

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶ | تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵

نوع مقاله: پژوهشی

شماره صفحه ۴۵-۶۹

پیشنهاد اطلس زیست‌اقلیمی در ایران جهت دستیابی به راهبردهای معماری همساز با اقلیم*

محمد فرخ‌زاد

استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران (نویسنده مسئول مکاتبات)

E-mail: m.farrokhsad@gu.ac.ir

غلامرضا روشن

دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

E-mail: ghr.roshan@gu.ac.ir

چکیده

عدم انطباق ساختمان‌های جدید با محیط اقلیمی و بی‌توجهی به تأثیرات متقابل این دو منجر به مصرف لجام‌گسیخته انرژی‌های فسیلی شده است؛ بگونه‌ای که افزون بر آن، آسایش حرارتی ساکنان آن‌ها را نیز دچار اختلال می‌کند. لذا تحقیق حاضر به دنبال شناخت صحیح از نظام اقلیمی حاکم بر کشور و در نتیجه استفاده مناسب از راهکارهای مختلف تأمین سرمایش و گرمایش به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های مصرف انرژی است. در این پژوهش به منظور حصول راهکارهای مختلف تأمین فعال و غیرفعال انرژی سرمایشی و گرمایشی درون ساختمان‌ها برای شهرهای مختلف ایران، از داده‌های اقلیمی روزانه دما و رطوبت نسبی ۱۵۵ ایستگاه هواشناسی در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ استفاده گردید. به منظور ارزیابی راهبردهای زیست‌اقلیمی برای تأمین آسایش داخل ساختمان‌ها از دو نمودار بازترسیم شده زیست‌اقلیمی ساختمانی گیونی که یکی برای کشورهای در حال توسعه و دیگری کشورهای توسعه‌یافته است، استفاده گردید. با توجه به خروجی‌های حاصل از ترسیم نمودار زیست‌اقلیمی هر ایستگاه، درصد فراوانی راهبردهای مختلف طراحی زیست‌اقلیمی محاسبه و بر مبنای تحلیل خوشه‌ای، هشت گروه زیست‌اقلیمی برای ایران طبقه‌بندی گردید. در نهایت پیشنهادات طراحی اقلیمی برای هریک از هشت خوشه ایجاد شده، تدوین شده است و درصد وقوع شرایط آسایش حرارتی و هریک از راهبردهای سرمایشی و گرمایشی در این هشت پهنه مورد ارزیابی قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: طبقه‌بندی اقلیمی، طراحی زیست‌اقلیمی، آسایش حرارتی، مدیریت انرژی، معماری همساز با اقلیم

* این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «پهنه‌بندی زیست‌اقلیمی ایران در جهت مدیریت راهبردهای طراحی فعال و غیرفعال ساختمان‌ها و کاهش مصرف انرژی» به شماره ۹۶۰۰۵۹۳۵ است که توسط نگارندگان در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۸ تحت حمایت «سندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور» (National Science Foundation: INSF) انجام شده است.

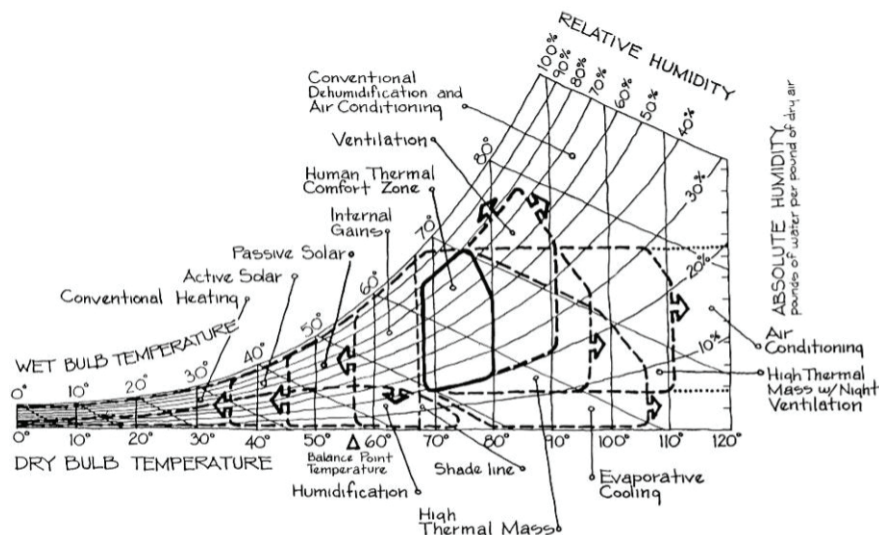
مقدمه

یکی از عوامل مؤثر بر زندگی انسان‌ها، آسایش و سلامتی جسمی با توجه به شرایط اقلیمی است. کنترل تبادل حرارت داخل و خارج ساختمان در جهت تأمین آسایش حرارتی از وظایف مهم طراحان و معماران محسوب می‌شود. امروزه مطالعه تأثیر وضعیت جوی بر روی زندگی، سلامت، آسایش و اعمال و رفتار انسان به عنوان یکی از شاخه‌های علمی با عنوان زیست‌اقلیم انسانی مطالعه و بررسی می‌شود. زیست‌اقلیم‌شناسی علم مطالعه و ارزیابی تأثیر هوا و اقلیم بر روی موجودات زنده اعم از گیاهی، جانوری و انسانی است که اقلیم‌شناسی حیاتی نیز نامیده می‌شود (اخترکاو، صدیق، و اخترکاو، ۱۳۹۱). زیست‌اقلیم‌شناسی به طور خاص اشاره به مطالعه سلامت انسان و آب و هوا دارد (Abels & Kipnis, 1998). زیست‌اقلیم‌شناسی دانش مطالعه و بررسی اثر آب و هوا و اقلیم بر ارگانیسم‌های زنده همچون گیاهان، حیوانات و انسان‌هاست (Akbarian Ronizi, Roshan, & Negahban, 2016; Roshan, Samakosh, & Orosa, 2016).

در مجموعه‌های شهری، برای درک رابطه شرایط طبیعی و بیولوژیکی مورد نیاز جهت رسیدن به شرایط مطلوب آسایش، زیست‌اقلیم‌شناسی علمی ضروری محسوب می‌شود. مفهوم و راهبردهای طراحی زیست‌اقلیمی در ساختمان‌ها شامل بسیاری از رشته‌ها، از جمله فیزیک، بیولوژی انسان، اقلیم‌شناسی و فیزیک ساختمان است (Hussein & Jamaludin, 2015). هدف نهایی رویکرد زیست‌اقلیمی در طراحی ساختمان، دستیابی به سطح قابل قبولی از آسایش برای اشخاص در ساختمان است (Zain-Ahmed, Sayigh, Surendran, & Othman, 1998). منظور از شرایط آسایش مجموعه شرایطی است که از نظر حرارتی، حداقل برای ۸۰ درصد از افراد قابل تحمل باشد، یا به عبارت دیگر انسان در آن شرایط احساس سرما و گرما نکند (اخترکاو، صدیق، و اخترکاو، ۱۳۹۱). در حقیقت مفهوم راحتی شامل مجموعه‌ای از شرایط محیط است که گرمای آن برای ۸۰ درصد از مردم قابل تحمل باشد. در واقع، آسایش حرارتی آنجاست که رضایت جامعی از محیط حرارتی وجود دارد، یعنی اکثر مردم نه احساس می‌کنند خیلی گرم هستند و نه خیلی سرد (CIBSE, 2006). در تعریف دیگر بر اساس استاندارد ۵۵ موسسه اشری، شرایط آسایش حرارتی انسان آن شرایط ذهنی است که رضایت از محیط حرارتی را توصیف می‌کند (Guillén-Lambea, Rodriguez-Soria, & Marin, 2017; Ashrae, 2017).

باروچ گیونی در سال ۱۹۶۹ میلادی نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی خود را بر روی نمودار سایکرومتریک عرضه کرد. او علاوه بر تعیین محدوده آسایش بر این نمودار، پیشنهادات طراحی و تأسیساتی مورد نیاز در صورت خروج شرایط از محدوده آسایش را با تعیین پهنه‌هایی در این نمودار به نمایش درآورد. مطابق نمودار زیست‌اقلیمی گیونی که به مناطق مختلفی تقسیم شده، لازم است از راهبردهایی برای دستیابی به آسایش انسان در یک ساختمان استفاده شود (Morillón-Gálvez, Saldaña-Flores, & Tejeda-Martinez, 2004). نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی می‌تواند دستورالعمل‌های طراحی ساختمان را برای به حداکثر رساندن شرایط آسایش در محیط داخلی، زمانی که درون ساختمان تأسیسات مکانیکی تهویه وجود نداشته باشد، مشخص کند (Sodha, Kaushik, & Nayak, 1981). در حقیقت نمودار زیست‌اقلیمی گیونی نشان می‌دهد که اگر شرایط دمایی و رطوبتی منطقه‌ای در محدوده آسایش باشد، در این صورت داخل ساختمانی که مطابق با شرایط اقلیمی طراحی شود، راحت و مطبوع خواهد بود (اخترکاو و همکاران، ۱۳۹۱). گیونی معیار زیست‌اقلیمی ساختمانی را با اتکا به این اصول ارائه کرد که شامل موارد زیر هستند (رازجویان، ۱۳۸۸). الف) در برخی از اقلیم‌ها دسترسی به آسایش حرارتی به کمک برخی از پدیده‌های جوی میسر است. برای مثال در اقلیم گرم و مرطوب، جریان محسوس هوا و در اقلیم گرم و خشک، نوسان دمای شب و روز می‌توانند در ایجاد وضعیت مطلوب داخل ساختمان نقش عمده ایفا کنند.

ب) نوع و میزان تأثیر ساختمان بر عوامل مؤثر در احساس آسایش، معلوم و قابل محاسبه است. با در نظر گرفتن حداکثر کارایی ساختمان در تبدیل وضعیت نامطلوب به مطلوب، اگر شرایط آب و هوایی قابل تبدیل به وضعیت مطلوب در روی نمودار سایکرومتریک پیاده شود، نمودار زیست‌اقليمی ساختمانی به دست می‌آید. راهبردهای طراحی ساختمان که در نمودار زیست‌اقليمی اولیه گیونی ذکر شده عبارتند از: «تهویه»، «سرمایش تبخیری»، «رطوبت‌زایی اضافی»، «تهویه مطبوع مکانیکی» برای شرایط گرم و داغ و «مشخصات ساختاری ساختمان» برای کنترل دمای پایین و «گرمای مصنوعی» برای شرایط خنک و سرد (Givoni, 1976). مایلین و گیونی در سال ۱۹۷۹ نمودار زیست‌اقليمی ساختمانی را اصلاح کرده و توسعه دادند، آن‌گونه که تعداد محدوده‌های بیشتری را جهت انجام توصیه‌های طراحی به مهندسان ساختمان بر آن تعیین نمودند (Roshan, Farrokhzad, & Attia, 2017). نمودار مذکور (شکل ۱) راهبردهای متعددی را اعم از فعال و غیرفعال شامل می‌شود، از جمله: «جرم حرارتی»، «جرم حرارتی همراه با تهویه شبانه»، «تهویه طبیعی و مکانیکی»، «سرمایش تبخیری»، «تهویه مطبوع همرفتی»، «رطوبت‌زدایی و تهویه مطبوع همرفتی» و «رطوبت‌زایی» برای طراحی نیازمند به سرمایش؛ و «حفظ گرمای داخل»، «گرمایش خورشیدی غیرفعال»، «گرمایش خورشیدی فعال» و «گرمایش همرفتی» برای طراحی نیازمند به گرمایش (Milne & Givoni, 1979). امروزه نمودار زیست‌اقليمی ساختمانی مایلین-گیونی به طور وسیعی در پژوهش و عمل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Attia & De Herde, 2009; Krüger & Laroca, 2010; Nguyen *et al.*, 2011; Singh, Mahapatra, & Atreya, 2007; Visitsak, 2007). این نمودار می‌تواند ضمن انتخاب شرایط خاص آب و هوایی، به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری در مورد راهکارهای مناسب طراحی زیست‌اقليمی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، این نمودار یک ابزار تجزیه و تحلیل قبل از طراحی است که می‌تواند به عنوان یک راهنما برای مرحله طراحی استفاده شود (Zuhairy & Sayigh, 1993). لازم به ذکر است که برای خلق یک طراحی صفر-انرژی، ترکیبی صحیح از سیستم‌های فعال و غیرفعال، انرژی‌های تجدیدپذیر و ادغام سیستم نظارت مورد نیاز است (Ascione *et al.*, 2016). نمودار مایلین-گیونی محدودیت‌های مؤثر هر راهبرد طراحی را برای تأمین نیازهای شرایط آسایش داخلی محیط تعیین می‌کند (Visitsak & Haberl, 2016).



