



Golestan University



Journal of the Climate Change Research

Scientific Journal of Golestan University  
Vol. 7, No. 26, Summer 2026



## The Impact of Climate Change on Residential Architectural Design Strategies in Iran's Climatic Zones: Analysis of Thermal Comfort Diagrams in 11 Selected Cities

Motahareh Karimabadi<sup>1</sup>, Mohammad Farrokhzad<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Master's degree in Architectural Engineering, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Golestan University, Gorgan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor and Academic Member, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Golestan University, Gorgan, Iran (Corresponding Author, m.farrokhzad@gu.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

### Article history:

Received: 2026-4-18  
Accepted: 2026-6-13

### Keywords:

Climate change  
climate-responsive design  
thermal comfort  
climatic zones of Iran  
RCP4.5 scenario  
housing

### ABSTRACT

Climate change, as one of the main challenges of the current century, has extensive impacts on energy performance and thermal comfort of buildings. Given Iran's climatic diversity and the lack of comprehensive research on redefining residential architectural design strategies based on future climate scenarios, this study aims to identify changes in thermal comfort and develop climate-responsive design guidelines for Iran's five main climatic zones (Caspian, cold mountainous, hot-dry, hot semi-humid, and hot-humid) under the influence of climate change. For this purpose, 11 representative cities were selected from the mentioned zones, and current (2020) and future (2100) climate data were extracted using Meteonorm 8 software based on the moderate RCP4.5 scenario. Data analysis was conducted using Climate Consultant 6 software, employing ASHRAE-55 and Givoni thermal comfort charts. The findings indicate that the thermal comfort threshold will decrease in most studied cities by 2100, particularly in hot-humid (Bandar Lengeh with a 6.2% decrease) and Caspian (Ramsar with a 3.3% decrease) zones. The need for active cooling systems and solar shading devices increases across all zones, while the need for active heating decreases significantly. In hot-dry zones, two-stage evaporative coolers replace single-stage ones, and in hot-humid zones, cooling with dehumidification becomes the most important strategy. Based on the analyses, zone-specific design guidelines are proposed, including optimization of window dimensions and orientation, shading device type, appropriate materials, and use of semi-open spaces. The results of this study can serve as a basis for revising climate-responsive housing design standards in Iran, considering future climate changes.

**Cite this article:** Karimabadi, M. Farrokhzad, M (2026). The Impact of Climate Change on Residential Architectural Design Strategies in Iran's Climatic Zones: Analysis of Thermal Comfort Diagrams in 11 Selected Cities. Journal of the Climate Change research, 7 (26), 17-34.



©The author(s)

Publisher: Golestan University

DOI: 10.30488/ccr.2026.579046.1328



## تأثیر تغییر اقلیم بر راهبردهای طراحی معماری مسکونی در پهنه‌های اقلیمی ایران: تحلیل نمودارهای آسایش حرارتی در ۱۱ شهر منتخب

مطهره کریم آبادی<sup>۱</sup>، محمد فرخ زاد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی معماری، گروه معماری، دانشکده مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار و عضو هیأت علمی، گروه معماری، دانشکده مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران (نویسنده مسئول، m.farrokhsad@gu.ac.ir)

| اطلاعات مقاله                                                                                                     | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نوع مقاله:<br>مقاله کامل علمی                                                                                     | تغییر اقلیم به عنوان یکی از چالش‌های اصلی قرن حاضر، تأثیرات گسترده‌ای بر عملکرد انرژی و آسایش حرارتی ساختمان‌ها دارد. با توجه به تنوع اقلیمی ایران و فقدان پژوهش‌های جامع در زمینه بازتعریف راهبردهای طراحی معماری مسکونی بر پایه سناریوهای اقلیمی آینده، این پژوهش با هدف شناسایی تغییرات آسایش حرارتی و تدوین دستورالعمل‌های طراحی همساز با اقلیم در پنج پهنه اصلی ایران (خزری، سرد و کوهستانی، گرم و خشک، گرم و نیمه مرطوب، گرم و مرطوب) تحت تأثیر تغییر اقلیم انجام شده است. برای این منظور، ۱۱ شهر نماینده از پهنه‌های مذکور انتخاب و داده‌های اقلیمی وضع موجود (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰) با استفاده از نرم‌افزار 8 Meteoronorm و بر پایه سناریوی حد متوسط RCP4.5 استخراج گردید. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار 6 Climate Consultant و بهره‌گیری از نمودارهای آسایش حرارتی استاندارد ASHRAE-55 و گیونی انجام شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که حد آسایش حرارتی در بیشتر شهرهای مورد مطالعه تا دوره منتهی به ۲۱۰۰ کاهش می‌یابد، به‌ویژه در پهنه‌های گرم و مرطوب (بندرلنگه با کاهش ۶/۲ درصدی) و خزری (رامسر با کاهش ۳/۳ درصدی). نیاز به سیستم‌های سرمایشی فعال و سایبان‌های خورشیدی در تمام پهنه‌ها افزایش می‌یابد، در حالی که نیاز به گرمایش فعال، کاهش چشمگیری دارد. در پهنه‌های گرم و خشک، استفاده از کولرهای تبخیری دو مرحله‌ای جایگزین کولرهای تک مرحله‌ای می‌شود و در پهنه‌های گرم و مرطوب، سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی به مهم‌ترین راهبرد تبدیل می‌گردد. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته، دستورالعمل‌های طراحی ویژه هر پهنه شامل بهینه‌سازی ابعاد و جهت‌گیری بازشوها، نوع سایبان، مصالح مناسب و بهره‌گیری از فضاهای نیمه‌باز ارائه شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند مبنایی برای بازنگری ضوابط طراحی اقلیمی مسکن در ایران با در نظر گرفتن تغییرات اقلیم آینده باشد. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۱/۲۹<br>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۲۳                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| واژه‌های کلیدی:<br>تغییر اقلیم<br>طراحی همساز با اقلیم<br>آسایش حرارتی<br>پهنه‌های اقلیمی ایران<br>سناریوی RCP4.5 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

**استناد:** کریم‌آبادی، م. فرخ‌زاد، م (۱۴۰۵). تأثیر تغییر اقلیم بر راهبردهای طراحی معماری مسکونی در پهنه‌های اقلیمی ایران: تحلیل نمودارهای آسایش حرارتی در ۱۱ شهر منتخب. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۷ (۲۶)، ۳۴-۱۷.



## مقدمه

تغییر اقلیم امروزه به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌های فراروی بشریت شناخته می‌شود. فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی، نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه گرمایش جهانی داشته است (United Nations Environment Programme, 2009). شواهد علمی نشان می‌دهد که انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در چند دهه اخیر بیش از ۷۰ درصد افزایش یافته و پیامدهایی همچون افزایش سطح آب دریاها، افزایش وقوع حوادث شدید آب‌وهوایی، کمبود منابع آبی و تغییر الگوی بیماری‌ها را به دنبال داشته است (United Nations Environment Programme, 2009). در این میان، بخش ساختمان با سهمی بالغ بر یک‌سوم از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی و بیش از ۴۰ درصد از مصرف انرژی جهان، یکی از مهم‌ترین بخش‌های مؤثر در روند تغییرات اقلیم محسوب می‌شود (United Nations Environment Programme, 2009; Andrić et al., 2019). از سوی دیگر، همین بخش به دلیل عمر طولانی ساختمان‌ها و وابستگی شدید به شرایط آب‌وهوایی، در برابر پیامدهای تغییر اقلیم بسیار آسیب‌پذیر است (Camilleri, Jaques and Isaacs, 2001).

تأثیر تغییرات اقلیم بر ساختمان‌ها از مسیرهای متعددی قابل بررسی است. افزایش دما، تشدید امواج گرما، تغییر الگوهای باد و بارش و افزایش رطوبت در برخی مناطق، همگی بر عملکرد حرارتی ساختمان، مصرف انرژی و آسایش کاربران تأثیر می‌گذارند (Bai and Wang, 2019; Rodrigues and Fernandes, 2020). مطالعات پیش‌بینی نشان می‌دهد که در دهه‌های آینده، تقاضای انرژی سرمایشی در بسیاری از مناطق جهان به‌طور چشمگیری افزایش خواهد یافت، در حالی که نیاز به گرمایش کاهش می‌یابد (Berardi and Jafarpur, 2020; Tootkaboni, Ballarini and Corrado, 2021). این تغییرات نه تنها بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد، بلکه خطر گرمای بیش از حد در فضاهای داخلی را افزایش داده و سلامت و آسایش

ساکنان را تهدید می‌کند (Hamdy et al., 2017; Silvero et al., 2019).

در سطح بین‌المللی، پژوهش‌های گسترده‌ای به بررسی تأثیر تغییرات اقلیم بر عملکرد ساختمان و ارائه راهکارهای سازگاری پرداخته‌اند. برای نمونه، تحقیقات در کشورهای مختلف نشان داده است که بهبود عایق‌بندی حرارتی، استفاده از سایبان‌های مناسب، بهره‌گیری از تهویه طبیعی و انتخاب مصالح با جرم حرارتی مناسب می‌تواند اثرات منفی تغییر اقلیم را کاهش دهد (Gercek and Durmuş Arsan, 2019; Zou et al., 2021; Andrić et al., 2017). همچنین استفاده از فایل‌های آب‌وهوایی آینده و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند سناریوهای RCP (Representative Concentration Pathways) در شبیه‌سازی عملکرد ساختمان، به‌عنوان روشی متداول برای پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است (Moazami et al., 2019; Roshan et al., 2019).

