرد ندارد. برای بررسی پتانسیل تهویه طبیعی چهار شهر در اقلیم‌های

جدول 1 ویژگی‌های جغرافیایی شهرهای منتخب در اقلیم کوپن - گایگر

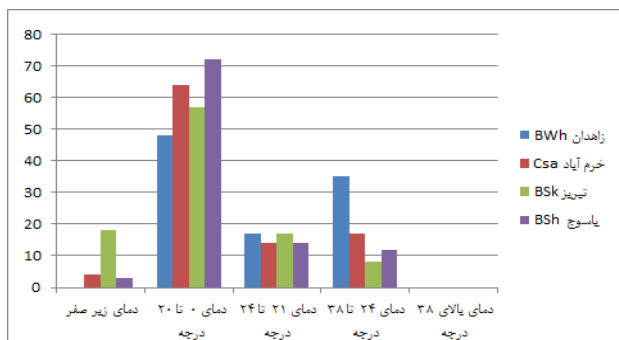
شهر (اقلیم)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
زاهدان (Bwh)	60.88	29.46	1370
خرم‌آباد (CSa)	48.23	33.43	1184
تبریز (BSk)	46.17	38.05	1361
یاسوج (BSh)	51.55	30.69	1837

جدول 2 ویژگی‌های دمایی شهرهای منتخب در اقلیم کوپن - گایگر

شهر (اقلیم)	میانگین دمای خشک	میانگین دمای رطوبت	میانگین دمای خشک زمستانی °C	میانگین دمای رطوبت زمستانی %
زاهدان (Bwh)	12.5	۳۴	2۷	19
خرم‌آباد (CSa)	6.5	65.5	22.5	۳۱.6
تبریز (BSk)	۳.8	66.1	24	41
یاسوج (BSh)	4.4	62	20.5	۳۱



شکل 3 فلوچارت مراحل انجام تحقیق



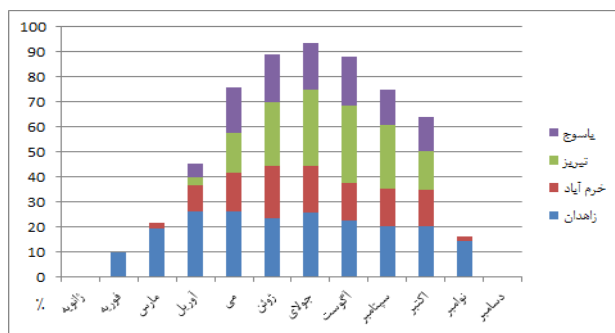
شکل 5 نمودار دما اقلیم‌های ایران

جدول 3 میانگین نتایج تهویه تطبیقی شهرهای مختلف در 12 ماه

شهر (اقلیم)	درصد تهویه در سال	ساعت تهویه در سال
یزد (Bwh)	15.5	1357 ساعت
آبادان (Bwh)	14.2	1248 ساعت
آستارا (sfa)	11.8	1030 ساعت
رشت (sfa)	18.9	1658 ساعت
رامسر (sfa)	22.2	1943 ساعت
انزلی (sfa)	22.4	1960 ساعت
اردبیل (scb)	8.3	727 ساعت
آبعلی (dsb)	12	1050 ساعت
مشهد (BSk)	11.8	1033 ساعت
ساری (sca)	17.9	1565 ساعت
سبزوار (BSh)	15.6	1366 ساعت
همدان - نوزه (dsa)	10.7	935 ساعت
تبریز (BSk)	14.6	1277 ساعت
یاسوج (BSh)	9.2	804 ساعت
خرم‌آباد (sca)	12.9	1132 ساعت
سنندج (sca)	11.2	977 ساعت
کرمان (Bwk)	14.9	1307 ساعت
کرمانشاه (sca)	11.6	1014 ساعت
تهران (Bwh)	18.6	1626 ساعت
زاهدان (Bwh)	17.4	1524 ساعت
ارومیه (sca)	12.4	1090 ساعت
همدان (sca)	10.3	904 ساعت
زنجان (BSh)	11.6	1019 ساعت
اهواز (Bwh)	13.6	1190 ساعت
بندرعباس (Bwh)	25.1	2198 ساعت
اصفهان (Bwh)	16.1	1414 ساعت
شیراز (BSh)	14.6	1218 ساعت
شهرکرد (dsa)	10.3	901 ساعت
بوشهر (Bwh)	25	2189 ساعت
بیرجند (BSk)	14.4	1264 ساعت
بجنورد (BSk)	16.2	1417 ساعت