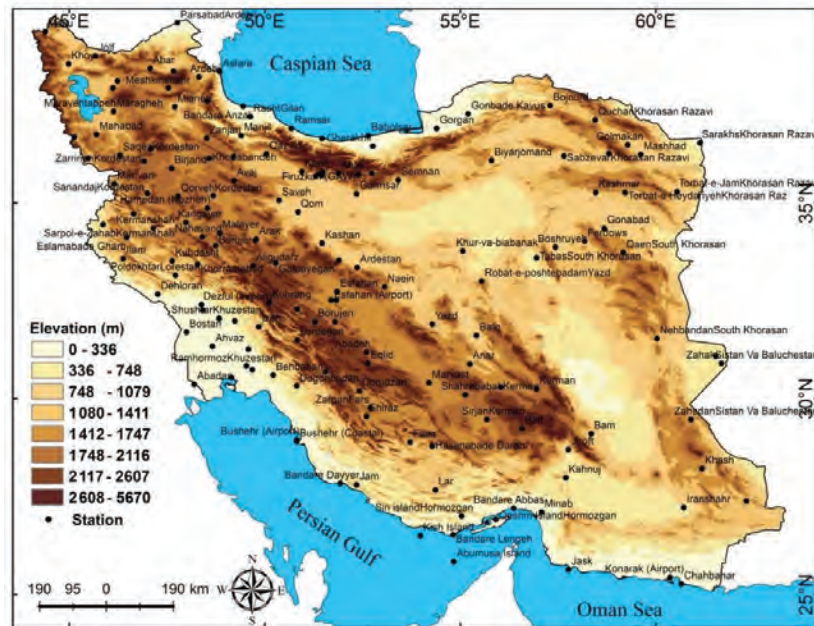
شکل ۱. نمودار زیست‌اقليمی ساختمانی مایلین-گیونی

منبع: Watson, 1993

تحقیقات بعدی گیونی در خصوص سرمایه‌های غیرفعال ساختمان‌های کم‌انرژی اطلاعات بیشتری فراهم کرد و مبانی علمی بهتری برای تعریف شرایط آب و هوایی که تحت آن می‌توان راهبردهای مختلف طراحی آسایش تابستانی را اعمال کرد، ارائه نمود (Givoni, 1991). همچنین گیونی راهبردها و مفاهیم جدیدی را همچون «سرمایش تبخیری مستقیم و غیرمستقیم» تعریف نمود (Givoni, 1994). آخرین مطالعات گیونی نشان داد که برای کشورهای در حال توسعه که در اقلیم گرم و خشک واقع هستند، محدوده آسایش و راهبردهای سرمایش وسیع‌تر از کشورهای توسعه یافته است. لذا وی پیشنهاد کرد که نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی کشورهای در حال توسعه از نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی مایلن-گیونی تفکیک شود (Givoni, 1998). تاکنون پژوهشگران متعددی برای پهنه‌بندی نواحی، مناطق و کشورها در راستای تدوین مقررات ساخت و ساز پهنه بناها، از مدل‌های مطالعاتی زیست‌اقلیمی استفاده کرده‌اند (Aajibola, 2001; Attia *et al.*, 2019; Bai *et al.*, 2020; Balogun *et al.*, 2019; Dorcas Mobolade & Pourvahidi, 2020; Khambadkone & Jain, 2017; Khatibi & Saberi, 2020; Pajek *et al.*, 2019; Pajek & Košir, 2017; Pourvahidi & Ozdeniz, 2017; Wan *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2005). ایده بهره‌گیری از مطالعات زیست‌اقلیمی جهت طبقه‌بندی مناطق کشور که در این پژوهش به کار گرفته شده است، می‌تواند معیاری جهت دستیابی معماران و طراحان به راهبردهای طراحی اقلیمی در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی و تأمین آسایش حرارتی ساکنان باشد. کسمایی در سال ۱۳۷۱ برای اولین بار این ایده را جهت طبقه‌بندی مناطق اقلیمی کشور برای کاربری‌های مسکونی و آموزشی مورد استفاده قرار داد. وی معتقد است روش گیونی مفیدترین و دقیق‌ترین روش از نظر طبقه‌بندی شرایط اقلیمی در ارتباط با طراحی معماری شناخته شده است و می‌تواند میزان سودمندی هر یک از عناصر مختلف ساختمان را در انطباق طرح معماری و شرایط اقلیمی نشان دهد (کسمایی، ۱۳۷۱). مطالعه حاضر با بهره‌گیری از داده‌های ساعتی دقیق آب و هوایی و بازترسیم آخرین نمودارهای زیست‌اقلیمی گیونی (برای کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه) و به کارگیری آخرین روش‌های پیاده‌سازی داده‌ها و طبقه‌بندی نتایج، به هشت پهنه اقلیمی در ایران دست یافته و راهبردهای اصلی زیست‌اقلیمی منتج از روش گیونی را به راهکارهای پیشنهادی طراحی سرمایشی و گرمایشی تبدیل نموده است.

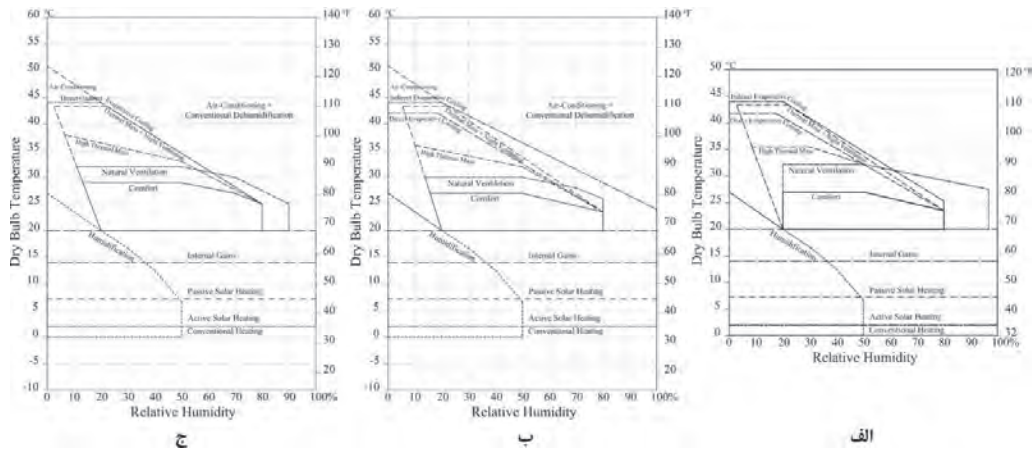
روش پژوهش

در این پژوهش به منظور حصول راهبردهای مختلف تأمین فعال و غیرفعال انرژی سرمایشی و گرمایشی درون ساختمان‌ها برای شهرهای مختلف ایران از داده‌های ۱۵۵ ایستگاه هواشناسی شهرهای ایران استفاده شده است (شکل ۲). به منظور شناخت الگوها و شرایط اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه، داده‌های مورد استفاده در این تحقیق در مقیاس روزانه و متعلق به دوره بیست و چهار ساله (۲۰۱۸ - ۱۹۹۵ میلادی) است. در واقع برای هر ایستگاه یا شهر، داده‌های ۸۷۶۰ روز مورد ارزیابی و واکاوی قرار گرفت. در خصوص ارزیابی راهبردهای مختلف گرمایشی و سرمایشی برای تأمین آسایش داخل بناها، نگاره‌های زیست‌اقلیمی^۱ مختلفی توسط پژوهشگران و محققان طراحی شده که معتبرترین آنها نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی گیونی^۲ است. در این نگاره^۱ بر مبنای استفاده از دو مؤلفه اقلیمی دمای هوای خشک و رطوبت نسبی، می‌توان راهبردهای مختلف معماری اقلیمی را استخراج نمود.



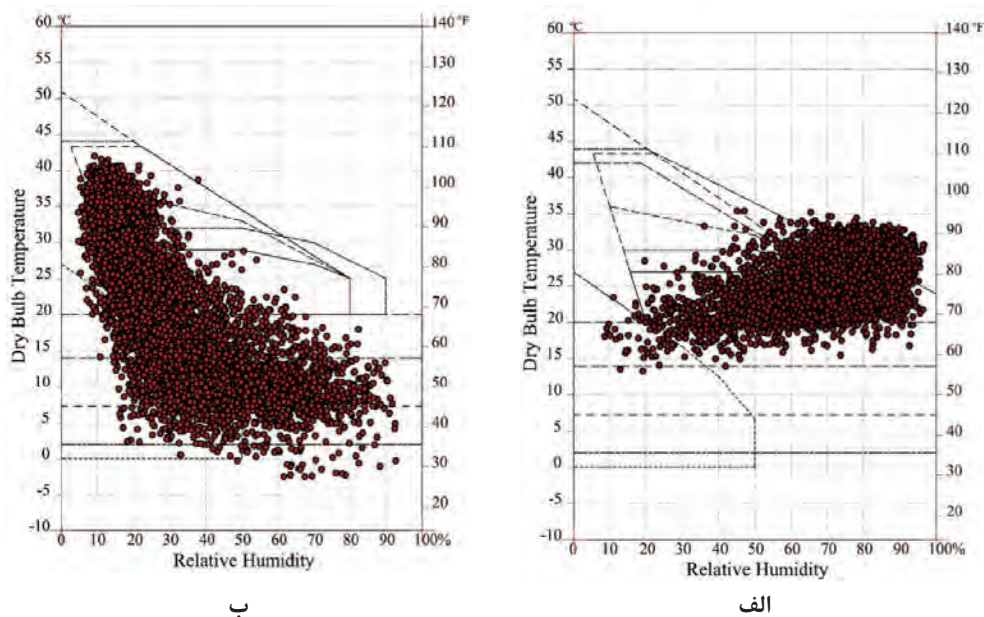
شکل ۲. پراکنش فضایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر

ایده بازترسیم نمودار زیست‌اقليمی در ساختار مستطیلی شکل برای تحلیل داده‌های آب و هوایی مناطق مورد مطالعه، مطلوب به نظر می‌رسد. اولین مورد، نمودار زیست‌اقليمی مایلن-گیونی (Milne & Givoni, 1979) بود که مطابق شکل ۳-الف بازترسیم شد (Roshan *et al.*, 2017). به این نمودار محدوده‌هایی چون «رطوبت‌زایی»^۴، «کسب حرارت داخل»^۵ و «گرمایش همرفتی»^۶ نسبت به نمودارهای دیکی-براون (DeKay & Brown, 2013) و کیلر-بورک (Keeler & Burke, 2009) افزوده شده است. لذا روشن و همکاران (۲۰۱۷) با همین ایده، ترسیم جدیدی از نمودار زیست‌اقليمی گیونی ارائه دادند (Roshan *et al.*, 2017). به پیشنهاد گیونی تفکیک نمودارهای زیست‌اقليمی «کشورهای توسعه یافته»^۷ و «کشورهای در حال توسعه»^۸، ضروری بود (Givoni, ۱۹۹۸). لذا توسط مولفان مقاله حاضر، ساختار نمودار شکل ۳-الف به صورت شکل‌های ۳-ب و ۳-ج تغییر نموده و بازترسیم شد (Roshan, Farrokhzad, & Attia, 2019).