در ایران، با وجود تنوع اقلیمی چشمگیر و قرارگیری در منطقه‌ای با آسیب‌پذیری بالا نسبت به تغییر اقلیم، پژوهش‌های محدودی به بررسی راهکارهای طراحی معماری همساز با اقلیم با در نظر گرفتن سناریوهای آینده پرداخته‌اند. بیشتر مطالعات موجود یا بر تحلیل شرایط اقلیمی کنونی متمرکز بوده‌اند (مهرتاش، ۱۳۹۲) و یا به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر یک شهر یا منطقه خاص اشاره داشته‌اند (Roshan et al., 2019). در حالی که کشور ایران با تنوع اقلیمی گسترده شامل پنج پهنه اصلی اقلیمی (خزری، سرد و کوهستانی، گرم و خشک، گرم و نیمه‌مرطوب، گرم و مرطوب) دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است که لزوم بازتعریف راهبردهای طراحی اقلیمی را بر پایه سناریوهای آینده ضروری می‌سازد. نوروزیان‌ملکی و همکاران (۱۳۸۹) نیز بر ضرورت توجه به تغییرات اقلیم در طراحی ساختمان‌های آینده تأکید کرده‌اند.

با توجه به خلاء تحقیقاتی موجود، این پژوهش با هدف شناسایی تغییرات آسایش حرارتی و تدوین

دستورالعمل‌های طراحی معماری مسکونی همساز با اقلیم در پنج پهنه اصلی ایران تحت تأثیر تغییرات اقلیم انجام شده است. پرسش اصلی پژوهش این است که تغییرات اقلیم تا سال ۲۱۰۰ چه تأثیری بر راهبردهای طراحی اقلیمی مسکن در پهنه‌های مختلف ایران خواهد داشت و چه دستورالعمل‌های طراحی را می‌توان برای سازگاری با این تغییرات ارائه نمود. برای پاسخ به این پرسش، ۱۱ شهر نماینده از پنج پهنه اقلیمی انتخاب و داده‌های اقلیمی وضع موجود (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰) تحت سناریوی RCP4.5 تحلیل گردیده است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنایی برای بازنگری ضوابط طراحی اقلیمی مسکن در ایران و ارائه راهکارهای عملی برای معماران و برنامه‌ریزان شهری در مواجهه با تغییرات اقلیم آینده قرار گیرد.

### پیشینه پژوهش

امروزه به‌طور گسترده پذیرفته شده است که فعالیت‌های انسانی نقش بسزایی در تغییرات آب‌وهوایی دارند. انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی ناشی از فعالیت‌های انسانی طی چند دهه اخیر بیش از ۷۰ درصد افزایش یافته و پیامدهایی همچون افزایش سطح آب دریاها، افزایش وقوع حوادث شدید آب‌وهوایی، کمبود منابع آبی و تغییر الگوی بیماری‌ها را به دنبال داشته است (United Nations Environment Programme, 2009). در این میان، ساختمان‌ها مسئول بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی جهانی و یک‌سوم انتشار گازهای گلخانه‌ای جهان هستند (United Nations Environment Programme, 2009; Andrić et al., 2019). بخش ساختمان بیشترین پتانسیل را برای کاهش انتشار بلندمدت و مقرون‌به‌صرفه گازهای گلخانه‌ای داراست و می‌توان با استفاده از فناوری‌های موجود، مصرف انرژی در ساختمان‌های جدید و موجود را ۳۰ تا ۸۰ درصد کاهش داد (United Nations Environment Programme, 2009).

مطالعات متعدد نشان می‌دهد که تغییر اقلیم بر عملکرد ساختمان تأثیرات دوگانه دارد. از یک سو، افزایش دما و تشدید امواج گرما تقاضای انرژی سرمایشی را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر، نیاز به گرمایش را کاهش می‌دهد (Berardi and Jafarpur, 2020; Tootkaboni, Ballarini and Corrado, 2021). در کشورهای با آب‌وهوای گرم، افزایش دما می‌تواند تا ۳۰ درصد مصرف انرژی ساختمان را افزایش دهد و فشار مضاعفی بر شبکه‌های برق وارد کند (Andrić, 2020). Kamal and Al-Ghamdi, 2020). همچنین گرمایش جهانی خطر گرمای بیش از حد در فضاهای داخلی را افزایش می‌دهد که با سلامت و آسایش ساکنان ارتباط مستقیم دارد (Hamdy et al., 2017; Rodrigues and Fernandes, 2020).

پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده برای تحلیل عملکرد ساختمان ضروری است. در این زمینه، هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) سناریوهای متعددی را بر اساس میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه کرده است. در گزارش چهارم (AR4) از سناریوهای SRES و در گزارش پنجم (AR5) از مسیرهای غلظت نماینده (RCP) استفاده شده است (Shen et al., 2020). سناریوهای RCP شامل RCP2.6 (خوش‌بینانه)، RCP4.5 (متوسط)، RCP6.0 و RCP8.5 (بدبینانه) هستند که بر اساس میزان تابش اجباری در سال ۲۱۰۰ نامگذاری شده‌اند (Tootkaboni, Ballarini and Corrado, 2021).

برای تولید داده‌های اقلیمی آینده قابل استفاده در شبیه‌سازی ساختمان، روش‌های مختلفی توسعه یافته است. در اینجا، مروری بر ابزارها و مدل‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین (از جمله نسل‌های قدیمی‌تر سناریوها) ارائه می‌شود. یکی از پرکاربردترین روش‌ها، روش مورفینگ (Morphing) است که با اعمال تغییرات پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های گردش عمومی (GCM) بر روی فایل‌های آب‌وهوای پایه (TMY)، فایل‌های آب‌وهوای آینده را تولید می‌کند (Bamdad et al., 2022). ابزارهایی مانند CCWorld Weather Gen بر مبنای این روش عمل کرده و

ایتالیا، پیش‌بینی می‌شود تقاضای سرمایشی تا ۲۵۵ درصد افزایش و تقاضای گرمایشی تا ۳۰ درصد کاهش یابد (Tootkaboni et al., 2021). در پرتغال نیز افزایش چشمگیر نیاز به سرمایش و کاهش نیاز به گرمایش برای سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است (Rodrigues and Fernandes, 2020).

در کشورهای با آب‌وهوای گرم و مرطوب، تغییر اقلیم تأثیرات شدیدتری بر مصرف انرژی ساختمان دارد. در قطر، پیش‌بینی می‌شود مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی تا سال ۲۰۸۰ تا ۳۰ درصد افزایش یابد (Andrić et al., 2020). در این مناطق، افزایش دمای بیرون و افزایش رطوبت منجر به افزایش شدید نیاز به سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی می‌شود (Andrić et al., 2020).

در زمینه راهکارهای طراحی، مطالعات متعدد بر اهمیت عایق‌بندی حرارتی، استفاده از سایبان‌های مناسب، تهویه طبیعی و انتخاب مصالح با جرم حرارتی مناسب تأکید کرده‌اند (Gerçek and Durmuş Arsan, 2019; Bai and Wang, 2019). همچنین استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده غیرفعال مانند تهویه شبانه و سایه‌اندازی پنجره‌ها می‌تواند تأثیر تغییر اقلیم را کاهش دهد (Silva et al., 2022). در کشورهای توسعه‌یافته، نوسازی ساختمان‌های موجود با بهبود عایق‌بندی و جایگزینی پنجره‌های کم‌بازده از مهم‌ترین راهکارهای سازگاری شناخته شده است (United Nations Environment Programme, 2009; Calama-González et al., 2022).

در ایران، پژوهش‌های محدودی به بررسی تأثیر تغییرات اقلیم بر طراحی ساختمان پرداخته‌اند. روشن و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از سناریوهای RCP و داده‌های ۱۰ ایستگاه هواشناسی، تغییرات آسایش حرارتی در ایران را تا سال ۲۰۵۰ بررسی کرده و افزایش نیاز به سرمایش و کاهش نیاز به گرمایش را در بیشتر مناطق گزارش کردند. نوروزیان‌ملکی و همکاران (۱۳۸۹) بر ضرورت توجه به تغییرات اقلیم در طراحی ساختمان‌ها تأکید کرده و راهکارهایی مانند بهینه‌سازی عایق‌بندی و استفاده از سلول‌های فتوولتائیک را پیشنهاد داده‌اند. مهرتاش (۱۳۹۲) در

داده‌های خروجی مدل HadCM3 را به فرمت قابل استفاده در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی مانند EnergyPlus تبدیل می‌کنند (Andrić et al., 2020; Tootkaboni et al., 2021).