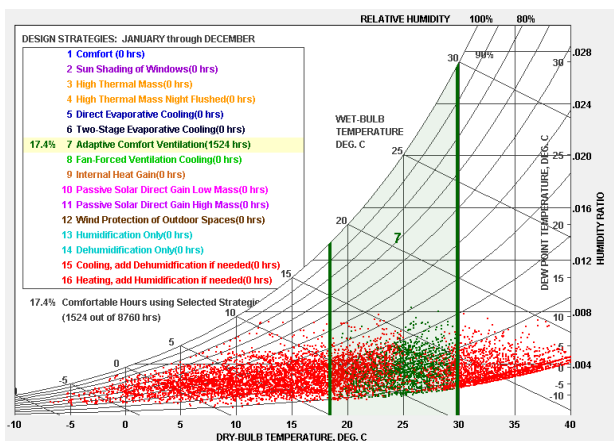
مختلف انتخاب شده است. بعد از وارد کردن داده‌های آب و هوایی با فرمت EPW در نرم‌افزار مشاور اقلیمی نتایج خروجی به صورت شکل‌های 2 تا 5 بدست آمده است.

شکل‌های ۲ تا ۵ نتایج چارت سایکرومتریک در شهرهای منتخب را نشان می‌دهد. این نمودار یکی از قدرتمندترین ابزارهای طراحی در نرم‌افزار مشاور اقلیمی است. نتایج مدل آسایش تطبیقی نشان داد بهترین عملکرد تهویه برای شهر زاهدان اقلیم BWh با 17.4 درصد (1524 ساعت در سال) و ضعیف‌ترین عملکرد تهویه برای شهر یاسوج اقلیم BSh با 9.2 درصد (804 ساعت) مشاهده شده است. همچنین شهرهای خرم‌آباد اقلیم Csa با 9.6 درصد (840 ساعت در سال) و تبریز اقلیم BSk با 12 درصد (1077 ساعت در سال) می‌تواند تهویه تطبیقی را فراهم کند. شکل 4 نتایج تهویه تطبیقی در چهار شهر زاهدان، خرم‌آباد، تبریز و یاسوج در 12 ماه را نشان می‌دهد. بهترین عملکرد تهویه تطبیقی برای شهر تبریز اقلیم BSk در ماه اگوست (مرداد) برابر با 30.5 درصد در 30 روز بدست آمده است. برای شهرهای زاهدان و خرم‌آباد بهترین عملکرد در ماه جولای (تیر) به ترتیب برابر با 25.8 درصد، و 18.8 درصد، و برای شهر یاسوج در ماه اگوست برابر با 20 درصد بدست آمده است. در طول ماه‌های زمستان (ژانویه و دسامبر) تهویه تقریباً برابر با صفر می‌باشد. همچنین نتایج بقیه ماه‌های سال برای شهرهای منتخب در شکل 4 نشان داده شده است. جدول 3 نتایج میانگین تهویه تطبیقی در یک سال در شهرهای مختلف را نشان می‌دهد.