شکل ۳. الف- نمودار زیست‌اقليمی مایلن-گیونی بازترسیم شده. ب- نمودار زیست‌اقليمی گیونی پیشنهادی برای کشورهای توسعه یافته بازترسیم شده. ج- نمودار زیست‌اقليمی گیونی پیشنهادی برای کشورهای در حال توسعه بازترسیم شده

لازم به توضیح است که با توجه به استفاده از حجم زیاد داده‌ها که پیش‌تر به آن اشاره گردید، نمی‌توان از روش‌های سنتی ترسیم داده‌ها بر روی نمودار زیست‌اقلیمی استفاده کرد و می‌بایست با تکنیک‌های دیجیتالی، ورود، خروج و پردازش داده‌ها را کنترل کرد که بدین منظور از نرم افزار Arc GIS استفاده شد. سپس بر مبنای خروجی‌های حاصل از ترسیم نمودار زیست‌اقلیمی هر ایستگاه، درصد فراوانی هر یک از راهبردهای مختلف سرمایشی و گرمایشی که در نمودارهای شکل ۳-ب و ۳-ج محدوده‌های آن مشخص شده است، محاسبه گردید. شکل ۴، دو نمونه از پیاده‌سازی داده‌ها برای شهرهای چابهار و طبس را بر روی نمودار بازترسیمی زیست‌اقلیمی نشان می‌دهد. در جدول ۱، میانگین کلی از فراوانی رخداد ۲۰ محدوده زیست‌اقلیمی برای ایران ارائه شده است.



شکل ۴. نمونه پیاده‌سازی داده‌های آب و هوایی بر روی نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی، الف- چابهار (نمودار کشورهای توسعه یافته)، ب- طبس (نمودار مناطق گرم کشورهای در حال توسعه)

در ادامه، با استفاده از درصد فراوانی رخداد هر یک از ۲۰ راهبرد زیست‌اقلیمی (سرمایشی و گرمایشی) برای هر ۱۵۵ ایستگاه مطالعاتی، فرایند خوشه‌بندی بیوکلیمایی برای ایران انجام پذیرفت. به عبارتی برای هر ایستگاه فراوانی رخداد هر یک از ۲۰ طبقه زیست‌اقلیمی با توجه به دوره زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۸ محاسبه گردید. سپس با استفاده از تکنیک تحلیل خوشه‌ای، سرزمین ایران به ۸ خوشه متمایز بیوکلیمایی تقسیم گردید (شکل ۶). بنابراین مبنای این کار درصد تشابهات درون گروهی و حداکثر اختلاف با سایر خوشه‌ها بوده است. در نتیجه شهرهایی که مشابهت زیادی در روش‌های پیشنهادی طراحی اقلیمی با یکدیگر دارند، در یک خوشه قرار گرفتند و می‌توان راهکارهای طراحی مشترکی برای شرایط گرم و سرد سالانه هر یک ارائه نمود. شکل ۵ ساختار پژوهش حاضر را به طور خلاصه نمایش می‌دهد.



شکل ۵. خلاصه ساختار پژوهش

روش تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای، یک روش کاملاً عددی است و منحصرأ روی داده‌های کمی انجام می‌شود. این روش دارای مزیت‌های زیادی است، از جمله آنکه در یافتن گروه‌های واقعی کمک می‌کند و در عین حال می‌تواند در کاهش داده‌ها نیز مفید باشد. روش تحلیل خوشه‌ای به عنوان مدلی به‌روز، کارایی مناسبی برای چنین مطالعاتی داشته و در بسیاری از تحقیقات با اهداف مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Afshoon *et al.*, 2021; Cutini *et al.*, 2021; Galvez-Nieto *et al.*, 2020; Hao *et al.*, 2021; Liang *et al.*, 2021; Madadzadeh *et al.*, 2021; Praene *et al.*, 2019; Shi & Yang, 2020; Sefidkar, 2021; Ofetotse *et al.*, 2021). الگوریتم‌های زیادی برای انجام تحلیل خوشه‌ای پیشنهاد شده‌اند که در مورد آن تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل خوشه‌ای میانگین کاربرد بیشتری دارند (خسروی و آرامش، ۱۳۹۱) و در مطالعه حاضر از این روش استفاده شده است. در تحلیل سلسله مراتبی تعداد خوشه‌ها یا گروه‌ها نامشخص است؛ به‌طوری‌که در این روش بر اساس تکنیک‌های متعدد، گروه‌ها یا خوشه‌ها را شناسایی کرده و به صورت یک نمودار شاخه درختی آنها را نشان می‌دهد (خسروی و آرامش، ۱۳۹۱؛ خلیلی و دیگران، ۱۳۸۳). در الگوریتم سلسله مراتبی دو موضوع مهم همواره مورد توجه است؛ یکی ترکیب پارامترها و دیگری روش‌های اندازه‌گیری فاصله بین متغیرها یا میزان نزدیکی گروه‌ها. شرط ادغام گروه‌ها در یک فاصله معین عبارت از این است که فاصله یکی از افراد یک گروه با حداقل یک فرد از گروه دیگر برابر با فاصله تعیین شده یا نزدیک‌تر از آن باشد. یکی از روش‌های ادغام بین گروه‌ها، استفاده از

روش وارد است. در روش وارد از رویکرد تحلیل واریانس برای ارزیابی فاصله بین کلاسترها^۹ استفاده می‌شود. در مجموع این روش سعی می‌کند، مجموع مربعات هر دو خوشه را که می‌تواند در هر مرحله شکل بگیرد، به حداقل برساند. روش وارد می‌تواند به عنوان یک روش بسیار کارآمد برای ایجاد خوشه‌هایی با اندازه کوچک مدنظر قرار گیرد (دین پژوه و دیگران، ۱۳۸۲). برای اینکه داده‌های مورد مطالعه با روش‌های مختلف ادغام شود، لازم است از قبل فاصله بین آنها اندازه‌گیری شود. یکی از مهمترین روش‌ها برای این منظور استفاده از روش فاصله اقلیدسی است. این روش عمومی‌ترین روش محاسبه فاصله است که به طور ساده فاصله هندسی در فضای چندبعدی را اندازه‌گیری می‌کند.

یافته‌های پژوهش

تحلیل راهبردهای مختلف گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها با استفاده از اطلس‌های بیوکلیمایی با توجه به جدول شماره ۱، در مطالعه حاضر ۲۰ پهنه زیست‌اقلیمی قابل تشخیص است، اما نتایج نشان دادند که صرفاً راهبرد استفاده از «تهویه مطبوع»^{۱۰} به تنهایی و بدون همراهی با دیگر راهبردهای سرمایشی در هیچ یک از ایستگاه‌های ایران قابل مشاهده نیست. لذا تمام تحلیل‌ها بر مبنای ۱۹ راهبرد زیست‌اقلیمی دیگر انجام شده است. همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود، اولین محدوده مورد مطالعه، Z1 است. در این پهنه زیست‌اقلیمی، تمرکز بر راهبرد «گرمایش همرفتی»^{۱۱} به منظور تأمین آسایش داخل ساختمان بوده است؛ به‌طوری‌که ۸۳ درصد از ایستگاه‌های مطالعاتی با فراوانی‌های مختلف، نیازمند پیاده‌سازی تأسیسات مکانیکی گرمایشی در فصول سرد سال هستند. راهبرد این محدوده به منظور تأمین شرایط گرمایشی بوده و در مجموع میانگین کلی رخدادهای محدود برای تمام ایستگاه‌های مطالعاتی، ۶/۵۱ درصد است. در خصوص پهنه Z2 که نماینده «گرمایش همرفتی هم‌زمان با رطوبت‌زایی» جهت تأمین شرایط گرمایشی داخل ساختمان بوده، میانگین رخدادهای آن در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی ۰/۳۸ درصد است. ارزیابی‌ها برای طبقه Z3 گویای این واقعیت است که میانگین رخدادهای محدود برای ایران عدد ۲/۵۴ درصد بوده، ولی خروجی‌ها نشان می‌دهد که صرفاً این شرایط برای ۷۷ درصد از ایستگاه‌های مطالعاتی الزامی است. مناطقی که این محدوده را تجربه می‌کنند، در پاره‌ای از سال نیازمند راهبردهای «گرمایش خورشیدی فعال»^{۱۲} به وسیله استفاده از سیستم‌های مکانیکی خورشیدی هم‌زمان با «رطوبت‌زایی»^{۱۳} هستند. به هر حال سرمای فصل زمستان در این محدوده کمتر از Z2 است.

برای Z4 و Z5 به ترتیب ۸۳ و ۹۰ درصد از ایستگاه‌های کشور این محدوده‌های زیست‌اقلیمی را در طی سال تجربه می‌کنند. این دو محدوده نسبت به Z2 و Z3 سرمای کمتری را در زمستان تجربه می‌کنند و لذا راهکار «گرمایش خورشیدی غیرفعال»^{۱۴} برای Z4 و «کسب گرمای داخل»^{۱۵} برای Z5 هم‌زمان با «رطوبت‌زایی» پیشنهاد می‌شود و برای تأمین گرمایش زمستان، نیازی به سیستم‌های مکانیکی نیست. در کل برای Z4، شرایط اقلیمی محیط به‌گونه‌ای بوده که نیاز است به منظور تأمین گرمایش در فصل سرد سال از تابش مستقیم خورشید در فضاهای رو به جنوب بهره‌برداری نمود. ولی در Z5 طراحی جزئیات ساختمان باید به‌گونه‌ای باشد که با استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا و عایق‌کاری حرارتی^{۱۶} در پوسته خارجی ساختمان^{۱۷} و کنترل منافذ ورود ناخواسته هوا، شرایط حفظ گرمای تولید شده در داخل برای دماهای زیر محدوده آسایش محقق شود. شرایط این دو محدوده صرفاً متعلق به نواحی با اقلیم نیمه سرد و خشک است.

جدول ۱. خلاصه ویژگی‌های محدوده‌های زیست‌اقليمی مورد مطالعه در ایران

Zones	راهبردهای مختلف گرمایشی و سرمایشی نمودار زیست‌اقليمی ساختمانی گیونی	کشورهای گرم در حال توسعه (*) کشورهای توسعه یافته (**) پهنه‌های مشترک برای هر دو نمودار (***)	میانگین کلی در ایران (درصد) با توجه به دوره زمانی ۲۰۱۸ تا ۱۹۹۵	درصد فراوانی ایستگاه‌هایی که این شرایط را تجربه کرده‌اند
Z1	Conventional Heating	***	۶٫۵۱	۸۳
Z2	Conventional Heating + Humidification	***	۰٫۳۸	۶۴
Z3	Active Solar Heating + Humidification	***	۲٫۵۴	۷۷
Z4	Passive Solar Heating + Humidification	***	۵٫۱۰	۸۳
Z5	Internal Gains + Humidification	***	۲٫۸	۹۰
Z6	Humidification	***	۰٫۲۸	۴۵
Z7	Active Solar Heating	***	۸٫۱۵	۹۱
Z8	Passive Solar Heating	***	۱۳٫۵۹	۹۷
Z9	Internal Gains	***	۱۵٫۱	۱۰۰
Z10	Comfort	***	۲۳٫۲۱	۱۰۰
Z11	Evaporative Cooling Direct	**	۱٫۲	۴۶
Z12	Natural Ventilation	***	۱٫۰۶	۲۰
Z13	Thermal mass + Night Ventilation + Indirect Evaporative Cooling	**	۰٫۱۴	۱۱
Z14	Indirect Evaporative Cooling	**	۴٫۸۶	۱۶
Z15	Air Conditioning + Conventional Dehumidification	***	۴٫۶۸	۲۴
Z16	Natural Ventilation + High Thermal Mass + Night Ventilation + Direct & Indirect Evaporative Cooling	***	۸٫۵۱	۹۷
Z17	Direct & Indirect Evaporative Cooling + High Thermal Mass + Night Ventilation	***	۶٫۶۵	۸۵
Z18	Direct & Indirect Evaporative Cooling + Thermal Mass + Night Ventilation	***	۳٫۱۰	۴۳
Z19	Direct & Indirect Evaporative Cooling	*	۱٫۲۸	۲۸
Z20	Air Conditioning	***	۰٫۰۰	۰