اخیراً، هیات بین‌دولتی تغییرات اقلیم (IPCC) گزارش ششم خود (AR6) نسل جدیدی از سناریوها تحت عنوان مسیرهای اجتماعی-اقتصادی مشترک (Shared Socioeconomic Pathways – SSPs) را معرفی کرده است. این سناریوها ترکیبی از روندهای جمعیتی، اقتصادی، اجتماعی و فناوری را با سطوح مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای تلفیق می‌کنند و جانشین سناریوهای RCP محسوب می‌شوند (IPCC, 2021). با این حال، پژوهش حاضر از سناریوی RCP4.5 استفاده کرده است. دلیل اصلی این انتخاب، در دسترس نبودن داده‌های آب و هوایی آینده مبتنی بر SSP در قالب فایل‌های سال معمولی هواشناسی (TMY) برای شهرهای ایران در زمان انجام پژوهش بوده است. با گسترش پایگاه‌های داده مبتنی بر SSP، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی تأثیر تغییر اقلیم بر راهبردهای طراحی معماری بر اساس سناریوهای جدید نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

در سال‌های اخیر، استفاده از فایل‌های آب‌وهوای آینده در شبیه‌سازی عملکرد ساختمان افزایش یافته است. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های تاریخی (TMY) به تنهایی برای ارزیابی عملکرد ساختمان در چرخه عمر کافی نیست و در نظر گرفتن تغییرات بلندمدت اقلیم ضروری است (Zou et al., 2021). رویکردهای بهینه‌سازی عملکرد ساختمان با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف اقلیمی می‌تواند راه‌حل‌های طراحی متفاوتی نسبت به استفاده از داده‌های تاریخی ارائه دهد (Zou et al., 2021).

تحقیقات گسترده‌ای به بررسی راهکارهای سازگاری ساختمان با تغییرات اقلیم پرداخته‌اند. در کشورهای با آب‌وهوای سرد و معتدل، کاهش تقاضای گرمایشی و افزایش تقاضای سرمایشی تحت تأثیر تغییر اقلیم مشاهده شده است (Berardi and Jafarpur, 2020; Tootkaboni et al., 2021). در

ضروری می‌سازد. جدول ۱ خلاصه‌ای از مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در این زمینه را به نمایش می‌گذارد. در ایران، با وجود تنوع اقلیمی بالا و آسیب‌پذیری قابل توجه در برابر تغییر اقلیم، پژوهش‌های جامعی که راهکارهای طراحی همساز با اقلیم را برای همه پهنه‌های اصلی با در نظر گرفتن سناریوهای آینده تدوین کرده باشند، وجود ندارد. این پژوهش در نظر دارد با تحلیل ۱۱ شهر نماینده از پنج پهنه اقلیمی ایران تحت سناریوی RCP4.5، تغییرات آسایش حرارتی را کمی‌سازی کرده و دستورالعمل‌های طراحی متناسب با شرایط اقلیمی آینده را ارائه نماید.

پژوهشی بر روی طراحی مجتمع مسکونی در اقلیم خزری، اصول طراحی اقلیمی را با تأکید بر تهویه طبیعی و بهره‌گیری از انرژی خورشیدی ارائه کرده است. با این حال، پژوهش جامعی که به صورت هماهنگ راهبردهای طراحی همساز با اقلیم را برای تمام پهنه‌های اصلی ایران با در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم آینده تدوین کرده باشد، شناسایی نشد. براساس مرور پیشینه، مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهند که تغییرات اقلیم تأثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی ساختمان‌ها خواهد داشت و نیاز به بازتعریف راهبردهای طراحی اقلیمی را

جدول ۱: خلاصه تحقیقات کلیدی مرتبط با تأثیر تغییرات اقلیم بر طراحی ساختمان

| محققان (سال)                                | کشور/شهر        | موضوع اصلی                                                   | یافته‌های کلیدی                                                                                                             |
|---------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| United Nations Environment Programme (2009) | جهانی           | نقش ساختمان در تغییر اقلیم و راهکارهای کاهش انتشار           | ساختمان‌ها مسئول ۴۰٪ مصرف انرژی جهانی و یک‌سوم انتشار گازهای گلخانه‌ای؛ پتانسیل کاهش ۳۰٪-۸۰٪ مصرف انرژی با فناوری‌های موجود |
| Camilleri, Jaques and Isaacs (2001)         | نیوزلند         | تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد ساختمان                          | ساختمان‌های موجود و آینده تحت تأثیر تغییرات اقلیم قرار خواهند گرفت؛ ضرورت سازگاری در مراحل اولیه طراحی                      |
| Gercek and Durmuş Arsan (2019)              | ترکیه           | فرآیند تصمیم‌گیری طراحی در مراحل اولیه تحت تغییر اقلیم       | پارامترهای ضریب افزایش حرارت خورشیدی و ضریب انتقال حرارت شفاف بیشترین تأثیر را بر مصرف انرژی دارند                          |
| Andrić et al. (2017)                        | اروپا           | تأثیر تغییر اقلیم بر تقاضای گرمایش                           | تقاضای گرمایش در آینده کاهش می‌یابد؛ تأثیر سیاست‌های نوسازی بر کارایی سیستم‌های گرمایشی                                     |
| Bai and Wang (2019)                         | چین             | بازتعریف پهنه‌های اقلیمی با توجه به تغییر اقلیم              | بهبود عایق حرارتی، پوشش مات بیرونی و افزایش سایه‌اندازی پنجره‌ها می‌تواند تأثیر تغییرات اقلیم را کاهش دهد                   |
| Roshan, Oji and Attia (2019)                | ایران           | تأثیر تغییر اقلیم بر توصیه‌های طراحی برای ساختمان‌های مسکونی | افزایش دما در آینده غیرقابل پیش‌بینی نیست؛ استفاده از استراتژی‌های گرمایش کاهش و سرمایش افزایش می‌یابد                      |
| Andrić et al. (2019)                        | جهان            | مرور تأثیر تغییر اقلیم بر محیط ساخته شده                     | بخش ساختمان پتانسیل قابل توجهی برای کاهش تغییر اقلیم دارد؛ رابطه متقابل بین تغییر اقلیم و تقاضای انرژی                      |
| Tootkaboni, Ballarini and Corrado (2021)    | ایتالیا (میلان) | عملکرد انرژی ساختمان‌های مسکونی تحت تغییر اقلیم              | کاهش تقاضای گرمایشی تا ۳۰/۹٪، افزایش تقاضای سرمایشی تا ۲۵۵/۱٪ و افزایش خطر گرمای بیش از حد تا ۱۵۵٪                          |
| Zou et al. (2021)                           | چین             | بهینه‌سازی طراحی ساختمان با توجه به تغییرات بلندمدت اقلیم    | شرایط اقلیمی مختلف به راه‌حل‌های بهینه متفاوت منجر می‌شود؛ استفاده از داده‌های تاریخی برای بهینه‌سازی مناسب نیست            |
| Silva et al. (2022)                         | سوئیس           | فرصت‌های سرمایش                                              | تهویه شبانه و سایه‌اندازی پنجره‌ها پتانسیل کاهش                                                                             |

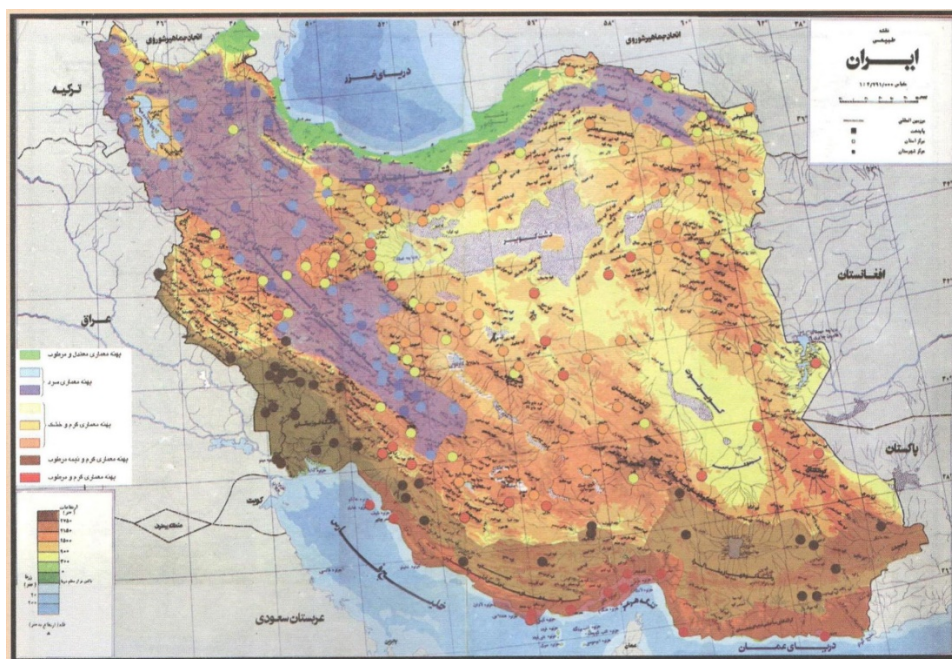
|                                                                                       |                                                          |         |                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------|
| تأثیر تغییرات اقلیم را دارند؛ صرفه جویی تا ۸۴٪ در مصرف انرژی خنک کننده                | غیرفعال برای مقابله با تغییر اقلیم                       |         |                                                   |
| عایق کاری بیش از حد بدون اقدامات عملیاتی کافی ممکن است به نتایج حرارتی بدتری منجر شود | بهینه سازی مسکن اجتماعی موجود در مدیرانه تحت تغییر اقلیم | اسپانیا | Calama-González, Suárez and León-Rodríguez (2022) |

## روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف شناسایی تأثیر تغییرات اقلیم بر راهبردهای طراحی معماری مسکونی همساز با اقلیم در پهنه های اقلیمی ایران انجام شده است. رویکرد پژوهش کمی و مبتنی بر تحلیل داده های اقلیمی با استفاده از نرم افزارهای تخصصی است. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت داده ها، توصیفی-تحلیلی محسوب می شود.