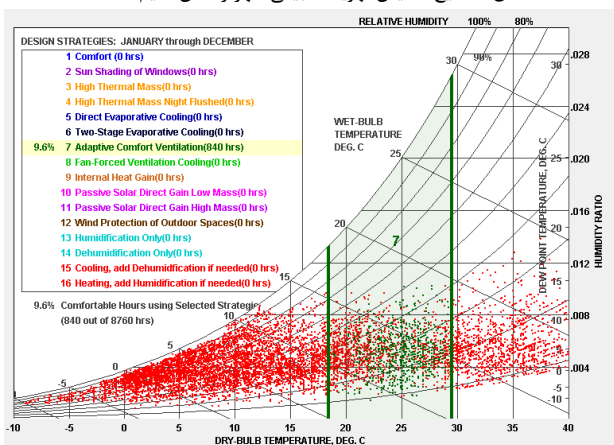


شکل 4 نتایج تهویه تطبیقی در 12 ماه در شهرهای منتخب

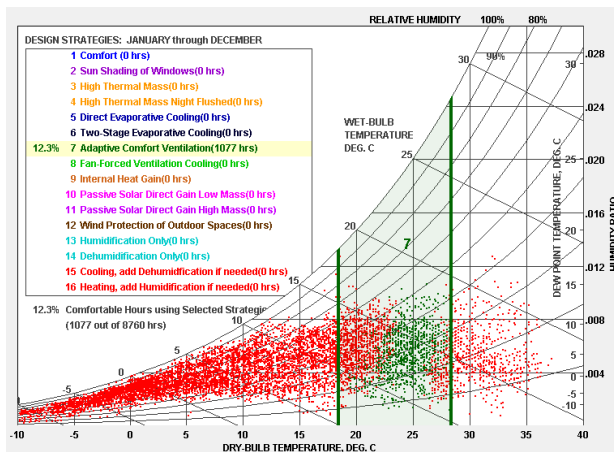
پارامترهای میانگین دمای خشک زمستانی و تابستانی و میانگین رطوبت نسبی زمستان و تابستان این شهرها در جدول 2 نشان داده شده است. بررسی شکل 6 نمودار دما اقلیم‌های ایران نشان می‌دهد که در حدود 60 درصد اوقات سال دما بین 0 تا 21 درجه سلیسیوس قرار می‌گیرد و نیاز به راهکارهای غیرفعال و فعال برای گرمایش دارد. در این اقلیم‌ها حدود 20 درصد اوقات سال دما بین 21 تا 27 درجه سلیسیوس و تقریباً بین 10 تا 15 درصد اوقات سال دما بین 27 تا 38 درجه سلیسیوس و تقریباً 5 درصد اوقات سال دما بالاتر از 38 درجه سلیسیوس می‌باشد.



شکل 7 نتایج آسایش تهویه تطبیقی شهر زاهدان اقلیم BWh

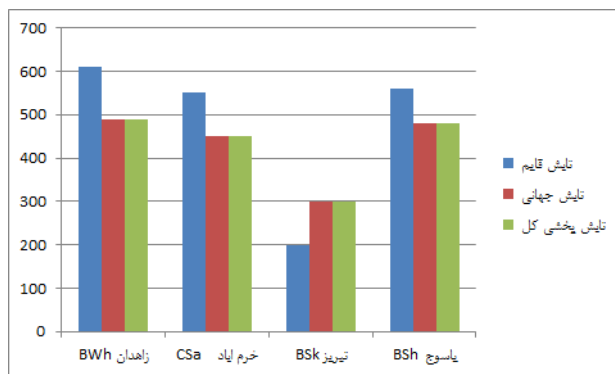


شکل 8 نتایج آسایش تهویه تطبیقی شهر خرم‌آباد اقلیم Csa



شکل 9 نتایج آسایش تهویه تطبیقی شهر تبریز اقلیم Bsk

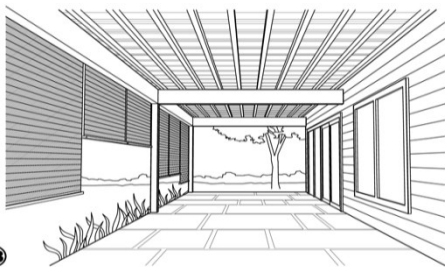
تابش آفتاب از دو جهت در طراحی اقلیم مهم است. میزان دریافت انرژی خورشیدی و استفاده از نور طبیعی روز برای روشنایی فضاهاست. این دو عامل به شاخص‌هایی نظیر میزان ابری یا صاف بودن آسمان بستگی دارد. شکل 5 میزان دریافت تابش خورشیدی اقلیم‌های نه‌گانه ایران را در سال نشان می‌دهد. میله‌های به رنگ آبی، قرمز و سبز 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.