میانگین رخداد محدوده Z6 برای ایران شامل ۰٫۲۸ درصد از دوره آماری مورد مطالعه بوده که نسبتاً اندک است، اما ۴۵ درصد ایستگاه‌ها نیاز به این راهبرد دارند. مناطقی که در این محدوده قرار می‌گیرند با وجود تأمین آسایش دمایی، از رطوبت بسیار ناچیزی بهره‌مند هستند. لذا لازم است صرفاً به راهبرد «رطوبت‌زایی» پرداخته شود. برای محدوده‌های Z8، Z7 و Z9 میانگین کلی به ترتیب ۸٫۱۵، ۱۳٫۵۹ و ۱۵٫۱ درصد است. اما Z7 با ۹۱، Z8 با ۹۷ و Z9 با ۱۰۰ درصد از ایستگاه‌های مطالعاتی را متوجه خود نموده‌اند. تفاوت این سه محدوده با محدوده‌های Z3، Z4 و Z5 تنها در این است که نیاز به راهبرد «رطوبت‌زایی» در اینها وجود ندارد. در واقع در شرایط محیطی فصل‌های سرد، کمبود رطوبت احساس نمی‌شود. محدوده Z10 برقراری شرایط «آسایش حرارتی»^{۱۸} را نشان می‌دهد که میانگین کلی رخداد آن برای ایران ۲۳٫۲۱ درصد از ایام مطالعاتی بوده و این طبقه زیست‌اقليمی برای تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی با فراوانی‌های مختلفی تجربه شده است. این نشان می‌دهد که ساکنان تمام پهنه ایران، در زمان‌هایی از سال شرایط آسایش حرارتی را تجربه می‌کنند. محدوده‌های Z11 و Z14 که صرفاً متعلق به نمودار کشورهای توسعه‌یافته^{۱۹} است، به ترتیب شامل ۱٫۲ و ۴٫۸۶ درصد از ایام مطالعاتی بوده است و برای این دو پهنه به ترتیب ۴۶ و ۱۶ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی این دو

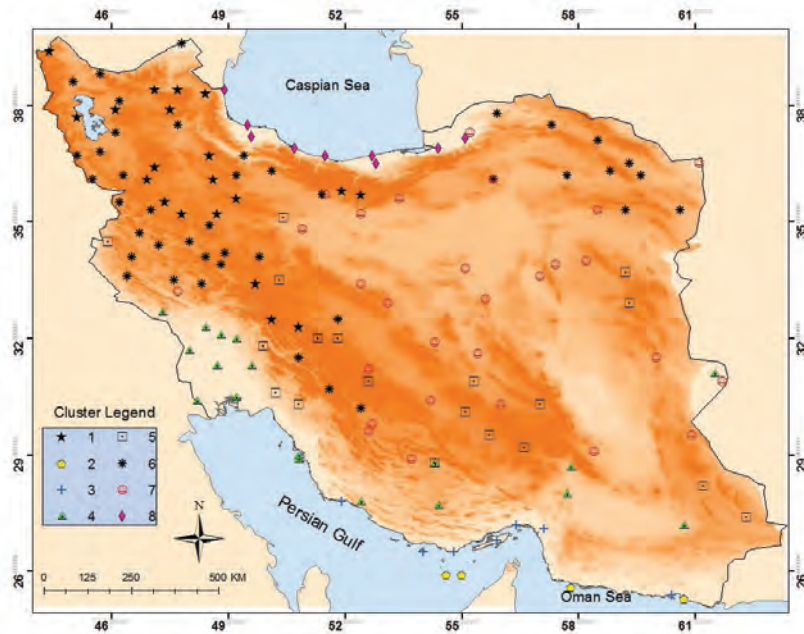
راهبرد را تجربه می‌کنند. راهبردهای این دو محدوده شامل «سرمایش تبخیری»^{۲۰} برای اقلیم‌های گرم است. لازم است در محدوده Z11 به طور مستقیم^{۲۱} و در محدوده Z14 به طور غیرمستقیم^{۲۲} به «سرمایش تبخیری» پرداخته شود.

Z12 راهبرد «تهویه طبیعی»^{۲۳} را نمایش می‌دهد. نیاز به این راهبرد به طور منفرد، مربوط به مناطقی است که رطوبت نسبی بالایی را در دماهای محدوده آسایش و بیشتر از آن تجربه می‌کنند. «تهویه طبیعی» کمک می‌کند تا با کاهش رطوبت هوا، سطح مطلوبی از آسایش در فضاهای داخل محقق گردد. میانگین کلی برقراری این راهبرد ۱/۰۶ درصد برای ایران محاسبه گردیده است که ۲۰ درصد کل ایستگاه‌ها شرایط این محدوده را به خود اختصاص داده‌اند. یافته‌های تحقیق نشان دادند که محدوده Z13 به طور هم‌زمان از راهبردهای «توده‌های حرارتی»^{۲۴}، «تهویه شبانه»^{۲۵} و «سرمایش تبخیری غیرمستقیم» استفاده می‌کند که این مختص نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی کشورهای توسعه‌یافته^{۲۶} است. میانگین این طبقه زیست‌اقلیمی برای ایران عدد بسیار ناچیز ۰/۱۴ درصد از ایام مطالعاتی است و از سوی دیگر نیاز به این راهکار صرفاً برای ۱۱ درصد از ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. در واقع راهبردهای این محدوده در این شهرها توصیه می‌کند که گرمای روزانه ذخیره شده درون مصالح سنگین ساختمان، با «تهویه شبانه» از آن دفع شود. همچنین با راهکار «سرمایش تبخیری غیرمستقیم» نیز می‌توان به دفع گرمای محیطی مناطق خشک کمک کرد. محدوده Z15 شامل مناطقی است که به دلیل دمای زیاد هوا و رطوبت نسبی بالا، نیاز به «تهویه مطبوع» از طریق تأسیسات مکانیکی دارند و لازم است هم‌زمان با استفاده از سیستم‌های تأسیساتی، رطوبت محیط نیز کاهش یابد. در حقیقت راهبردهای «غیرفعال»^{۲۷} در این مناطق کارایی لازم را ندارد. این راهبرد در ۲۴ درصد از ایستگاه‌ها و با میانگین کلی ۴/۶۸ درصد از ایام مطالعاتی برای ایران برقرار است. میانگین کلی محدوده‌های Z16، Z17 و Z18 به ترتیب شامل ۸/۵۱، ۶/۶۵ و ۳/۱ درصد بوده است که به ترتیب ۹۷، ۸۵ و ۴۳ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه این طبقات را تجربه کرده‌اند. لازم است برای مناطقی که در این سه محدوده قرار می‌گیرند راهبردهایی چون «توده‌های حرارتی بالا»^{۲۸}، «تهویه شبانه» و «سرمایش تبخیری مستقیم/غیرمستقیم»^{۲۹} به طور هم‌زمان مورد استفاده قرار گیرد. در Z16، راهبرد «تهویه طبیعی» روزانه نیز اضافه می‌شود و مجموعه راهبردهای مذکور در دو محدوده Z17 و Z18 بدون «تهویه طبیعی» روزانه است. در محدوده Z18 راهبرد «توده‌های حرارتی» تنها به منظور جذب حرارت روزانه و دفع آن در شبانه‌گاه (تهویه شبانه) مدنظر است. خروجی‌ها نشان می‌دهند که راهبرد Z19 تنها به مناطق با «نمودار زیست‌اقلیمی ساختمانی کشورهای در حال توسعه گرم»^{۳۰} اختصاص دارد، و «سرمایش تبخیری» را برای نواحی با اقلیم گرم و خشک توصیه می‌کند. لازم به توضیح است که به طور میانگین در ۱/۲۸ درصد از ایام مطالعاتی به این راهبرد در سطح ایران نیاز بوده است که فقط ۲۸ درصد از ایستگاه‌های مطالعاتی این محدوده را سالانه تجربه می‌کنند. در انتها راهبرد «تهویه مطبوع» که به عنوان محدوده Z20 در نظر گرفته شد، در هیچ یک از مناطق کشور به تنهایی کارایی نداشته و پراکنش آن در سطح ایران مشاهده نشده است. این راهبرد مربوط به مناطقی است که آستانه‌های دمای هوای زیادی در محدوده ۴۴ تا ۵۱ درجه سانتیگراد را در رطوبت نسبی زیر ۲۰ درصد تجربه کنند. چنین شرایط اقلیمی در ایران وجود ندارد و دماهای بالا مربوط به مناطق مرطوب جنوبی کشور است که راهبرد «تهویه مطبوع» به همراه رطوبت‌زدایی همرفتی^{۳۱} برای آنها توصیه شده و در محدوده Z15 قرار دارند.

خوشه‌بندی ایران بر مبنای راهبردهای بیوکلیمایی گرمایشی و سرمایشی ساختمان

اگرچه بر مبنای نمودار گیونی اصلاح شده ۲۰ محدوده زیست‌اقلیمی شناسایی می‌شود، اما همانطور که قبلاً توضیح داده شد، برای ایران فقط ۱۹ مورد از این طبقات تجربه شده است. بنابراین بر مبنای درصد فراوانی ۱۹

راهبرد گرمایشی و سرمایشی لحاظ شده در تحقیق حاضر که عناوین آنها به اختصار Z1 تا Z19 نامیده شدند، ماتریسی در ابعاد ۱۹×۱۵۵ تهیه گردید، به طوری که سطوح این ماتریس شامل ایستگاه‌ها و ستون‌ها شامل راهبردهای سرمایشی و گرمایشی هستند. سپس با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی، ایستگاه‌هایی که از لحاظ فراوانی‌های راهبردهای مختلف تشابه داشتند در خوشه‌های یکسان دسته‌بندی شده‌اند. در شکل ۶ پراکنش و توزیع فضایی خوشه‌های مختلف بیوکلیمایی در سطح ایران نمایش داده شده است. در ادامه ویژگی‌های کلی طراحی زیست‌هواشناسی برای هر یک از خوشه‌ها به تفکیک ارائه شده است.



شکل ۶. پراکنش و توزیع اعضای مختلف هشت خوشه بیوکلیمایی بر روی نقشه ایران

بحث و جمع‌بندی

خوشه‌بندی نهایی انجام شده بر روی ایستگاه‌های هواشناسی بر اساس راهبردهای مشترک زیست‌اقلیمی ۱۹ گانه، ایستگاه‌های موجود را به هشت خوشه اصلی تقسیم می‌نماید. هر چند ممکن است تفاوت‌هایی به لحاظ شرایط اقلیمی میان شهرهای هر گروه وجود داشته باشد، اما راهبردهای مشترک بیوکلیماتیکی میان آنها می‌تواند فصل مشترک‌های زیادی در سیاست‌های طراحی معماری در این شهرها برای مخاطبان خاص آن (که طراحان و معماران و برنامه‌ریزان شهری هستند) ارائه نماید.

هشت خوشه اصلی به شرح زیر هستند:

- ۱) اقلیم مناطق سرد کوهستانی
- ۲) اقلیم گرم و خیلی مرطوب ساحلی
- ۳) اقلیم گرم بیابانی مرکزی
- ۴) اقلیم گرم و مرطوب ساحلی
- ۵) اقلیم گرم تا خیلی داغ بیابانی مرکزی
- ۶) اقلیم گرم و نسبتاً مرطوب جنوبی
- ۷) اقلیم نیمه‌بیابانی گرم

۸) اقلیم مرطوب سواحل خزر

در این بخش به جمع‌بندی شرایط اقلیمی و ضوابط طراحی در هریک از پهنه‌های فوق پرداخته می‌شود.

جمع‌بندی ویژگی‌های پهنه‌های اقلیمی

به منظور بیان ویژگی‌های پهنه‌های اقلیمی به دست آمده، راهبردهای زیست‌اقلیمی پرتکرار در ایستگاه‌های هر گروه که فراوانی بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند، جمع‌بندی و تفسیر شده‌اند. در انتها مجموعه راهکارهای پیشنهادی در طراحی معماری ساختمان‌های هر ۸ پهنه اقلیمی به صورت یک جدول خلاصه شده است.