**پهنه ها و داده های اقلیمی:** بر اساس تقسیم بندی

اقلیمی ایران در حوزه معماری همساز با اقلیم، کشور ایران به پنج پهنه اصلی اقلیمی تقسیم می شود (طاهباز، ۱۳۹۶؛ مهرتاش، ۱۳۹۲؛ Roshan et al., 2019). پنج پهنه مذکور در شکل ۱ به نمایش درآمده است. در این پژوهش، برای هر پهنه دو یا سه شهر به عنوان نمونه موردی انتخاب شده است. مجموعاً ۱۱ شهر در پنج پهنه اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته اند که در جدول ۲ ذکر شده است.



شکل ۱: محدوده پهنه های اقلیمی پنج گانه در ایران (طاهباز، ۱۳۹۶)

جدول ۲: پهنه های اقلیمی و شهرهای مورد مطالعه

| پهنه اقلیمی      | شهرهای مورد مطالعه    | ویژگی های اقلیمی                                                |
|------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| خزری             | رامسر، بابلسر         | زمستان نسبتاً سرد، تابستان نسبتاً گرم، رطوبت بالا، بارندگی زیاد |
| سرد و کوهستانی   | ارومیه، بجنورد        | زمستان بسیار سرد و طولانی، تابستان معتدل، بارش برف، یخبندان     |
| گرم و خشک        | مشهد، یزد، کرمان      | زمستان سرد، تابستان بسیار گرم و خشک، نوسان دمای زیاد شبانه روز  |
| گرم و نیمه مرطوب | ایران شهر، دزفول      | زمستان معتدل، تابستان بسیار گرم، رطوبت نسبی متوسط               |
| گرم و مرطوب      | بندر لنگه، بندر بوشهر | زمستان معتدل، تابستان بسیار گرم و مرطوب، رطوبت بالا، پدیده شرچی |

**ابزار و روش تحلیل داده‌ها:** برای تحلیل داده‌های اقلیمی و ارزیابی آسایش حرارتی، از نرم‌افزار Climate Consultant 6 استفاده شده است. این نرم‌افزار که توسط دانشگاه کالیفرنیا لس‌آنجلس (UCLA) توسعه یافته، یکی از ابزارهای تخصصی در حوزه تحلیل اقلیمی و طراحی همساز با اقلیم است (Milne & Liggett, 2016). این نرم‌افزار داده‌های اقلیمی را در قالب نمودارهای مختلف از جمله نمودار آسایش حرارتی با استاندارد ASHRAE-55 تحلیل می‌کند. به منظور ترسیم و تحلیل نمودارهای زیست‌اقلیمی ساختمانی گیونی از ابزار تحت وب توسعه داده شده توسط دکتر اندریو مارش استفاده شده است (Marsh, 2025). در موارد نادر اختلاف جزئی بین خروجی دو مدل، به دلیل ماهیت مکمل بودن، هر دو گزارش شده و اشتراکات مبنای نتیجه‌گیری قرار گرفته است.

**نمودار آسایش حرارتی ASHRAE-55:** نمودار ASHRAE-55 براساس استاندارد ۵۵ انجمن مهندسان گرمایش، تبرید و تهویه مطبوع آمریکا (ASHRAE) تهیه شده است. این نمودار محدوده آسایش حرارتی را بر اساس ترکیب دما و رطوبت نسبی تعیین می‌کند و راهکارهای طراحی اقلیمی (مانند استفاده از سایبان، تهویه طبیعی، جرم حرارتی، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی) را برای شرایط خارج از محدوده آسایش پیشنهاد می‌دهد (Eddy et al., 2023). در تحلیل نمودار ASHRAE 55، از مدل PMV/PPD استفاده شده است، زیرا این مدل قادر به ارائه طیف کامل راهبردهای طراحی اقلیمی است و با شرایط ساختمان‌های مسکونی ایران که اغلب از سیستم‌های گرمایشی/سرمایشی مکانیکی بهره می‌برند، مطابقت بیشتری دارد. در این پژوهش، با استفاده از این نمودار، درصد ساعات سال که در محدوده آسایش حرارتی قرار دارند و همچنین سهم هر یک از راهکارهای طراحی در تأمین آسایش برای وضع موجود (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و وضع آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰) محاسبه و مقایسه شده است. شکل ۲ نمونه‌ای از مقایسه نمودار آسایش مذکور را برای شهر کرمان در بازه دوره پایه تا دوره آینده نشان می‌دهد.

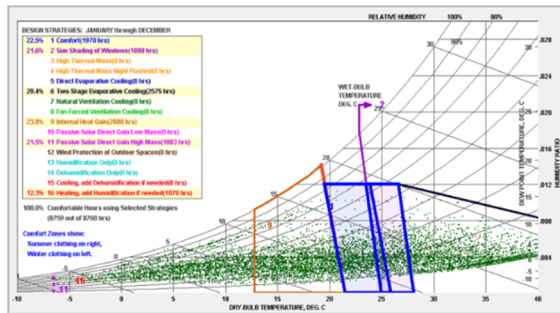
داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش شامل عناصر دما، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد، تابش خورشیدی و بارندگی است. این داده‌ها در دو بازه زمانی مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

• **وضع موجود (۲۰۲۰):** داده‌های اقلیمی کنونی که نمایانگر شرایط اقلیمی دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) هستند.

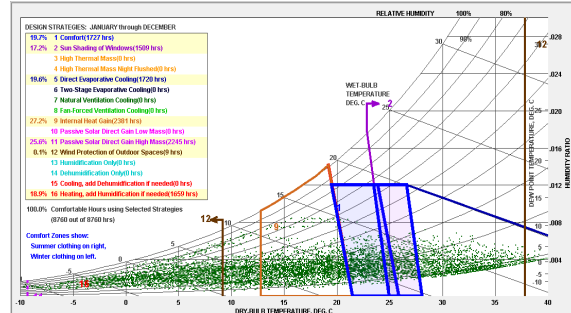
• **وضع آینده (۲۱۰۰):** داده‌های اقلیمی پیش‌بینی‌شده برای دوره آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰) تحت سناریوی تغییر اقلیم.

برای استخراج داده‌های اقلیمی، از نرم‌افزار 8 Meteororm استفاده شده است. این نرم‌افزار با بهره‌گیری از پایگاه داده‌های هواشناسی گسترده، فایل‌های سال هواشناسی معمولی (TMY) را در فرمت EPW تولید می‌کند. داده‌های TMY بر اساس میانگین بلندمدت (دوره ۳۰ ساله) شرایط اقلیمی هر ایستگاه هواشناسی تهیه شده و نمایانگر شرایط اقلیمی معمول منطقه هستند.

برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده، از سناریوی RCP4.5 استفاده شده است. سناریوهای مسیر غلظت نماینده (RCP) توسط هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) برای پیش‌بینی تغییرات اقلیم در گزارش پنجم (AR5) معرفی شده‌اند. RCP4.5 یک سناریوی میانی و تثبیت‌کننده است که در آن انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۷۰ به کمتر از سطح فعلی می‌رسد و غلظت اتمسفری تا پایان قرن تقریباً دو برابر دوره پیش‌صنعتی تثبیت می‌شود (Tootkaboni et al., 2021). سناریوی RCP4.5 به‌عنوان یک سناریوی تثبیت‌کننده انتخاب شده است که در آن نیروی تابشی تا سطح ۴.۵ وات بر مترمربع تا پایان قرن تثبیت می‌گردد. این سناریو مسیر میانی را نمایندگی می‌کند که در آن انتشار گازهای گلخانه‌ای حدود سال ۲۰۴۰ به اوج رسیده و سپس کاهش می‌یابد و فرض بر اجرای سیاست‌های ملایم کاهش انتشار است. انتخاب این سناریو به دلیل میانه‌بودن و واقع‌گرایانه‌تر بودن، تعادلی منطقی بین سناریوهای بدبینانه (مانند RCP8.5) و خوش‌بینانه (مانند RCP2.6) ایجاد می‌کند و امکان ارزیابی واقع‌بینانه و قابل‌مقایسه‌ای از آثار تغییر اقلیم را فراهم می‌آورد.



ب

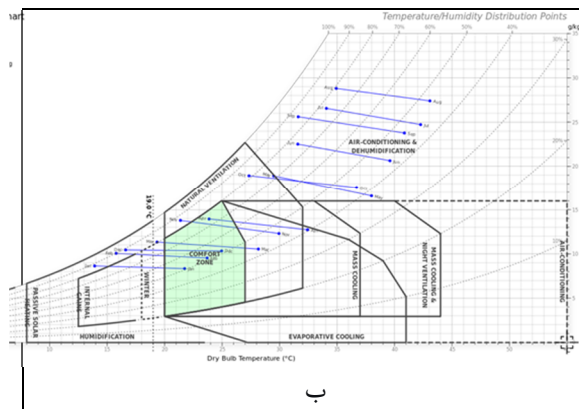


الف

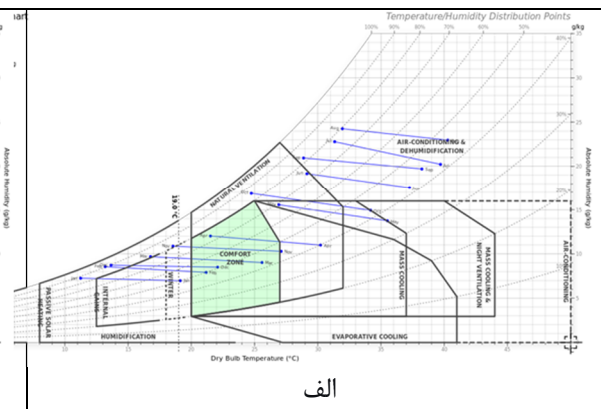
شکل ۲: نمودار شرایط اقلیمی کرمان بر اساس استاندارد ASHRAE-55؛ الف) ۲۰۲۰، ب) ۲۱۰۰

می‌کند، اما راهکارهای طراحی متفاوتی (مانند گرمایش خورشیدی فعال و غیرفعال، سرمایش تبخیری، تهویه طبیعی، مصالح با جرم حرارتی بالا و...) را پیشنهاد می‌دهد (Roshan et al., 2017). در این پژوهش، از نمودار گیونی به‌عنوان ابزار مکمل برای تأیید و تکمیل یافته‌های نمودار ASHRAE-55 استفاده شده است. شکل ۳ نمونه‌ای از مقایسه نمودار مذکور را برای شهر بوشهر در بازه دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) تا دوره آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰) نشان می‌دهد.

نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیونی: نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیونی (Givoni Building Bioclimatic Chart) یکی دیگر از ابزارهای تحلیل اقلیمی است که توسط باروچ گیونی (Givoni Baruch) جهت استخراج راهبردهای طراحی اقلیمی در معماری توسعه یافته است (Givoni, 1998; Milne, 1979). این مدل نیز مانند نمودار ASHRAE-55، محدوده آسایش حرارتی را بر اساس دما و رطوبت بر روی نمودار سایکرومتریک تعیین



ب



الف

شکل ۳: نمودار زیست‌اقلیمی گیونی شهر بوشهر؛ الف) ۲۰۲۰، ب) ۲۱۰۰

استفاده از سناریوی RCP4.5، فایل‌های آب‌وهوایی آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰) نیز تولید شد.

- گام دوم- تحلیل داده‌ها: فایل‌های آب‌وهوایی تولیدشده برای هر شهر در دو بازه زمانی موجود و آینده وارد نرم‌افزار Climate Consultant 6 شد. همچنین نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیونی بر اساس ابزار تحت وب ترسیم و تحلیل شد. برای

فرایند تحلیل داده‌ها: فرایند تحلیل داده‌های

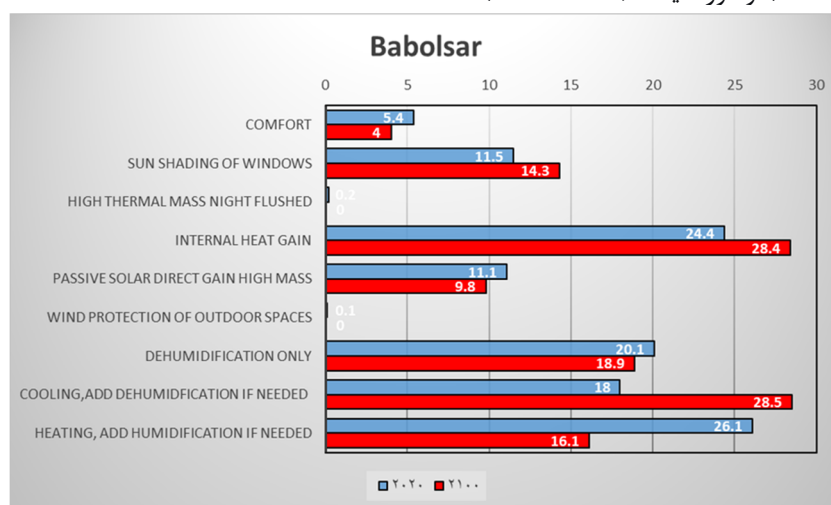
اقلیمی در این پژوهش در چند گام انجام شده است:

- گام اول- استخراج داده‌های اقلیمی: برای هر یک از ۱۱ شهر مورد مطالعه، فایل‌های آب‌وهوایی TMY مربوط به وضع موجود (۱۹۹۱-۲۰۲۰) از نرم‌افزار Meteornorm 8 استخراج گردید. سپس با

• گام چهارم - تحلیل مقایسه‌ای و تدوین راهکارها: پس از تحلیل داده‌های هر شهر، نتایج در پنج پهنه اقلیمی دسته‌بندی و مقایسه شد. سپس بر اساس تغییرات مشاهده‌شده در راهکارهای طراحی، دستورالعمل‌های طراحی همساز با اقلیم برای هر پهنه تدوین گردید. شکل ۳ نمونه‌ای از مقایسه راهبردهای طراحی اقلیمی شهر بابلسر را در دو دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و دوره آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰) نشان می‌دهد.

هر شهر، دو نوع تحلیل انجام گرفت: تحلیل بر اساس نمودار استاندارد ASHRAE-55 / تحلیل بر اساس نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیونی

• گام سوم - استخراج شاخص‌های کلیدی: از خروجی‌های نرم‌افزار، شاخص‌های زیر برای هر شهر استخراج گردید: الف) درصد ساعات سال در محدوده آسایش حرارتی، ب) سهم هر راهکار طراحی (سایبان، تهویه طبیعی، جرم حرارتی، گرمایش فعال، سرمایش فعال و غیره) در تأمین آسایش، ج) تغییرات شاخص‌های مذکور بین دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) و دوره آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰)



شکل ۳: مقایسه راهبردهای طراحی اقلیمی شهر بابلسر میان دو دوره منتهی به ۲۰۲۰ و ۲۱۰۰

مورد مطالعه تا دوره منتهی به ۲۱۰۰ کاهش می‌یابد (جدول ۳). شدت این کاهش در پهنه‌های مختلف متفاوت است.

نتایج نشان می‌دهد که بیشترین کاهش فراوانی آسایش مربوط به پهنه‌های گرم و مرطوب (بندرلنگه با کاهش ۶/۲ درصدی) و خزری (رامسر با کاهش ۳/۳ درصدی) است. در مقابل، در برخی شهرهای پهنه گرم و خشک مانند کرمان، افزایش فراوانی آسایش (۲/۸ درصد) مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از کاهش رطوبت نسبی در این مناطق باشد.

### یافته‌های پژوهش

در این بخش، نتایج حاصل از تحلیل داده‌های اقلیمی ۱۱ شهر در پنج پهنه اقلیمی ایران با استفاده از نمودارهای استاندارد ASHRAE-55 و گیونی ارائه می‌شود. یافته‌ها در دو بخش اصلی شامل تغییرات حد آسایش حرارتی و تغییرات راهبردهای طراحی اقلیمی دسته‌بندی شده است.

**تغییرات فراوانی رخدادهای آسایش حرارتی:** نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که تحت تأثیر تغییرات اقلیم (سناریوی RCP4.5)، درصد ساعات سال که در محدوده آسایش حرارتی قرار دارند در بیشتر شهرهای

جدول ۳: تغییرات فراوانی آسایش حرارتی در شهرهای مورد مطالعه (بر اساس نمودار استاندارد ASHRAE-55)

| پهنه اقلیمی      | شهر        | فراوانی آسایش ۲۰۲۰ (درصد) | فراوانی آسایش ۲۱۰۰ (درصد) | تغییرات (درصد) |
|------------------|------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| خزری             | رامسر      | ۵/۱                       | ۱/۸                       | -۳/۳           |
| خزری             | بابلسر     | ۵/۴                       | ۴                         | -۱/۴           |
| سرد و کوهستانی   | ارومیه     | ۱۵/۴                      | ۱۵/۷                      | +۰/۳           |
| سرد و کوهستانی   | بجنورد     | ۱۷/۸                      | ۱۸                        | +۰/۲           |
| گرم و خشک        | مشهد       | ۱۸/۵                      | ۱۸/۸                      | +۰/۳           |
| گرم و خشک        | یزد        | ۲۰/۸                      | ۱۸/۲                      | -۲/۶           |
| گرم و خشک        | کرمان      | ۱۹/۷                      | ۲۲/۵                      | +۲/۸           |
| گرم و نیمه مرطوب | ایران شهر  | ۱۹/۵                      | ۱۸                        | -۱/۵           |
| گرم و نیمه مرطوب | دزفول      | ۱۸/۴                      | ۱۷/۶                      | -۰/۸           |
| گرم و مرطوب      | بندرلنگه   | ۲۰/۶                      | ۱۴/۴                      | -۶/۲           |
| گرم و مرطوب      | بندر بوشهر | ۱۷/۲                      | ۱۷/۸                      | +۰/۶           |

تغییرات راهبردهای طراحی اقلیمی: تحلیل نمودارهای استاندارد ASHRAE-55 و گیونی نشان می‌دهد که تغییرات اقلیم تأثیر معناداری بر سهم هر یک از راهبردهای طراحی در تأمین آسایش حرارتی دارد. در ادامه، مهم‌ترین تغییرات در هر پهنه اقلیمی ارائه می‌شود.