شکل 6 میزان دریافت تابش خورشیدی اقلیم‌های ایران

شکل‌های 7 تا 10 نمودار سایکرومتریک (چارت سایکرومتریک یا نمودار رطوبت‌سنجی) شهرهای منتخب در اقلیم‌های ایران را نشان می‌دهد. این نمودار یکی از قدرتمندترین ابزارهای طراحی در نرم‌افزار مشاور اقلیمی است. دمای حباب خشک را در قسمت پایین و میزان رطوبت هوا را در سمت بالا نشان می‌دهد. این مقیاس عمودی رطوبت مطلق نیز نامیده می‌شود و می‌تواند به عنوان نسبت رطوبت بر حسب پوند آب در هر پوند هوای خشک (یا گرم آب به ازای هر کیلوگرم هوای خشک) یا به عنوان فشار بخار نشان داده شود. خط منحنی در سمت چپ، خط اشباع (خط رطوبت نسبی 100 درصد) است که نشان دهنده این واقعیت است که در دماهای پایین‌تر هوا می‌تواند رطوبت کمتری نسبت به دماهای بالاتر نگه دارد. عبارت حرارت تولید شده داخلی یک تخمین تقریبی از مقدار گرمایی است که توسط بارهای داخلی مانند چراغ‌ها، افراد و تجهیزات به ساختمان اضافه می‌شود. بسیار به نوع ساختمان و طراحی آن بستگی دارد. این دمای نقطه تعادل دمای هوای بیرون است که در آن بارهای داخلی به تنهایی ساختمان را در منطقه آسایش نگه می‌دارد. ساختمان‌های با طراحی مناسب و عایق‌بندی شده دمای نقطه تعادل بسیار پایین‌تری دارند، بنابراین انرژی گرمایشی بسیار کمتری مصرف می‌کنند. برخی از انواع ساختمان‌ها (مانند خانه‌ها و انبارها) بار داخلی نسبتاً کمی دارند و به گرمایش اضافی بیشتری نیاز دارند، بنابراین نقطه تعادل ممکن است 60 درجه فارنهایت باشد. سایر ساختمان‌ها با بارهای داخلی زیاد (مانند کارخانه‌ها) تقریباً به گرمایش اضافی نیاز ندارند و بنابراین ممکن است نقطه تعادل نزدیک به 20 درجه فارنهایت داشته باشند.

در شکل‌های 11 تا 20 استراتژی‌های مناسب معماری جهت طراحی ساختمان در اقلیم‌های مختلف برای بهره‌برداری بیشتر از تهویه طبیعی توسط نرم‌افزار مشاور اقلیمی پیشنهاد شد. قرارگیری مناطق حائل (ایوان، پاسیو، رواق) در فضای باز سایه‌دار (شکل 11) با جهت‌گیری نسیم‌های غالب می‌تواند مناطق زندگی و کار را در هوای گرم یا مرطوب گسترش دهند.



53 Shaded outdoor buffer zones (porch, patio, lanai) oriented to the prevailing breezes can extend living and working areas in warm or humid weather

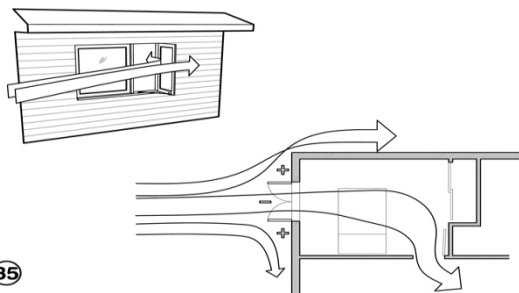
شکل 11 استراتژی منطقه حائل در فضای باز

شکل 12 نشان می‌دهد که برای آب و هوای معتدل سقف‌های با شیب کم با برآمدگی‌های بزرگتر به خوبی کار می‌کنند. شکل 13 اهمیت سایبان و جهت قرارگیری پنجره در تهویه طبیعی را نشان می‌دهد. تهویه طبیعی خوب می‌تواند تهویه مطبوع را در هوای گرم کاهش دهد یا از بین ببرد، اگر پنجره‌ها به خوبی سایه داشته باشند و در جهت نسیم غالب باشند.