(۱) اقلیم مناطق سرد کوهستانی

شهرهای واقع شده در این اقلیم عبارتند از:

آبعلی، اهر، الیگودرز، اراک، اردبیل، آوج (قزوین)، بیجار (خوزستان)، بیارجمند، بجنورد، اسلام‌آباد غرب، فیروزکوه، گل‌مکان، همدان (ایستگاه فرودگاه)، همدان (ایستگاه نوزه)، جلفا، کنگاور (کرمانشاه)، خدابنده، خرم‌دره، خوی، کوه‌رنگ، مهاباد، ماکو، ملایر، مراغه، مریوان، مشهد، مشکین‌شهر، میانه، نهاوند، نیشابور، ارومیه، پیرانشهر، قزوین، قروه، قوچان، سهند، سنندج، سقز، سراب، سردشت، شهرکرد، تبریز، تربت، تربت حیدریه، یاسوج، زنجان، زرینه.

از آنجا که شهرهای این گروه در شرایط اقلیمی نسبتاً سرد تا بسیار سرد واقع شده‌اند، لذا حادثترین معضلات اقلیمی، مقابله با اوضاع زمستانی نسبتاً طولانی این مناطق است. بنابراین مشاهده شد که بیشترین راهبردهای طراحی بیوکلیماتیک ثبت شده در این ایستگاه‌ها به ترتیب عبارتند از:

راهبردهای غیرفعال:

- جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن)
- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی غیرفعال

راهبردهای فعال:

- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی فعال
- گرمایش همرفتی (با بهره‌گیری از سیستم‌های مکانیکی)

در زمان‌های محدودی از سال که سرد و خشک است سه راهبرد اول همراه با تولید رطوبت در محیط توصیه شده است.

در بعضی شهرهای دارای اقلیم قاره‌ای^{۳۲} این گروه همانند مشهد، تبریز، بیارجمند، اراک، سنندج، سقز، تربت، قزوین، نیشابور و ... که تابستان‌های گرم و کوتاه دارند، توصیه بهره‌گیری توأم از تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم) نیز ثبت شده که قابل ملاحظه است.

(۲) اقلیم گرم و خیلی مرطوب ساحلی

شهرهای واقع شده در این اقلیم عبارتند از: ابوموسی، چابهار، جاسک، سیری.

به دلیل شرایط بسیار گرم و مرطوب سالانه این شهرها، بیشترین توجه راهبردهای بیوکلیماتیک معطوف به روش‌های سرمایشی تابستانی است. مهمترین راهبردهای طراحی زیست‌اقلیمی در شهرهای این گروه به ترتیب به شرح زیر است:

راهبردهای فعال:

- بهره‌گیری از سیستم‌های تهویه مطبوع و کاهش رطوبت محیط از طریق تأسیسات همرفتی
- سرمایش تبخیری غیرمستقیم (با استفاده از سیستم‌های مکانیکی)

راهبردهای غیرفعال:

- بهره‌گیری توأم از تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
- ایجاد تهویه طبیعی

از آنجا که ممکن است شرایط سرمای زمستانی به طور بسیار کوتاه اتفاق بیافتد، لذا راهبرد جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن) به شکل محدودی در شهرهای این پهنه ثبت شده است. لازم به ذکر است که به دلیل شرایط مساعد پاییز و زمستان در این منطقه بالاترین درصد برقراری آسایش حرارتی (Z10) در این گروه اتفاق افتاده است.

(۳) اقلیم گرم بیابانی مرکزی

شهرهای واقع شده در این اقلیم عبارتند از:

بافت (کرمان)، بیرجند، بروجن، بروجرد، درودزن، اقلید، گلپایگان، ایلام، کبوترآباد (اصفهان)، کرمان، کرمانشاه، خرم‌آباد، کوهدشت، لردگان، منجیل، مراوه‌تپه، پارس‌آباد، قائن، روانسر، سبزوار، ساوه، شهربابک، شهرضا، سیرجان، تهران (ایستگاه ژئوفیزیک)، آباده، دوشان‌تپه، فسا، فردوس، گرمسار، گناباد، داراب، کاشمر، خوربیابانک، نهبندان، قم، سرخس، سمنان، شیراز، زرقان.

شهرهای این خوشه اقلیمی زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً گرم دارند. لذا دستورالعمل‌های زیست‌اقلیمی مشتمل بر مجموعه راهبردهای گرمایشی و سرمایشی است. با این حال اولویت با راهبردهای گرمایشی است. روش‌های طراحی بیوکلیماتیکی گرمایشی ثبت شده برای این گروه به ترتیب اهمیت به شرح زیر است:

راهبردهای غیرفعال:

- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی غیرفعال
- جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن)

راهبردهای فعال:

- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی فعال
 - گرمایش همرفتی (با بهره‌گیری از سیستم‌های مکانیکی)
- در شهرهایی که شرایط خشک زمستانی در آنها برقرار است، سه دستورالعمل ابتدایی فوق همراه با تولید رطوبت نیز توصیه شده است. راهبردهای طراحی زیست‌اقلیمی سرمایشی ثبت شده برای این گروه به ترتیب به صورت ذیل است:
- بهره‌گیری توأم از تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
 - استفاده توأم از تهویه طبیعی، جرم حرارتی بالا و سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)

(۴) اقلیم گرم و مرطوب ساحلی

شهرهای واقع شده در این اقلیم عبارتند از: بندرعباس، بندرلنگه، کیش، قشم. شهرهای این اقلیم دارای تابستان‌های گرم و مرطوب طولانی هستند، لذا اکثر راهبردهای طراحی بیوکلیماتیکی ثبت شده، به منظور سرمایه‌گذاری محیط است. مهمترین دستورالعمل‌های زیست‌اقلیمی این پهنه به ترتیب به شرح زیر هستند:

راهبردهای فعال:

- بهره‌گیری از سیستم‌های تهویه مطبوع و کاهش رطوبت محیط از طریق تأسیسات همرفتی
- سرمایه‌گذاری تبخیری غیرمستقیم (با استفاده از سیستم‌های مکانیکی)

راهبردهای غیرفعال:

- بهره‌گیری توأم از تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایه‌گذاری تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
 - استفاده توأم از تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایه‌گذاری تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
 - ایجاد تهویه طبیعی
- از آنجا که زمستان‌های کوتاه با شرایط کمی سرد در این شهرها اتفاق می‌افتد، راهبرد جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن) با درصد فراوانی بیش از ۲۰ درصد در این پهنه مشاهده می‌شود.

(۵) اقلیم گرم تا خیلی داغ بیابانی مرکزی

شهرهای واقع شده در این اقلیم عبارتند از:

انار (کرمان)، خاش، سراوان، اردستان، بافق (یزد)، بم، بشرویه، خور بیارجمند، مروست، نائین، رفسنجان، رباط پشت بادام، طبس، یزد، زابل، زهک و زاهدان.

شهرهای این اقلیم دارای تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های سرد هستند. لذا راهبردهای بیوکلیماتیکی هم شامل روش‌های سرمایه‌گذاری و هم روش‌های گرمایشی هستند. در این اقلیم اولویت با روش‌های سرمایه‌گذاری همراه با تولید رطوبت جهت رفع مشکلات خشکی محیط است. این راهبردها به ترتیب به شرح زیر هستند:

- استفاده توأم از تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایه‌گذاری تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
- بهره‌گیری توأم از تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایه‌گذاری تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
- هرگونه سرمایه‌گذاری تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
- راهبردهای طراحی گرمایشی زمستانی زیست‌اقلیمی در این اقلیم به ترتیب به شرح زیر هستند:
- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی غیرفعال توأم با افزایش رطوبت محیطی
- جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن)
- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی غیرفعال
- جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن) توأم با افزایش رطوبت محیطی
- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی فعال توأم با افزایش رطوبت محیطی
- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی فعال

ملاحظه می‌شود که خشکی اقلیم این پهنه هم در راهبردهای تابستانی و هم در راهبردهای زمستانی تأثیر داشته است؛ به گونه‌ایکه تأکید بر تولید رطوبت در زمستان و سرمایش تبخیری در تابستان مرتباً وجود دارد.

(۶) اقلیم گرم و نسبتاً مرطوب جنوبی

شهرهای واقع شده در این اقلیم عبارتند از: بندر دیر، کنارک، میان‌آب، بوشهر (فرودگاه)، بوشهر (ساحل). شهرهای این اقلیم تابستان‌های گرم و نسبتاً مرطوب طولانی داشته و زمستان کوتاه و اندکی سرد دارند. مهمترین راهبردهای طراحی زیست‌اقلیمی تابستانی این پهنه به ترتیب به شرح زیر است:

راهبردهای فعال:

- بهره‌گیری از سیستم‌های تهویه مطبوع و کاهش رطوبت محیط از طریق تأسیسات همرفتی
- سرمایش تبخیری غیرمستقیم (با استفاده از سیستم‌های مکانیکی)

راهبردهای غیرفعال:

- بهره‌گیری توأم از تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
 - استفاده توأم از تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
 - ایجاد تهویه طبیعی
- راهبردهای طراحی بیوکلیماتیکی زمستانی به ترتیب به شرح زیرند:
- جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن)
 - بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی غیرفعال
- که مورد اول بیش از ۲۰ درصد از زمان‌های سال مورد نیاز است و این نشان می‌دهد که عایق کاری حرارتی و ساختار منسجم و فشرده جهت جلوگیری از اتلاف گرمای زمستانی تولید شده در داخل، در ساختمان‌های این اقلیم ضروری است.

(۷) اقلیم نیمه بیابانی گرم

شهرهای واقع شده در این اقلیم عبارتند از:

بهبهان، دوگنبدان، داراب، ایزه، سرپل‌ذهاب، آبادان، اهواز، ماهشهر، بستان، دهلران، ایرانشهر، جام، جیرفت، کهنوج، لار، مسجد سلیمان، پل دختر، رامهرمز، صفی‌آباد، شوشتر، امیدیه.

شهرهای این پهنه اقلیمی عموماً تحت تأثیر جغرافیای جلگه خوزستان هستند. این اقلیم شرایط گرم نیمه‌بیابانی دارد؛ بدین مفهوم که جریانات رطوبتی هوا از شدت گرمای تابستان کاسته و خشکی هوا همانند خوشه‌های اقلیمی ۳ و ۵ نیست. در مجموع تابستان‌ها و زمستان‌های این ناحیه شدت زیادی ندارد. راهبردهای طراحی سرمایشی زیست‌اقلیمی این منطقه به ترتیب اهمیت عبارتند از:

- استفاده توأم از تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
- بهره‌گیری توأم از تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایش تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
- راهبردهای طراحی گرمایشی بیوکلیماتیکی نیز به ترتیب شامل زیر است:

- جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن)
- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی غیرفعال

(۸) اقلیم مرطوب سواحل خزر

شهرهای واقع شده در این اقلیم عبارتند از:

آستارا، بابلسر، بندرانزلی، قراخیل، گنبد کاوس، گرگان، نوشهر، رامسر، رشت.