**پهنه خزری (رامسر، بابلسر):** در پهنه خزری (رامسر و بابلسر)، نتایج تحلیل نمودارهای استاندارد ASHRAE-55 و گیونی نشان می‌دهد که تغییرات اقلیم با افزایش دما و تغییر در الگوی رطوبت، منجر به دگرگونی معنادار در اولویت راهبردهای طراحی اقلیمی شده است. به گونه‌ای که نیاز به استفاده از سایبان‌های خورشیدی در هر دو ایستگاه افزایش یافته و این افزایش در رامسر حدود ۲/۳ درصد و در بابلسر ۲/۸ درصد برآورد می‌شود، که بیانگر تشدید بار تابشی و ضرورت کنترل آن است. هم‌زمان، نیاز به سیستم‌های سرمایشی فعال همراه با رطوبت‌زدایی نیز روند افزایشی قابل توجهی را نشان می‌دهد، به طوری که این نیاز در رامسر حدود ۱۰/۳ درصد و در بابلسر ۱۰/۵ درصد افزایش یافته است؛ امری که نشان‌دهنده تقویت شرایط گرم و مرطوب و کاهش کارایی تهویه طبیعی در تأمین آسایش حرارتی است. در مقابل، سهم راهبردهای گرمایشی به طور محسوسی کاهش یافته است، به طوری که نیاز به گرمایش در رامسر از ۲۸/۹

درصد به ۱۷/۶ درصد تنزل پیدا کرده که حاکی از کاهش شدت و فراوانی دوره‌های سرد سال است. همچنین، نیاز به بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی غیرفعال، از طریق دریافت و ذخیره تابش خورشید در جرم حرارتی، کاهش یافته که این موضوع نیز در راستای کاهش تقاضای گرمایشی و تغییر در تراز انرژی ساختمان قابل تفسیر است.

**پهنه سرد و کوهستانی (ارومیه، بجنورد):** در پهنه سرد و کوهستانی (ارومیه و بجنورد)، تغییر اقلیم عمدتاً با افزایش حداقل دمای زمستان همراه بوده و منجر به بازتوزیع سهم راهبردهای گرمایشی و سرمایشی شده است. نیاز به سیستم‌های گرمایش فعال کاهش قابل توجهی یافته، به گونه‌ای که در ارومیه سهم این راهبرد از ۳۸/۸ درصد به ۳۱/۴ درصد رسیده است. در مقابل، نیاز به سایبان‌های خورشیدی روند صعودی داشته و این افزایش در ارومیه حدود ۳/۸ درصد و در بجنورد ۳ درصد برآورد می‌شود. یکی از مهم‌ترین دگرگونی‌ها، ظهور نیاز به سرمایش فعال در مناطقی است که پیشتر چنین نیازی وجود نداشت؛ به طوری که در ارومیه، سهم سیستم‌های سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی در دوره منتهی به ۲۱۰۰ به ۳/۴ درصد می‌رسد. هم‌زمان، نیاز به گرمایش خورشیدی غیرفعال (دریافت و ذخیره تابش در جرم حرارتی) روند کاهشی دارد و در ارومیه از ۲۶/۶ درصد به ۲۳/۴

درصد تنزل یافته است. این الگو نشان می‌دهد که اقلیم سرد و کوهستانی نیز به تدریج از شدت نیاز به تأمین گرمایش کاسته و با تقاضای فزاینده برای خنک‌سازی روبه‌رو خواهد شد.

**پهنه گرم و خشک (مشهد، یزد، کرمان):** در پهنه گرم و خشک (مشهد، یزد و کرمان)، تغییر اقلیم با افزایش محسوس دمای تابستان و کاهش نسبی رطوبت همراه است که مهم‌ترین تأثیر خود را بر نوع سیستم سرمایشی نشان می‌دهد. در مشهد و کرمان، استفاده از کولرهای تبخیری تک‌مرحله‌ای (کولر آبی) به شدت کاهش یافته و کولرهای تبخیری دو مرحله‌ای جایگزین آن می‌شوند. برای نمونه، در کرمان نیاز به سیستم‌های تبخیری تک‌مرحله‌ای از ۱۹/۶ درصد در وضع موجود به صفر در دوره منتهی به ۲۱۰۰ رسیده و هم‌زمان نیاز به سیستم‌های دو مرحله‌ای به ۲۹/۴ درصد افزایش یافته است. همچنین نیاز به سایبان‌های خورشیدی در هر سه شهر افزایش می‌یابد (مشهد ۳/۴ درصد، یزد ۱/۹ درصد و کرمان ۴/۴ درصد) که نشان‌دهنده تشدید بار تابشی است. در مقابل، نیاز به سیستم‌های گرمایشی (به عنوان نمونه در کرمان ۶/۶ درصد) و همچنین نیاز به گرمایش خورشیدی غیرفعال در هر سه شهر کاهش می‌یابد که حاکی از کوتاه‌تر شدن دوره‌های سرد و کاهش وابستگی به راهبردهای غیرفعال گرمایشی است.

**پهنه گرم و نیمه‌مرطوب (ایران‌شهر، دزفول):** در پهنه گرم و نیمه‌مرطوب (ایران‌شهر و دزفول)، تغییر اقلیم با افزایش هم‌زمان دما و رطوبت همراه است که عمیق‌ترین تأثیر را بر جایگزینی سیستم‌های سرمایشی بر جای می‌گذارد. نیاز به سیستم‌های سرمایش تبخیری در ایران‌شهر به طور چشمگیری از ۴۹/۴ درصد به ۲۵/۹ درصد کاهش یافته و در مقابل، نیاز به سیستم‌های سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی از ۵/۱ درصد به ۱۸/۲ درصد افزایش می‌یابد. این روند در دزفول نیز مشاهده می‌شود، به‌طوری که سهم سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی از ۱۵/۲ درصد به ۳۳/۵ درصد می‌رسد. هم‌زمان، نیاز به سایبان‌های خورشیدی افزایش جزئی دارد (ایران‌شهر ۲/۵ درصد،

دزفول ۲/۳ درصد). نیاز به گرمایش فعال نیز کاهش قابل توجهی نشان می‌دهد؛ در ایران‌شهر از ۳/۳ درصد به ۱/۲ درصد و در دزفول از ۸/۶ درصد به ۳/۹ درصد تنزل یافته است. یکی دیگر از دگرگونی‌های قابل توجه، ظهور نیاز به تهویه طبیعی خنک‌کننده در دزفول است (با سهم ۴ درصد در دوره منتهی به ۲۱۰۰) که در وضع موجود وجود نداشت؛ این امر نشان می‌دهد که در برخی شرایط، تهویه طبیعی می‌تواند به عنوان راهبرد مکمل در کنار سرمایش فعال ظاهر شود.

**پهنه گرم و مرطوب (بندرلنگه، بندر بوشهر):** در پهنه گرم و مرطوب (بندرلنگه و بندر بوشهر)، تغییر اقلیم شدیدترین تأثیر را بر راهبردهای طراحی اقلیمی داشته است. نیاز به سیستم‌های سرمایش فعال همراه با رطوبت‌زدایی افزایش چشمگیری یافته و در بندرلنگه از ۵۵/۲ درصد به ۶۰/۴ درصد و در بندر بوشهر از ۴۶/۶ درصد به ۵۳/۴ درصد رسیده است. در مقابل، نیاز به سیستم‌های گرمایشی به شدت کاهش یافته، به‌طوری که در بندرلنگه از ۰/۱ درصد به صفر و در بندر بوشهر از ۳/۲ درصد به ۱/۱ درصد تنزل پیدا کرده است. نیاز به گرمایش خورشیدی غیرفعال (دریافت و ذخیره تابش در جرم حرارتی) نیز روند کاهشی آشکاری دارد. در عین حال، نیاز به تهویه طبیعی خنک‌کننده در بندرلنگه افزایش جزئی (از ۳/۶ درصد به ۳/۸ درصد) داشته که نشان می‌دهد تهویه طبیعی به تنهایی قادر به پاسخگویی به نیازهای سرمایشی نیست و تنها به عنوان راهبرد مکمل می‌تواند مؤثر واقع شود. این الگو نشان می‌دهد که در اقلیم گرم و مرطوب، تأمین آسایش حرارتی در آینده به شدت به سیستم‌های سرمایش فعال وابسته خواهد بود و راهبردهای غیرفعال سنتی کارایی خود را تا حد زیادی از دست می‌دهند.

جدول ۴ خلاصه تغییرات راهبردهای طراحی زیست اقلیمی در پهنه‌های مورد مطالعه را از دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) تا دوره آینده (۲۰۷۱-۲۱۰۰) جمع‌بندی می‌کند.