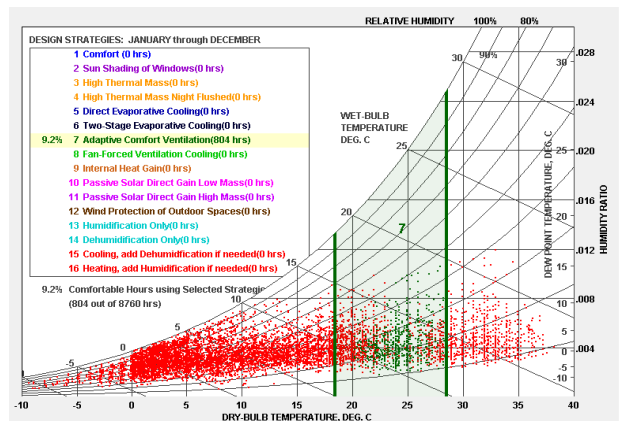
55 Low pitched roofs with wide overhangs works well in temperate climates

شکل 12 سقف‌های با شیب کم و برآمدگی‌های بزرگتر برای آب و هوای معتدل



35 Good natural ventilation can reduce or eliminate air conditioning in warm weather, if windows are well shaded and oriented to prevailing breezes

شکل 13 اهمیت سایبان و جهت قرارگیری پنجره در تهویه طبیعی



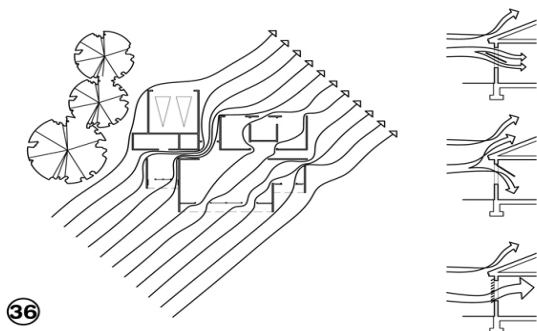
شکل 10 نتایج آسایش تهویه تطبیقی شهر یاسوج اقلیم BSh

اعتبارسنجی داده‌های بدست آمده با نتایج مرجع [3] به طور کامل تصدیق می‌شود. نمودارها و شکل‌های بدست آمده با مرجع شماره [3] که آسایش حرارتی با مدل تهویه تطبیقی در شش شهر را بررسی کرده است، هماهنگی کامل دارد.

همچنین نتایج بدست آمده و ارائه شده در جدول 3 با نتایج مرجع [3] که در جدول 4 ارائه گردیده است کاملا تصدیق می‌شود. اختلافی که در جدول 4 بین مرجع [3] و کار حاضر در بعضی از شهرها مشاهده می‌شود، به این دلیل است که در مرجع [3] از روش عددی و انتخاب ساختمان با عایق‌های مختلف استفاده شده است. اما در پژوهش حاضر تمرکز بر روی داده‌های آب و هوایی در نرم‌افزار مشاوره آب و هوایی می‌باشد. در مدل آسایش تطبیقی میانگین دمای محیط بیرون باید بین 10 تا 33.5 درجه سلسیوس باشد. در خارج از این محدوده این مدل جوابگو نیست و بنابراین استفاده از تهویه طبیعی برای سرمایش ساختمان پیشنهاد نمی‌شود. 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 نشان دهنده 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 4 اعتبار سنجی نتایج برای فصل بهار و تابستان

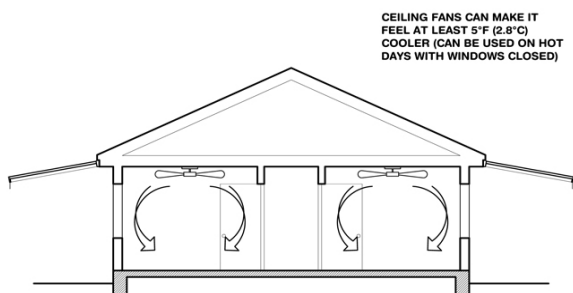
شهر (اقلیم)	کار حاضر درصد	کار مرجع [3] درصد
یزد (Bwh)	27	37
اصفهان (Bwh)	25	56
تبریز (BSk)	30.5	69
شیراز (BSh)	24.7	45
بندرعباس (Bwh)	35	12
تهران (Bwh)	34	40