این اقلیم دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نیمه گرم و شرجی است. به دلیل رطوبت بالای هوا راهبردهای گرمایشی و سرمایشی بدون بهره‌گیری از رطوبت‌زائی پیش‌بینی می‌شود. اولویت روش‌های طراحی بیوکلیماتیکی این پهنه اقلیمی، راهکارهای گرمایشی زمستانی است که به ترتیب اهمیت عبارتند از:

- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی غیرفعال
- جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن)
- بهره‌گیری از گرمایش خورشیدی فعال

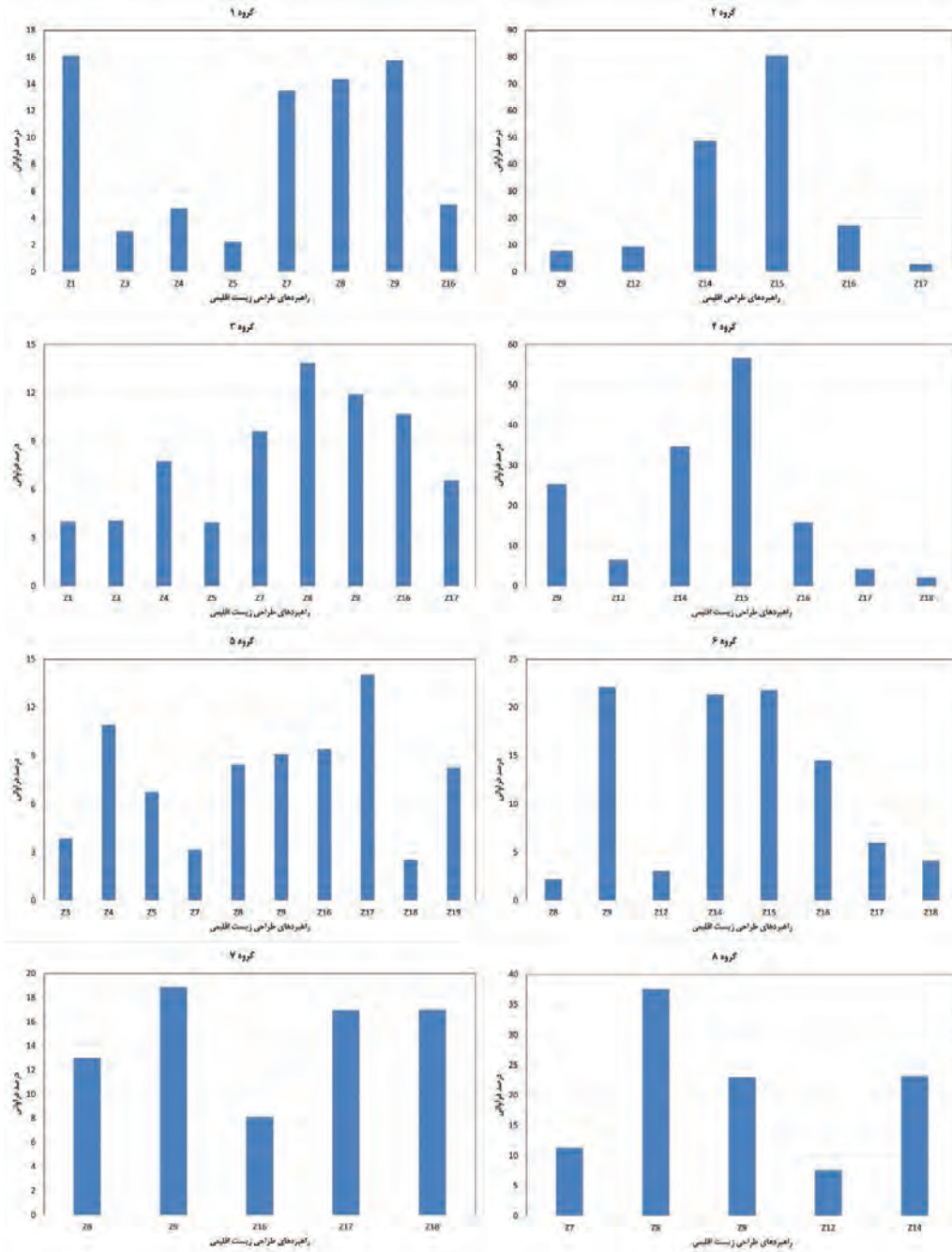
راهبرد اول یعنی بهره‌گیری از گرمایش غیرفعال خورشیدی در این اقلیم نسبت به سایر پهنه‌ها دارای بیشترین میزان فراوانی در طول سال یعنی ۳۵ درصد است. این نشان می‌دهد که لازم است طراحان ساختمان‌ها در این منطقه، بیشترین توجه را به بهره‌برداری از تابش مستقیم خورشید داشته باشند که لازمه آن کشیدگی جبهه جنوبی بناها و افزایش سطوح نورگذر آن است.

راهبردهای طراحی زمستانی زیست‌اقلیمی این منطقه به ترتیب به شرح زیر است:

- سرمایش تبخیری غیرمستقیم (با استفاده از سیستم‌های مکانیکی)
- ایجاد تهویه طبیعی

سرمایش تبخیری غیرمستقیم اثر تبخیر آب را درون محیط زندگی افراد ایجاد نمی‌کند و فقط از پدیده تبخیر برای خنک‌سازی هوای فیلتر شده بهره می‌برد. بنابراین رطوبت هوا افزایش نمی‌یابد. تهویه طبیعی نیز به طور عمومی باعث کاهش رطوبت موجود در محیط می‌شود.

فراوانی راهبردهای طراحی زیست‌اقلیمی هشت خوشه اقلیمی مذکور در نمودارهای شکل ۷ به نمایش درآمده است.



شکل ۷. فراوانی راهبردهای طراحی زیست‌اقليمی در هشت خوشه اقليمي ایران

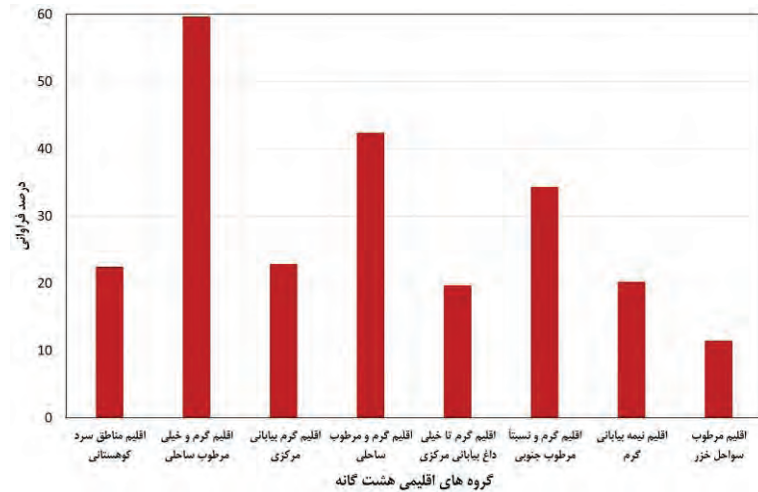
مجموعه راهکارهای پیشنهادی طراحی در خوشه‌های اقليمي هشت‌گانه به طور خلاصه در جدول ۲ بیان شده است.

جدول ۲. راهکارهای طراحی پیشنهادی در هشت خوشه اقلیمی

رویکرد	راهکار طراحی	اقلیم ۱	اقلیم ۲	اقلیم ۳	اقلیم ۴	اقلیم ۵	اقلیم ۶	اقلیم ۷	اقلیم ۸
بازرسی	عیاق کاری جداره‌های خارجی ساختمان (بام، کف و دیوارها)	*		*	*	*	*	*	*
	طراحی فشرده حجم ساختمان جهت کاهش سطح تماس با محیط خارج	*		*		*	*	*	
	کاهش پنجره‌ها و بازشوه‌های نماهای شمالی، شرقی و غربی و نیز جبهه‌های بادگیر ساختمان	*		*		*			
	استفاده از پنجره‌های دو و سه جداره استاندارد	*		*	*	*	*	*	*
	سطوح وسیع نورگذر در نماهای جنوبی جهت آفتابگیری بنا	*		*		*		*	*
	کاهش یا حذف عوامل طبیعی و مصنوعی سایه‌انداز بر ساختمان و پنجره‌ها	*		*		*		*	*
	افزایش تراکم به ازای کاهش سطح اشغال بنا	*		*		*		*	*
	چانمایی فضاهای اصلی ساختمان در جبهه جنوبی و فضاهای فرعی در جبهه شمالی	*		*		*		*	*
	به کارگیری جمع‌کننده‌های خورشیدی جهت تأمین انرژی گرمایشی و آب گرم	*		*		*		*	*
	طراحی سیستم‌های مکانیکی گرمایشی همرفتی مانند رادیاتور شوفاژ، فن کویل، ترکیب موتورخانه با هواساز، گرمایش کف	*		*		*		*	*
بازرسی	طراحی بدنه‌های وسیع با بازشوه‌های مناسب در جهت و خلاف جهت بادهای مطلوب برای تأمین تهویه عبوری	*	*	*	*	*	*	*	*
	طراحی فضاهای عمودی میانی همچون نورگیرها و آتریوم‌ها جهت ایجاد تهویه دودکشی	*	*	*	*	*	*	*	*
	ایجاد حیاط‌های پشت به آفتاب جهت خنک ماندن محیط باز مجاور ساختمان و ایجاد بازشوه‌های مطلوب میان بنا و این حیاط‌ها برای برقراری تهویه شبانه	*	*	*	*	*	*	*	*
	طراحی فضاهای نیم‌باز مسقف در اطراف ساختمان جهت جلوگیری از دریافت تابش خورشید بر بدنه‌ها و تشدید تهویه طبیعی	*	*	*	*	*	*	*	*
	افزایش رطوبت محیط با احداث انواع بسترهای آبی (حوض، ابنما، استخر و ...) و پوشش‌های گیاهی در درون و پیرامون ساختمان	*	*	*	*	*	*	*	*
	استفاده از پتانسیل رطوبت‌زایی بام‌ها و دیوارهای سبز	*	*	*	*	*	*	*	*
	طراحی سیستم‌های مکانیکی سرمایشی با بهره‌وری بالا مانند چیلرهای جذبی یا هواساز یا داکت اسپلیت	*	*	*	*	*	*	*	*
	طراحی سیستم‌های مکانیکی سرمایشی تخییری غیرمستقیم در صورت تأمین آب کافی، جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و عدم توزیع رطوبت درون فضاها	*	*	*	*	*	*	*	*

تأمین شرایط آسایش در پهنه‌های اقلیمی

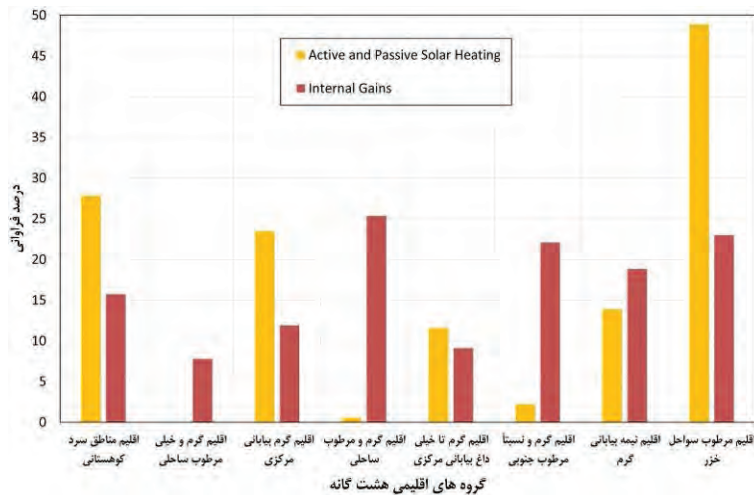
نمودارهای طراحی زیست‌اقلیمی ترسیم شده برای ایستگاه‌های مختلف آب و هوایی نشان داد که در همه هشت خوشه اقلیمی ذکر شده، درصد قابل توجهی از سال در شرایط آسایش قرار دارد و این نشان می‌دهد که در زمان‌هایی از سال که عموماً در نیمه بهار و اوایل پاییز اتفاق می‌افتد، نیازی به استفاده از راهبردهای گرمایشی یا سرمایشی در ساختمان‌ها نیست. اما می‌توان گفت که درصد بهره‌مندی از شرایط آسایش در این هشت پهنه اقلیمی تفاوت‌های زیادی با هم دارد. شکل ۸ متوسط درصد وقوع آسایش حرارتی در هشت پهنه اقلیمی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که اقلیم‌های گرم و مرطوب (خوشه‌های ۲ و ۴ و ۶) دارای بیشترین درصد آسایش حرارتی هستند که این به دلیل کوتاه بودن یا عدم وجود زمستان در این اقلیم‌هاست. کمترین میزان رخداد آسایش حرارتی بر خلاف آنچه در عموم جامعه تصور می‌شود، در اقلیم خوشه ۸ (اقلیم مرطوب سواحل خزر) اتفاق می‌افتد.