جدول ۴: خلاصه تغییرات راهبردهای طراحی اقلیمی در پنج پهنه اصلی ایران (۲۱۰۰ → ۲۰۲۰)

| پهنه اقلیمی      | سرمایش فعال                           | گرمایش فعال  | سایبان  | گرمایش خورشیدی غیرفعال | تهویه طبیعی  |
|------------------|---------------------------------------|--------------|---------|------------------------|--------------|
| خزری             | ↑↑افزایش                              | ↓↓کاهش       | ↑افزایش | ↓کاهش                  | -            |
| سرد و کوهستانی   | ↑افزایش (ظهور)                        | ↓کاهش        | ↑افزایش | ↓کاهش                  | -            |
| گرم و خشک        | تغییر نوع (تک مرحله‌ای ← دو مرحله‌ای) | ↓کاهش        | ↑افزایش | ↓کاهش                  | -            |
| گرم و نیمه مرطوب | تغییر نوع (تبخیری ← رطوبت زدا)        | ↓↓کاهش       | ↑افزایش | ↓کاهش                  | ↑افزایش      |
| گرم و مرطوب      | ↑↑افزایش شدید                         | ↓↓کاهش (حذف) | ↑افزایش | ↓کاهش                  | ↑افزایش جزئی |

- یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات اقلیم تا دوره منتهی به ۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP4.5 تأثیرات قابل توجهی بر آسایش حرارتی و راهبردهای طراحی اقلیمی در تمام پهنه‌های ایران خواهد داشت. مهم‌ترین یافته‌ها عبارتند از:
- کاهش حد آسایش حرارتی در بیشتر شهرهای مورد مطالعه، به‌ویژه در پهنه‌های گرم و مرطوب و خزری.
- افزایش نیاز به سرمایش فعال در تمام پهنه‌ها، با شدیدترین افزایش در پهنه‌های گرم و مرطوب و گرم و نیمه مرطوب.
- کاهش نیاز به گرمایش فعال در تمام پهنه‌ها، به‌ویژه در پهنه‌های گرم و مرطوب و خزری.
- تغییر نوع سیستم‌های سرمایشی در پهنه‌های گرم و خشک (از تک مرحله‌ای به دو مرحله‌ای) و گرم و نیمه مرطوب (از تبخیری به رطوبت زدا).
- افزایش نیاز به سایبان در تمام پهنه‌ها به دلیل افزایش تابش خورشید و دمای هوا.
- کاهش نقش راهبردهای غیرفعال گرمایشی (دریافت تابش خورشید و ذخیره در جرم حرارتی) در تمام پهنه‌ها.
- افزایش نقش تهویه طبیعی در برخی پهنه‌ها (گرم و نیمه مرطوب و گرم و مرطوب) به عنوان راهبرد مکمل.
- بر اساس یافته‌های پژوهش، دستورالعمل‌های طراحی مطابق جدول ۵ برای هر پهنه اقلیمی پیشنهاد می‌شود.

جدول ۵: جمع‌بندی دستورالعمل‌های طراحی اقلیمی بر اساس سناریوی تغییر اقلیم در پهنه‌های ایران

| پهنه اقلیمی           | دستورالعمل‌های طراحی اقلیمی                                                                                                                                                               |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| پهنه خزری             | تأکید بر بازشوهای متقاطع با ارتفاع بلند، سقف شیبدار با پیش‌آمدگی مناسب، استفاده از سایبان‌های افقی، ایوان‌ها و تراس‌های حفاظتی، و استفاده از مصالح سبک و متخلخل                           |
| پهنه سرد و کوهستانی   | تأکید بر عایق‌بندی حرارتی جداره‌ها، استفاده از بازشوهای کوچک با سایبان‌های لوور، بهره‌گیری از جرم حرارتی بالا در مصالح داخلی، طراحی پلان با فضاهای واسط در جداره‌های غربی                 |
| پهنه گرم و خشک        | تأکید بر استفاده از بادگیر، سقف‌های مسطح با رنگ روشن، حیاط مرکزی، فضاهای نیمه‌باز همراه با فواره‌های مه‌پاش، استفاده از مصالح با جرم حرارتی بالا، و استفاده از کولرهای تبخیری دو مرحله‌ای |
| پهنه گرم و نیمه مرطوب | تأکید بر تهویه متقاطع، پلان‌های یک‌لایه با کشیدگی شرقی-غربی، استفاده از زیرزمین، سایبان‌های افقی با پره‌های عمودی، و استفاده از سیستم‌های سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی                     |
| پهنه گرم و مرطوب      | تأکید بر ایوان‌های گسترده، سقف‌های بلند، بازشوهای بلند متقابل، فضاهای نیمه‌باز وسیع، مصالح سبک، و استفاده از سیستم‌های سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی                                        |

### بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات اقلیم تحت سناریوی RCP4.5 منجر به دگرگونی بنیادین در الگوی آسایش حرارتی و راهبردهای طراحی اقلیمی در پنج پهنه اصلی ایران خواهد شد. به‌طور کلی، نتایج حاکی از کاهش حد آسایش حرارتی در اغلب شهرهای مورد مطالعه تا افق منتهی به ۲۱۰۰ است؛ به‌طوری‌که این کاهش در پهنه‌های گرم و مرطوب (مانند بندرلنگه با ۶/۲ درصد) و خزری (رامسر با ۳/۳ درصد) بیشترین شدت را دارد. این روند بیانگر آن است که شرایط آسایش طبیعی به‌تدریج محدودتر شده و وابستگی به مداخلات طراحی و سیستم‌های مکانیکی افزایش خواهد یافت. این یافته با مطالعات بین‌المللی، از جمله پژوهش توتکابونی و همکاران (Tootkaboni, Ballarini and Corrado, 2021) در میلان که افزایش ۲۵۵ درصدی تقاضای سرمایشی و کاهش ۳۰ درصدی تقاضای گرمایشی را گزارش کرده‌اند، و نیز مطالعه رودریگز و فرناندز (Rodrigues and Fernandes, 2020) در پرتغال که پیش‌بینی افزایش چشمگیر نیاز به سرمایش و کاهش نیاز به گرمایش را کرده‌اند، همخوانی دارد. یافته‌های پژوهش حاضر تأیید می‌کند که این روند در ایران نیز با شدت‌های متفاوت در پهنه‌های مختلف اقلیمی رخ خواهد داد.

در همین راستا، افزایش نیاز به سرمایش فعال در تمامی پهنه‌های اقلیمی، یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم محسوب می‌شود. ظهور نیاز به سرمایش در پهنه سرد و کوهستانی (ارومیه)، که در شرایط اقلیمی کنونی فاقد چنین نیازی است، نشان‌دهنده تغییر اساسی در الگوی مصرف انرژی ساختمان‌ها در آینده است. این یافته با نتایج مطالعه روشن و همکاران (Roshan et al., 2019) در ایران که پیش‌بینی کردند استفاده از استراتژی‌های گرمایش کاهش و استراتژی‌های سرمایش افزایش می‌یابد، همسو می‌باشد.

از سوی دیگر، نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم نه تنها میزان تقاضای انرژی، بلکه نوع و ماهیت

سیستم‌های مورد نیاز را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال، در پهنه گرم و خشک (کرمان)، سیستم‌های تبخیری تک‌مرحله‌ای به‌طور کامل حذف و کولرهای تبخیری دو مرحله‌ای جایگزین می‌شوند. همچنین در پهنه‌های گرم و نیمه‌مرطوب (ایران‌شهر و دزفول)، سامانه‌های سرمایش تبخیری به‌تدریج با سیستم‌های سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی جایگزین می‌شوند. این تحول، ناشی از افزایش همزمان دما و رطوبت بوده و نشان می‌دهد که طراحی سیستم‌های سرمایشی آینده باید به‌طور همزمان به کنترل دما و رطوبت توجه داشته باشد. این یافته با مطالعه آندریک و همکاران (Andrić, Kamal and Al-Ghamdi, 2020) در قطر که در آب‌وهوای گرم، افزایش دما و رطوبت را عامل افزایش شدید نیاز به سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی معرفی کرده‌اند، تأیید می‌شود.

همزمان، کاهش چشمگیر نیاز به گرمایش فعال (به عنوان نمونه در ارومیه از ۳۸/۸ درصد به ۳۱/۴ درصد) و نیز کاهش نقش راهبردهای غیرفعال گرمایشی، از جمله دریافت و ذخیره تابش خورشید در جرم حرارتی، بیانگر کاهش اهمیت استراتژی‌های گرمایشی در تراز انرژی ساختمان‌هاست. این تغییرات در مجموع نشان‌دهنده جابه‌جایی بار انرژی از گرمایش به سرمایش در مقیاس ملی است. این نتیجه با یافته‌های بای و وانگ (Bai and Wang, 2019) در چین که نشان دادند نیاز به دریافت تابش خورشید و ذخیره در جرم حرارتی تحت تأثیر تغییرات اقلیم کاهش می‌یابد، همخوانی دارد.

علاوه بر این، افزایش نیاز به سایبان‌های خورشیدی در تمامی پهنه‌ها (به عنوان نمونه در کرمان ۴/۴ درصد، در ارومیه ۳/۸ درصد و در رامسر ۳/۲ درصد) نشان می‌دهد که کنترل تابش خورشید به یکی از ارکان اصلی طراحی اقلیمی در آینده تبدیل خواهد شد. این یافته با نتایج مطالعات سیلوا و همکاران (Silva et al., 2022) در سوییس که نشان دادند سایه‌اندازی پنجره‌ها می‌تواند تقاضای سرمایش را تا ۷۱ درصد کاهش دهد، همسو است. در کنار آن، تهویه طبیعی، به‌ویژه در پهنه‌های گرم و نیمه‌مرطوب

آینده طراحی اقلیمی در ایران مستلزم بازنگری اساسی در اولویت‌ها، با تأکید بر کاهش بار سرمایشی، بهینه‌سازی مصرف انرژی، و تطبیق‌پذیری با شرایط اقلیمی در حال تغییر است. دستورالعمل‌های پیشنهادی این پژوهش می‌تواند به‌عنوان چارچوبی کاربردی برای طراحان و برنامه‌ریزان در مواجهه با چالش‌های اقلیمی آینده مورد استفاده قرار گیرد.