36

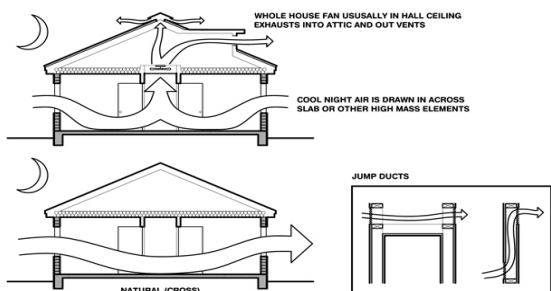
شکل 16 روش‌های تهویه متقاطع

شکل 17 در روزهای گرم، پنکه‌های سقفی یا حرکت هوای داخل خانه می‌تواند باعث شود که هوا تا 5 درجه فارنهایت (2.8 درجه سانتیگراد) یا بیشتر خنک‌تر به نظر برسد، بنابراین به تهویه هوای کمتری نیاز است. شکل 18 یک پنکه کل خانه یا تهویه طبیعی می‌تواند خنکی شبانه را در سطوح داخلی با جرم زیاد (شب‌شویی شبانه)، برای کاهش یا حذف تهویه مطبوع ذخیره کند.



42

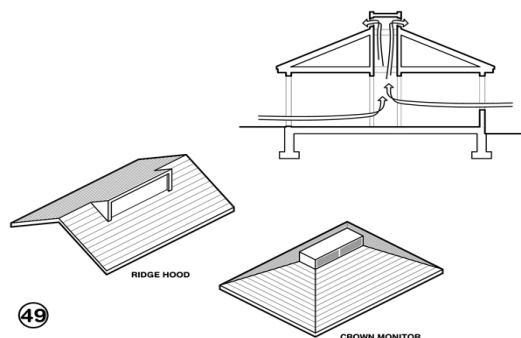
شکل 17 استفاده از پنکه‌های سقفی در تابستان برای ایجاد تهویه



39

شکل 18 پنکه سقفی

شکل 14 روش‌های ایجاد تهویه دودکشی را نشان می‌دهد، حتی زمانی که سرعت باد کم است، ارتفاع عمودی بین ورودی و خروجی هوا را با ایجاد (پله‌های باز، فضاهای دو طبقه، بام فانوسی) به حداکثر تنظیم شده است. تهویه دودکشی به دلیل اختلاف چگالی بین هوای گرم داخل و سرد بیرون انجام می‌شود.



49

To produce stack ventilation, even when wind speeds are low, maximize vertical height between air inlet and outlet (open stairwells, two story spaces, roof monitors)

شکل 14 روشهای ایجاد تهویه دودکشی

شکل 15 ایوان‌ها و حیاط‌های سرپوشیده را نشان می‌دهد که می‌توانند با تهویه هوا در هوای گرم شرایط آسایش غیرفعال را فراهم کنند و از مشکلاتی که حشرات مضر به وجود می‌آورند جلوگیری نمایند. شکل 16 برای تسهیل تهویه متقاطع، در صورت امکان، دهانه‌های در و پنجره را در طرف مقابل ساختمان با دهانه‌های بزرگتر رو به باد در بالا قرار داده شده است.



56

Screened porches and patios can provide passive comfort cooling by ventilation in warm weather and can prevent insect problems

شکل 15 استراتژی ایوان و حیاط سرپوشیده برای آسایش غیرفعال و دفع حشرات

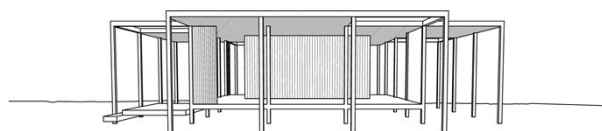
مضر

- 3) شهر خرم‌آباد نماینده اقلیم Csa در طول سال می‌تواند با 9.6 درصد (840 ساعت در سال) آسایش تهویه تطبیقی را فراهم کند.
- 4) شهر یاسوج نماینده اقلیم BSh در طول سال می‌تواند با 9.2 درصد (804 ساعت) کمترین آسایش تهویه تطبیقی را فراهم کند.
- همچنین استراتژی‌های مختلف برای استفاده بیشتر از تهویه تطبیقی در اقلیم‌های مختلف ارائه شد.

5- مراجع

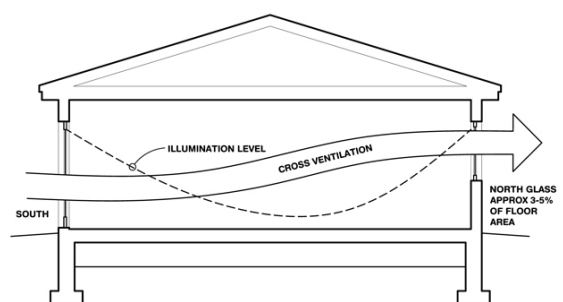
- [1] S. Schiavon, T. Hoyt, A. Piccioli, Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE, *Building Simulation*, Vol.7, No.4, pp.2-23, (2014).
- [2] M. K. Singh, S. Mahapatra, S. K. Atreya, Adaptive thermal comfort model for different climatic zones of North-East India, *Applied Energy*, Vol.88, No.7, pp. 2420-2428 (2011).
- [3] A. Minaei, and N. M. Khiavi, Thermal comfort evaluation for naturally ventilated building applying an adaptive model in different cities of Iran, *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering Amirkabir J. Mech. Eng.*, Vol.54, No.11, pp. 537-540(2023). (in Persian)
- [4] M. Khodabakhshian, M. S. Niya, Comparative study of Courtyard Spaces Patterns in Vernacular Architecture of Arid Climate (B) and Hot and Humid Climate (A) Case study :the cities: Yazd and Bushehr. *Journal of Interdisciplinary studies in architecture and urbanism development*. Vol.2, No.1, pp. 59-82 (2023). (in Persian)
- [5] S. S. M. Mofidi, Z. M. Mahmoudi, Comparative investigation of thermal treatment and ventilation of Iran's indigenous residential buildings Temperate and humid Climate Case study: Kolbadi House (Sari) and Aghajan Nasab House (Babol) pp. 337-350 (2017). (in Persian)
- [6] R. Rawal, Y. Shukla, V. Vardhan, S. Asrani, M. Schweiker, G. Somani, Adaptive thermal comfort model based on field studies in five climate zones across India, *Building and Environment*, 219, 109187(2022).
- [7] E. Delgado-Gutierrez, J. Canivell, D. Bienvenido-Huertas, F. M. Hidalgo-Sánchez, Adaptive Comfort Potential in Different Climate Zones of Ecuador Considering Global Warming. *Energies*, Vol.17, No.9, 2017 (2024).
- [8] 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*, 186, pp. 56-70 (2019).
- [9] M. Khosbakhht, F. Zhang, Z. S. Zomorodian, Z. Gou, Thermal sensitivity and adaptive comfort in mixed-mode office buildings in humid subtropical climate, *Building Research & Information*, Vol.52, No.6, pp. 693-707 (2024).
- [10] 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. 90-99, (2024). (in Persian)
- [11] O. Rahaee, A. Shekoofeh A. Shams Taleghani, 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). (in Persian)
- [12] N. Sadeghi, Y. G. Mahlabani, H. R. Nazif, Numerical investigation on thermal performance of a wind catcher for natural ventilation in hot and dry climate, *Journal of Renewable and New Energy*, Vol 8, No. 1 pp. 33-40, (2021). (in Persian)
- [13] M. A. 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.169-196, (2021). (in Persian)
- [14] D. B. Huertas, D. S. G. Tejedor, C. R. Bellido, Energy savings in buildings applying ASHRAE 55 and regional adaptive thermal comfort models, *Urban Climate*, 55, 101892 (2024).

استراتژی شکل 19 برای از آب و هوای معتدل استفاده می‌شود، بنابراین برای جلوگیری از گرمای بیش از حد، در تابستان برای استفاده از باد ملایم باز است و در زمستان برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی غیرفعال استفاده کرد. در شکل 20 برای استفاده از نور در طول روز و استفاده از تهویه متقاطع پنجره‌های شمالی باید از سطح زمین (حدود 5 درصد از سطح زمین) طراحی شوند.



58

شکل 19 استراتژی شکل ساختمان



54

شکل 20 جهت و ارتفاع قرارگیری پنجره‌ها برای تهویه و نور

4- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار مشاور اقلیمی، شرایط آب و هوایی ایران برای تهویه تطبیقی مورد بررسی قرار گرفت. در این نرم‌افزار از مدل آسایش تطبیقی در استاندارد اشرفی 55 استفاده شد. محدوده اقلیم ایران بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن - گایگر، به 9 اقلیم تقسیم می‌شود. اقلیم‌های BWh، BSh، BSk و CSa از گروه‌های مهم اقلیمی ایران هستند که هر کدام قسمت بزرگی از کشور را در بر می‌گیرند. با روش اقلیم شناسی کوپن - گایگر و انتخاب چند شهر در اقلیم‌های BWh، BSk، BSh و CSa نتایج زیر بدست آمد:

1) شهر زاهدان نماینده اقلیم BWh در طول سال می‌تواند 1.4 درصد (1524 ساعت در سال) بیشترین آسایش تهویه تطبیقی را فراهم کند.

2) شهر تبریز نماینده اقلیم Bsk در طول سال می‌تواند 12 درصد (1077 ساعت در سال) آسایش تهویه تطبیقی را فراهم کند.

- [15] S. Thapa, A. K. Bansal, G. K. Panda, M. Indraganti, Adaptive thermal comfort in the different buildings of Darjeeling Hills in eastern India–Effect of difference in elevation, *Energy and Buildings*, 173, pp. 649-677, (2018).
- [16] S. H. Neshat Safavi, S. R. 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). (in Persian)
- [17] P. Rahehagh, Z. Zahrasadat, M. Tahsil-doost, Assessing the Potential of Natural Ventilation in Office Spaces in Terms of Climate and Interior Design in Province Centers, *Journal of Iranian Architecture Studies*, Vol. 12, No. 24, pp. 169-191, (2024). (in Persian)
- [18] S. M. Mirlohi, M. Sadeghzadeh, R. Kumar, M. Ghassemieh, Implementation of a zero-energy building scheme for a hot and dry climate region in Iran (a Case Study, Yazd), *Renewable energy research and applications*, Vol 1, No. 1, pp. 65-74, (2020). (in Persian)
- [19] H. Varmaghani, and A. Kasmaei, Factors Affecting Energy Conservation in High-rise Buildings Case of 22th District of Tehran, *Iranian Journal of Energy*, Vol.24, No. 1, pp. 67-100, (2021). (in Persian)
- [20] A. Entezari, F. Mayvane, F. Khazaeejad, Sun, Wind and Light (Design Strategies in Consistent Architecture with Climate) Case Study: Yazd City, pp. 223-240, (2020). (in Persian)
- [21] S. Schiavon, T. Hoyt, A. Piccioli, Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55, *Building Simulation*, Vol. 7, pp. 321-334, (2014).
- [22] Y. Zhang, J. Wang, H. Chen, J. Zhang, Q. Meng, Thermal comfort in naturally ventilated buildings in hot-humid area of China, *Building and Environment*, Vol. 45, No. 11, pp.2562-2570, (2010).
- [23] 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*, Vol.3, No.4, pp. 175-192, (2024). (in Persian)
- [24] T. Razi, Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century, *Journal of the Earth and Space Physics*, Vol.43, No. 2, pp. 419-439, (2017). (in Persian)
- [25] M. L. Hoz-Torres, A. J. Aguilar, D. P. Ruiz, M. D. Martínez-Aires, An investigation of indoor thermal environments and thermal comfort in naturally ventilated educational buildings, *Journal of Building Engineering*, 84, 108677 (2024).
- [26] G. Torriani, G. Lamberti, G. Salvadori, F. Fantozzi, F. Babich, Thermal comfort and adaptive capacities: Differences among students at various school stages, *Building and Environment*, 237, 110340 (2023).