شکل ۸. فراوانی متوسط وقوع آسایش حرارتی در هشت خوشه اقلیمی

راهبردهای گرمایشی در پهنه‌های اقلیمی

مهمترین راهبردهای گرمایشی زمستانی در اقلیم‌های مورد مطالعه، بهره‌گیری از گرمایش فعال و غیرفعال خورشیدی و جذب حرارت داخل (و جلوگیری از اتلاف آن) است که اولی به دلیل گستره آفتابگیر کشور ایران به خوبی قابل استفاده بوده و لازمه دومی طراحی دقیق جزئیات ساختمانی، بهره‌مندی از عایق‌های حرارتی، پنجره‌های چندجداره، پرده‌های داخلی، درزبندی مناسب و کاهش اتلاف ناخواسته از طریق منافذ ساختمان است. جهت بهره‌مندی مناسب از گرمایش غیرفعال خورشیدی لازم است ساختمان کشیدگی شرقی-غربی داشته باشد و جبهه اصلی رو به جنوب قرار گیرد؛ سطوح نورگذر نمای جنوبی افزایش یابد و در صورت نیاز به سایه‌بان، زاویه آن به گونه‌ای طراحی شود که تنها در تابستان از تابش خورشید محافظت نماید و در زمستان آن را به داخل هدایت کند. همچنین شیشه‌های شفاف و غیر رنگی و غیر رفلکس در نماهای روبه آفتاب مورد استفاده قرار گیرد. در پشت نماهای آفتابگیر، فضاهای اصلی کاربردی و مختص اسکان طولانی مدت طراحی شود. این دو راهبرد بدون نیاز به هزینه‌های گزاف و به خوبی با آموزش مهندسان معمار و طراح در سرتاسر کشور قابل اجراست. نمودار شکل ۹ نشان می‌دهد که راهبرد جذب حرارت داخل تقریباً در همه پهنه‌های اقلیمی مورد نیاز است. اما بهره‌برداری از گرمایش خورشیدی در اقلیم مرطوب سواحل خزر نسبت به سایر اقلیم‌ها دارای فراوانی بیشتر و در نتیجه نیاز بالاتری است. در اقلیم‌های گرم و مرطوب (خوشه‌های ۲ و ۴ و ۶) تقریباً نیازی به راهبرد گرمایش خورشیدی نیست.

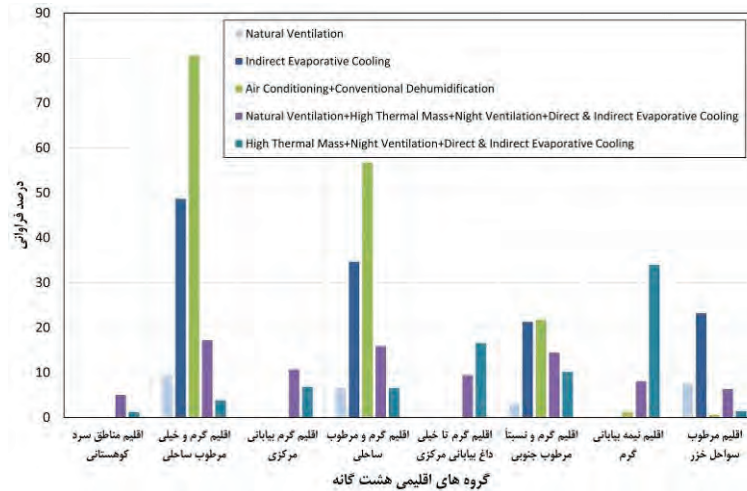


شکل ۹. فراوانی متوسط راهبردهای گرمایشی زمستانی در هشت خوشه اقلیمی

راهبردهای سرمایه‌ی در پهنه‌های اقلیمی

راهبردهای سرمایه‌ی زیست‌اقلیمی دارای تنوع بیشتری هستند. راهبردهای مذکور به شرح زیرند:

- ۱- ایجاد تهویه طبیعی
 - ۲- سرمایه‌ی تبخیری غیرمستقیم (با استفاده از سیستم‌های مکانیکی)
 - ۳- بهره‌گیری از سیستم‌های تهویه مطبوع و کاهش رطوبت محیط از طریق تأسیسات همرفتی
 - ۴- بهره‌گیری توأم از تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایه‌ی تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
 - ۵- استفاده توأم از تهویه شبانه، جرم حرارتی بالا و سرمایه‌ی تبخیری (مستقیم و غیرمستقیم)
- راهبردهای دوم و سوم در اقلیم‌های گرم و مرطوب (خوشه‌های ۲ و ۴ و ۶) به شدت مورد نیازند. این بدان معنی است که هرچند در این اقلیم‌ها درصد فراوانی آسایش بالاست، اما درصد نیاز به سیستم‌های مکانیکی جهت ایجاد سرمایه‌ی تابستانی نیز قابل توجه است. در اقلیم مرطوب سواحل خزر تنها راهکار دوم یعنی سرمایه‌ی تبخیری غیرمستقیم مورد نیاز است. راهکار سرمایه‌ی تبخیری غیرمستقیم عبارت است از سیستم مکانیکی تولید هوای سرد با استفاده از تغییر حالت ماده (از مایع به گاز) که تولید بخار آب درون آن اتفاق می‌افتد و رطوبت اضافی تولید شده به محیط خارج منتشر نمی‌شود. بنابراین می‌توان این روش را در اقلیم‌های مرطوب نیز مورد استفاده قرار داد. در سایر اقلیم‌های گرم (خوشه‌های ۳ و ۵ و ۷) دو راهبرد چهارم و پنجم که شامل ترکیب روش‌های سرمایه‌ی غیرفعال (تهویه طبیعی، تهویه شبانه، جرم حرارتی و سرمایه‌ی تبخیری) است، با درصد بالایی به چشم می‌خورد. در این راهبرد تهویه طبیعی روزانه موجب کاهش شدت گرمای روز می‌شود و حرارت اضافی ناشی از دمای بالا و شدت تابش، در مصالح با جرم حرارتی بالا ذخیره می‌گردد. تهویه شبانه، گرمای ذخیره شده توسط مصالح را از درون ساختمان به بیرون هدایت می‌کند. سرمایه‌ی تبخیری مستقیم و غیرمستقیم نیز به پایین آمدن دمای محیط کمک می‌کند. راهبرد یک یعنی تهویه طبیعی نیز منحصرأ در مورد اقلیم‌های گرم و خشک و نیز اقلیم خزری مورد نیاز است. درصد فراوانی راهبردهای سرمایه‌ی در شکل ۱۰ به نمایش درآمده است.



شکل ۱۰. فراوانی متوسط راهبردهای سرمایه‌ی تابستانی در هشت خوشه اقلیمی

نتیجه‌گیری

به کارگیری مدل‌های مطالعاتی زیست‌اقلیمی در طبقه‌بندی شرایط محیطی، مفهوم جدیدی است که در مطالعه حاضر مورد استفاده قرار گرفت. اساساً بهره‌گیری از جداول یا نمودارهای زیست‌اقلیمی توسط معماران، تجربه‌ای پیچیده و سخت است که عموماً ترجیح می‌دهند از نمونه مطالعه شده آن کمک بگیرند. گستره بزرگ سرزمین ایران، دارای شرایط آب و هوایی گوناگونی است که مطالعه هر یک از نقاط آن، نیازمند فرآیند کاملی از پیاده‌سازی داده‌های اقلیمی و تجزیه و تحلیل نتایج است. پژوهشگران این مقاله، با ابداع راهکار مکانیزه جهت تصویر کردن داده‌ها بر روی نمودار بازترسیم شده زیست‌اقلیمی، به این فرآیند سرعت بخشیدند. نتایج به دست آمده با روش تحلیل خوشه‌ای در ۸ گروه طبقه‌بندی گردید و با استخراج مهمترین راهبردهای سرمایه‌ی و گرمایشی در هر گروه، شباهت‌های اصلی در راهکارهای طراحی اقلیمی جهت نیل به آسایش حرارتی ساکنان مشخص شد. نتایج به دست آمده راهبردهای کلی و خط-مشی مطلوبی برای طراحان و معماران به نمایش می‌گذارد. در راهبردهای گرمایشی، عمومی‌ترین پیشنهاد برای تمام مناطق کشور «حفظ گرمای درونی ساختمان و جلوگیری از اتلاف آن» است. در واقع اجرای عایق کاری پوسته خارجی، استفاده از پنجره‌های چندجداره و مسدود کردن منافذ ناخواسته ساختمان از مهم‌ترین راهکارهای پیش روی مجریان ساختمانی در تمام پهنه ایران است. به جز اقلیم‌های گرم و مرطوب، بهره‌گیری کامل از تابش مستقیم خورشید در سایر پهنه‌های کشور از راهبردهای غیرفعال محسوب می‌شود؛ این راهبرد به ویژه در مناطق حاشیه دریای خزر بیشتر ضروری است. راهبردهای سرمایه‌ی در سطح کشور از تنوع بالاتری برخوردارند. بهره‌گیری از «تهویه طبیعی» در مناطق مرطوب، «سرمایش تبخیری مستقیم» در مناطق گرم و خشک، «سرمایش تبخیری غیرمستقیم» در تمام مناطق گرم، «تهویه شبانه با بهره‌گیری از جرم حرارتی» تقریباً در تمام پهنه کشور و «سیستم فعال تهویه مطبوع» در اقلیم‌های گرم و مرطوب از این جمله‌اند. بالا بودن درصد فراوانی برقراری «آسایش حرارتی» در اقلیم‌های گرم و مرطوب نشان می‌دهد که عمده شرایط نامطلوب اقلیمی در سایر پهنه‌های کشور ناشی از آب و هوای سرد زمستانی است که در اقلیم‌های گرم و مرطوب به ندرت دیده می‌شود. همچنین حداقل فراوانی «آسایش حرارتی» در اقلیم مرطوب سواحل خزر، نشان‌دهنده نیاز به توجه ویژه در طراحی اقلیمی این مناطق توسط معماران است.

پی‌نوشت‌ها

1. Bioclimatic
2. Givoni Building Bioclimatic Chart
3. Diagram
4. Humidification
5. Internal Gain
6. Conventional Heating
7. Developed Countries
8. Developing Countries
9. Clusters
10. Air Conditioning
11. Conventional Heating
12. Active Solar Heating
13. Humidification
14. Passive Solar Heating
15. Internal Heat Gains
16. Thermal Insulation
17. Building External Envelope
18. Thermal Comfort
19. Developed Countries
20. Evaporative Cooling
21. Direct Evaporative Cooling
22. Indirect Evaporative Cooling
23. Natural Ventilation
24. Thermal Mass
25. Night Ventilation
26. Developed BBCC
27. Passive
28. High Thermal Mass
29. Direct/Indirect Evaporative Cooling
30. Hot-Developing BBCC
31. Air Conditioning + Conventional Dehumidification
32. Continental Climate

فهرست منابع

- اخترکاوان، مهدی، صدیق، مرتضی، و اخترکاوان، حمید (۱۳۹۱). تنظیم شرایط همساز با بوم و اقلیم ایران. تهران: کلهر.
- خسروی، محمود، و آرامش، محسن (۱۳۹۱). پهنه‌بندی اقلیمی استان مرکزی با استفاده از تحلیل عاملی-خوشه‌ای. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۳(۲)، ۸۷-۱۰۰.
- خلیلی، علی، درویش صفت، علی‌اصغر، برادران راد، رضا، و بذرافشان، جواد (۱۳۸۳). پیشنهاد روش برای پهنه‌بندی اقلیمی در محیط جی‌آی‌اس، مطالعه موردی شمال غرب ایران در سیستم سلیانینف. بیابان، ۹(۲)، ۲۲۷-۲۳۷.
- دین‌پژوه، یعقوب، فاخری، احمد، مقدم، محمد، جهانبخش، سعید، و میرنیا، میرکمال (۱۳۸۲). انتخاب متغیرها به منظور پهنه‌بندی اقلیم بارش ایران با روش چندمتغیره. علوم کشاورزی ایران، ۳۴(۴)، ۸۰۹-۸۲۳.
- رازجویان، محمود (۱۳۸۸). آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم (ویرایش دوم). تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

- کسمایی، مرتضی (۱۳۷۱). پهنه‌بندی اقلیمی ایران، مسکن و محیط‌های مسکونی. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

- Abels, D. J., & Kipnis, V. (1998). Bioclimatology and balneology in dermatology: a Dead Sea perspective. *Clinics in Dermatology*, 16 (6), 695-698.
- Afshoon, I., Miri, M., & Mousavi, S. R. (2021). Combining Kriging meta models with U-function and K-Means clustering for prediction of fracture energy of concrete. *Journal of Building Engineering*, 35, 102050.
- Ajibola, K. (2001). Design for comfort in Nigeria—a bioclimatic approach. *Renewable Energy*, 23 (1), 57-76.
- Akbarian Ronizi, S. R., Roshan, G. R., & Negahban, S. (2016). Assessment of tourism climate opportunities and threats for villages located in the northern coasts of Iran. *International Journal of Environmental Research*, 10 (4), 601-612.
- Ascione, F., De Masi, R. F., de Rossi, F., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2016). Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study. *Applied Energy*, 183, 938-957.
- Attia, S. G. M., & De Herde, A. (2009). Bioclimatic architecture design strategies in Egypt. *Sustainable Energy Technologies*, 1(1).
- Attia, S., Lacombe, T., Rakotondramiarana, H. T., Garde, F., & Roshan, G. (2019). Analysis tool for bioclimatic design strategies in hot humid climates. *Sustainable Cities and Society*, 45, 8-24.
- Bai, L., Yang, L., Song, B., & Liu, N. (2020). A new approach to develop a climate classification for building energy efficiency addressing Chinese climate characteristics. *Energy*, 195, 116982.
- Balogun, I. A., Ntekop, A. A., & Daramola, M. T. (2019). Assessment of the bioclimatic conditions over some selected stations in Nigeria. *SN Applied Sciences*, 1 (6), 1-14.
- CIBSE. (2006). *CIBSE KS06: comfort*. London: the Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Cutini, M., Flavio, M., Giuliana, B., Guido, R., & Jean-Paul, T. (2021). Bioclimatic pattern in a Mediterranean mountain area: assessment from a classification approach on a regional scale. *International Journal of Biometeorology*, 65, 1085-1097.
- DeKay, M., & Brown, G. Z. (2013). *Sun, wind, and light: architectural design strategies*. John Wiley & Sons.
- Dorcas Mobolade, T., & Pourvahidi, P. (2020). Bioclimatic Approach for Climate Classification of Nigeria. *Sustainability*, 12 (10), 4192. <https://doi.org/10.3390/su12104192>.
- Galvez-Nieto, J. L., Garcia, J. A., Vera-Bachmann, D., Trizano-Hermosilla, I., & Polanco, K. (2020). Multilevel latent class cluster analysis of school climate: individual, family and community factors. *Revista de Psicodidáctica* (English Ed.), 25 (2), 85-92.
- Givoni, B. (1976). *Man, Climate and Architecture*. London: Applied Science Publisher.
- Givoni, B. (1991). Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems. *Energy and Buildings*, 17 (3), 177-199.
- Givoni, B. (1994). *Passive low energy cooling of buildings*. Toronto: John Wiley & Sons.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley & Sons.
- Guillén-Lambea, S., Rodriguez-Soria, B., & Marin, J. M. (2017). Comfort settings and energy

- demand for residential nZEB in warm climates. *Applied Energy*, 202, 471-486.
- ASHRAE (2017). Handbook of Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers.
 - Hao, Z., Zhang, X., Xie, J., Wang, J., & Liu, J. (2021). Building climate zones of major marine islands in China defined using two-stage zoning method and clustering analysis. *Frontiers of Architectural Research*, 10 (1), 134-147.
 - Hussein, H., & Jamaludin, A. A. (2015). POE of bioclimatic design building towards promoting sustainable living. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 168, 280-288.
 - Keeler, M., & Burke, B. (2009). *Fundamentals of integrated design for sustainable building*. John Wiley & Sons.
 - Khambadkone, N. K., & Jain, R. (2017). A bioclimatic analysis tool for investigation of the potential of passive cooling and heating strategies in a composite Indian climate. *Building and Environment*, 123, 469-493.
 - Khatibi, R., & Saberi, M. (2020). Bio-climatic classification of Iran by multivariate statistical methods. *SN Applied Sciences*, 2 (10), 1-30.
 - Krüger, E. L., & Laroca, C. (2010). Thermal performance evaluation of a low-cost housing prototype made with plywood panels in Southern Brazil. *Applied Energy*, 87 (2), 661-672.
 - Liang, S., Li, B., Tian, X., Cheng, Y., Liao, C., Zhang, J., & Liu, D. (2021). Determining optimal parameter ranges of warm supply air for stratum ventilation using Pareto-based MOPSO and cluster analysis. *Journal of Building Engineering*, 37, 102-145.
 - Madadzadeh, F., & Sefidkar, R. (2021). Ranking and Clustering Iranian Provinces Based on COVID-19 Spread: K-Means Cluster Analysis. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 6 (1), 1184-1195.
 - Milne, M., & Givoni, B. (1979). Architectural design based on climate. In W. Donald (Ed.), *Energy conservation through building design*, (96-113). New York: McGraw-Hill.
 - Morillón-Gálvez, D., Saldaña-Flores, R., & Tejeda-Martinez, A. (2004). Human bioclimatic atlas for Mexico. *Solar Energy*, 76 (6), 781-792.
 - Nguyen, A.-T., Tran, Q.-B., Tran, D.-Q., & Reiter, S. (2011). An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam. *Building and Environment*, 46 (10), 2088-2106.
 - Ofetotse, E. L., Essah, E. A., & Yao, R. (2021). Evaluating the determinants of household electricity consumption using cluster analysis. *Journal of Building Engineering*, 43, 102487.
 - Pajek, L., Tekavec, J., Drešček, U., Liseč, A., & Košir, M. (2019). Bioclimatic potential of European locations: {GIS} supported study of proposed passive building design strategies. {IOP} Conference Series: Earth and Environmental Science, 296, 12008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012008>.
 - Pajek, L., & Košir, M. (2017). Can building energy performance be predicted by a bioclimatic potential analysis? Case study of the Alpine-Adriatic region. *Energy and Buildings*, 139, 160-173.
 - Pourvahidi, P., & Ozdeniz, M. B. (2013). Bioclimatic analysis of Iranian climate for energy conservation in architecture. *Scientific Research and Essays*, 8 (1), 6-16.
 - Praene, J. P., Malet-Damour, B., Radanielina, M. H., Fontaine, L., & Riviere, G. (2019). GIS-based approach to identify climatic zoning: A hierarchical clustering on principal component analysis. *Building and Environment*, 164, 106330.
 - Roshan, G., Farrokhzad, M., & Attia, S. (2019). Climatic clustering analysis for novel atlas

- mapping and bioclimatic design recommendations. *Indoor and Built Environment*. <https://doi.org/10.1177/1420326X19888572>.
- 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>
 - Roshan, G., Samakosh, J. M., & Orosa, J. A. (2016). The impacts of drying of Lake Urmia on changes of degree day index of the surrounding cities by meteorological modelling. *Environmental Earth Sciences*, 75 (20), 1387.
 - Shi, J., & Yang, L. (2020). A climate classification of China through k-nearest-neighbor and sparse subspace representation. *Journal of Climate*, 33 (1), 243-262.
 - Singh, M. K., Mahapatra, S., & Atreya, S. K. (2009). Bioclimatism and vernacular architecture of north-east India. *Building and Environment*, 44 (5), 878-888.
 - Sodha, M. S., Kaushik, S. C., & Nayak, J. K. (1981). Performance of trombe walls and roof pond systems. *Applied Energy*, 8 (3), 175-191.
 - Visitsak, S. (2007). *An evaluation of the bioclimatic chart for choosing design strategies for a thermostatically-controlled residence in selected climates*. PhD Thesis, Texas A&M University.
 - Visitsak, S., & Haberl, J. S. (2016). An analysis of design strategies for climate-controlled residences in selected climates. *Proceedings of SimBuild*, 1 (1), 257-269.
 - Wan, K. K. W., Li, D. H. W., Yang, L., & Lam, J. C. (2010). Climate classifications and building energy use implications in China. *Energy and Buildings*, 42 (9), 1463-1471.
 - Watson, D. (1993). *The energy design handbook*. Washington DC: American Institute of Architecture.
 - Yang, L., Lam, J. C., & Liu, J. (2005). Bioclimatic building designs for different climates in China. *Architectural Science Review*, 48 (2), 187-194.
 - Zain-Ahmed, A., Sayigh, A. A. M., Surendran, P. N., & Othman, M. Y. (1998). The bioclimatic design approach to low-energy buildings in the Klang Valley, Malaysia. *Renewable Energy*, 15 (1-4), 437-440.
 - Zuhairy, A. A., & Sayigh, A. A. M. (1993). The development of the bioclimatic concept in building design. *Renewable Energy*, 3 (4-5), 521-533.

Proposing a Bioclimatic Atlas in Iran to Achieve Climate Responsive Architecture Strategies

Mohammad Farrokhzad

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Architecture, Golestan University, Gorgan, Iran
(Corresponding Author)

Gholamreza Roshan

Associate Professor, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Geography, Golestan University, Gorgan, Iran

Abstract

The incompatibility of new buildings with the climatic environment and the neglect of the interactions between them have led to the unbridled use of fossil fuels and disrupted the thermal comfort of their occupants. There was a climate-responsive design from the past in Iran's architecture, which unfortunately has been forgotten in contemporary architecture. In the past, buildings that were built in different climates of Iran had special features related to that climate and climate adaptation strategies were well observed. Therefore, the present study seeks to understand the climate of the country and consequently recognize the appropriate use of various solutions to provide cooling and heating to save energy costs. In this article, for obtaining different solutions for the active and passive supply of cooling and heating energy inside buildings for different cities of Iran, daily meteorological data of dry temperature and relative humidity of 155 meteorological stations from 1995 to 2018 were used. In order to evaluate the bioclimatic strategies for providing comfort inside the buildings, two redrawn building bioclimatic diagrams of Givoni were used; one for hot developing countries and the other for developed countries. These diagrams are the latest Givoni proposes for bioclimatic assessment in his book. How the graphs were placed on the psychrometric chart reduced their effectiveness, which the authors have redrawn. All charts were drawn for the stations using GIS software. The frequency of occurrence of climatic phenomena was displayed on 20 ranges of active and passive bioclimatic strategies and the output data were collected in a spreadsheet database. According to the outputs of drawing the bioclimatic diagram of each station, the percentage of frequency of different bioclimatic strategies was calculated, and based on cluster analysis, 8 bioclimatic groups were classified for Iran. Lastly, climate design suggestions were created for each of the 8 clusters, and the percentage of occurrence of thermal comfort conditions and each of the cooling and heating strategies in these 8 zones was evaluated. In heating strategies, the most common suggestion for all regions of the country is "internal heat gain", while cooling strategies in the country are more diverse. Utilization of "natural ventilation" in humid regions, "direct evaporative cooling" in hot and dry regions, "indirect evaporative cooling" in all warm regions, "night ventilation with thermal mass" in almost all parts of the country which include "active air conditioning systems" in hot and humid climates are suggested. The highest percentage of "thermal comfort" is in hot and humid climates and the lowest percentage in the humid Caspian climate, which shows that the main adverse climatic conditions in other parts of the country are because of the cold winter weather. Thus, this result is in contrast to what has always been imagined that the climate of the Caspian region provides the most temperate and favorable environmental conditions for individuals. In the present study, it was found that the lowest incidence of thermal comfort is in this area and the need for direct solar radiation is more than in other groups.

Keywords: Climate classification, bioclimatic design, thermal comfort, energy managing, climate responsive architecture