### محدودیت‌ها و پیشنهادات برای پژوهش‌های

**آینده:** پژوهش حاضر دارای محدودیت‌هایی است که می‌تواند مسیر پژوهش‌های آتی را مشخص کند. اول، استفاده از تنها یک سناریوی اقلیمی (RCP4.5) انجام شده است و پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده سناریوهای دیگر (به ویژه RCP8.5) نیز بررسی شود. دوم، نمودارهای زیست‌اقلیمی مورد استفاده (ASHRAE و گیونی) خروجی‌های ساکن (steady-state) ارائه می‌دهند و استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دینامیک حرارتی (مانند EnergyPlus) می‌تواند دقت نتایج را افزایش دهد. سوم، پیشنهاد استفاده از سیستم‌های تبخیری دو مرحله‌ای در پهنه گرم و خشک با چالش کمبود آب مواجه است و پژوهش‌های بین رشته‌ای برای یافتن جایگزین‌های پایدارتر ضروری می‌باشد. چهارم، شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌های مسکونی مبتنی بر راهبردهای طراحی پیشنهادی در این پژوهش (جدول ۵) با استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته مانند EnergyPlus، می‌تواند میزان دقیق صرفه‌جویی مصرف انرژی را کمی کرده و کاربردپذیری نتایج را افزایش دهد. پنجم، پژوهش حاضر از سناریوهای نسل پنجم (RCP) استفاده کرده است، در حالی که گزارش ششم IPCC سناریوهای جدید (SSP) را معرفی کرده است. در زمان انجام پژوهش، داده‌های آب و هوایی آینده مبتنی بر SSP در قالب فایل‌های سال معمولی هواشناسی (TMY) برای شهرهای ایران در دسترس نبود. با آماده‌شدن زیرساخت داده‌های SSP، پیشنهاد می‌شود تأثیر تغییرات اقلیم بر راهبردهای طراحی معماری مبتنی بر سناریوهای جدید نیز در تحقیقات آتی بررسی شود.

و گرم و مرطوب، همچنان به‌عنوان یک راهبرد مکمل نقش‌آفرینی می‌کند (ظهور نیاز به تهویه طبیعی در دزفول با سهم ۴ درصد در دوره منتهی به ۲۱۰۰). با این حال، همانطور که همدی و همکاران (Hamdy et al., 2017) اشاره کرده‌اند، با افزایش گرمایش جهانی، پتانسیل خنک‌کننده تهویه‌ای کاهش می‌یابد و ممکن است برای نگه داشتن دمای داخلی در محدوده آسایش کافی نباشد. بنابراین، ترکیب هوشمندانه راهبردهای غیرفعال و فعال، به‌عنوان یک رویکرد ضروری در طراحی آینده مطرح می‌شود.

نکته مهم دیگر، ناهمگونی پاسخ پهنه‌های اقلیمی مختلف به تغییرات اقلیم است. در حالی که پهنه‌های گرم و مرطوب و گرم و نیمه‌مرطوب بیشترین تغییرات را تجربه می‌کنند، پهنه سرد و کوهستانی کمترین میزان تغییر را نشان می‌دهد. این تفاوت‌ها بیانگر آن است که تدوین راهبردهای طراحی اقلیمی نمی‌تواند به‌صورت یکسان برای کل کشور انجام شود و نیازمند رویکردی منطقه‌محور و مبتنی بر ویژگی‌های خاص هر پهنه اقلیمی است. این یافته با نتایج مطالعه بای و وانگ (Bai and Wang, 2019) که نشان دادند تغییرات تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی در مناطق مختلف اقلیمی چین متفاوت است، همخوانی دارد.

در نهایت، نوآوری این پژوهش در ارائه یک تحلیل یکپارچه و مقایسه‌ای از پنج پهنه اقلیمی ایران تحت یک سناریوی اقلیمی مشخص (RCP4.5) و ترجمه این تحلیل به راهبردهای عملی طراحی معماری است. بر اساس یافته‌های پژوهش، دستورالعمل‌های طراحی پیشنهادی (که به طور خلاصه در جدول ۵ در بخش یافته‌ها ارائه شده است) شامل تأکید بر بازشوهای متقاطع و سایبان در پهنه خزری، عایق‌بندی حرارتی و استفاده از سایبان‌های لوور در پهنه سرد و کوهستانی، بهره‌گیری از بادگیر و کولرهای تبخیری دو مرحله‌ای در پهنه گرم و خشک، تهویه متقاطع و سرمایش همراه با رطوبت‌زدایی در پهنه گرم و نیمه‌مرطوب، و ایوان‌های گسترده با سیستم‌های سرمایش فعال در پهنه گرم و مرطوب می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که

## منابع

1. Andrić, I. *et al.* (2017) 'The impact of climate change on building heat demand in different climate types', *Energy and Buildings*, 149, pp. 225–234.
2. Andrić, I. *et al.* (2019) 'A review of climate change implications for built environment: Impacts, mitigation measures and associated challenges in developed and developing countries', *Journal of Cleaner Production*, 211, pp. 83–102.
3. Andrić, I., Kamal, A. and Al-Ghamdi, S.G. (2020) 'Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate: Case study of Qatar', *Energy Reports*, 6, pp. 2476–2489.
4. Bai, L. and Wang, S. (2019) 'Definition of new thermal climate zones for building energy efficiency response to the climate change during the past decades in China', *Energy*, 170, pp. 709–719.
5. Bamdad, K. *et al.* (2022) 'Impact of climate change on energy saving potentials of natural ventilation and ceiling fans in mixed-mode buildings', *Building and Environment*, 209, p. 108662.
6. Berardi, U. and Jafarpur, P. (2020) 'Assessing the impact of climate change on building heating and cooling energy demand in Canada', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, p. 109681.
7. Calama-González, C.M., Suárez, R. and León-Rodríguez, Á.L. (2022) 'Mitigation of climate change in Mediterranean existing social dwellings through numerical optimization of building stock models', *Energy and Buildings*, 266, p. 112109.
8. Camilleri, M., Jaques, R. and Isaacs, N. (2001) 'Impacts of climate change on building performance in New Zealand', *Building Research & Information*, 29(6), pp. 440–450.
9. Eddy, J., Alspach, P. F., Arens, E. A., Hartman, T. B., Rimmer, J., Rose, D. M., Smith, A. R., Stadler, A. L., & Rice, D. J. (2023). *ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal environmental conditions for human occupancy*. In ASHRAE Standard. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
10. Gerçek, M. and Durmuş Arsan, Z. (2019) 'Energy and environmental performance based decision support process for early design stages of residential buildings under climate change', *Sustainable Cities and Society*, 48, p. 101580.
11. Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. In John Wiley & Sons.
12. Hamdy, M. *et al.* (2017) 'The impact of climate change on the overheating risk in dwellings—A Dutch case study', *Building and Environment*, 122, pp. 307–323.
13. Marsh, A. J. (2025). *PD: Psychrometric Chart web app*. Andrew Marsh. <https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html>
14. Milne, M., & Givoni, B. (1979). *Architectural design based on climate*. In W. Donald (Ed.), *Energy conservation through building design* (pp. 96–113). McGraw-Hill.
15. Milne, M., & Liggett, R. (2016). *Climate Consultant 6.0*. UCLA Energy Design Tools Group. <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu>
16. Moazami, A. *et al.* (2019) 'Towards climate robust buildings: An innovative method for designing buildings with robust energy performance under climate change', *Energy and Buildings*, 202, p. 109378.
17. Rodrigues, E. and Fernandes, M.S. (2020) 'Overheating risk in Mediterranean residential buildings: Comparison of current and future climate scenarios', *Applied Energy*, 259, p. 114110.
18. Roshan, G. R., Farrokhzad, M., & Attia, S. (2017). Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran's urban settlements. *Building and Environment*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.023>
19. Roshan, G.R., Oji, R. and Attia, S. (2019) 'Projecting the impact of climate change on design recommendations for residential buildings in Iran', *Building and Environment*, 155, pp. 283–297.

20. Shen, J. *et al.* (2020) 'An early-stage analysis of climate-adaptive designs for multi-family buildings under future climate scenario: Case studies in Rome, Italy and Stockholm, Sweden', *Journal of Building Engineering*, 27, p. 100972.
  21. Silva, R. *et al.* (2022) 'Opportunities for passive cooling to mitigate the impact of climate change in Switzerland', *Building and Environment*, 208, p. 108574.
  22. Silvero, F. *et al.* (2019) 'Impact assessment of climate change on buildings in Paraguay—Overheating risk under different future climate scenarios', *Building Simulation*, 12, pp. 943–960.
  23. Tootkaboni, M.P., Ballarini, I. and Corrado, V. (2021) 'Analysing the future energy performance of residential buildings in the most populated Italian climatic zone: A study of climate change impacts', *Energy Reports*, 7, pp. 8548–8560.
  24. United Nations Environment Programme (2009) *Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers*.
  25. Zou, Y. *et al.* (2021) 'Multi-objective building design optimization considering the effects of long-term climate change', *Journal of Building Engineering*, 44, p. 102904.
۲۶. مهرتاش، ا. (۱۳۹۲) طراحی یک مجتمع مسکونی با رویکرد طراحی اقلیمی در شهرک دهکده ساحلی انزلی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان.
۲۷. نوروزیان ملکی، س.، حسینی، س.ب. و رضایی، م. (۱۳۸۹) معماری در عصر تغییر اقلیم، مسکن و محیط روستا، ۱۲۹، صص ۲۰–۳۱.
۲۸. طاهباز، م. (۱۳۹۶) دانش اقلیمی طراحی معماری، تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی

