



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال سوم / شماره مسلسل یازدهم / پاییز ۱۴۰۱ / صفحات: ۶۴-۴۹

DOI: [10.30488/CCR.2022.355847.1087](https://doi.org/10.30488/CCR.2022.355847.1087)

ارزیابی راهکارهای مختلف طراحی بیوکلیمایی به منظور کاهش اثر تنش‌های حرارتی شهر شیراز (مقایسه‌ای بین دوره مشاهداتی و آینده)

رضا برنا*

دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۴

چکیده

شناخت صحیح از شرایط بیوکلیمایی هر منطقه می‌تواند در استفاده مناسب از راهکارهای مختلف تأمین سرمایش و گرمایش به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های مصرف انرژی تأثیرگذار باشد. بنابراین در این مطالعه استفاده از راهکارهای مختلف تأمین فعال و غیرفعال انرژی سرمایشی و گرمایشی داخل ساختمان برای شهر شیراز برای دو دوره مشاهداتی و آینده مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر به منظور مدلسازی تغییرات آب و هوایی دهه‌های آینده از نرم افزار متئونرم استفاده گردیده است. همچنین به منظور ارزیابی راهبردهای مختلف گرمایشی و سرمایشی جهت تأمین آسایش داخل ساختمان‌ها از نمودار سایکرومتریک که برای دستیابی به این هدف طراحی شده است استفاده گردید. در این نمودار، با توجه به الگوی پراکنش متغیرهای اقلیمی (دما - رطوبت نسبی) ۱۶ منطقه بیوکلیمایی مختلف تعیین می‌گردد که هر یک از این مناطق بیوکلیمایی راهکار خاصی در زمینه تأمین آسایش حرارتی محیط داخل ساختمان را تعیین می‌کنند. اما آنچه از نتایج این تحقیق استحصال گردید بدین گونه می‌باشد که مجموعاً سهم تقاضا برای "انرژی گرمایشی" بیش از نیاز به "انرژی سرمایشی" بوده است. اما با توجه به تغییر اقلیم آینده، سهم نیاز به انرژی گرمایشی در حال کاهش است. یافته‌های این تحقیق نشان داد که نیاز کلی به انرژی گرمایشی برای دوره پایه به میزان ۱۷/۷۳ درصد بوده که برای دهه ۲۰۶۰ با تأکید بر خروجی‌های مربوط به RCP8.5 شامل ۱۲/۸۰ درصد و بر اساس سناریوی RCP2.6 مقدار آن ۱۲/۸۸ درصد محاسبه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: گرمایش جهانی، مصرف انرژی، راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم، اقلیم معماری

مقدمه

بر مبنای گزارش ارزیابی پنجم از (IPCC) این موضوع استناد گردیده است که از سال ۱۷۵۰ به دلیل فعالیت‌های انسانی در جهان، غلظت دی اکسید کربن جو افزایش یافته است. افزایش جهانی در غلظت دی اکسید کربن عمده‌تاً به دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری زمین است که در نهایت منجر به گرم شدن آب و هوای زمین شده است. غلظت بالای آلاینده‌ها و هزینه‌ها و خطرات ناشی از آن، به‌ویژه در مناطقی که تراکم بالایی دارند، نگرانی عمومی و سیاست‌گذاران را به خود جلب کرده است. متوسط

درجه حرارتی سطح زمین در طی قرن گذشته ۱/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، افزایش ۳/۲ و ۷/۲ درجه سلسیوس را برای قرن ۲۱ پیش بینی کرده است. علت تغییر اقلیم، عوامل طبیعی و انسانی بوده و مهم‌ترین راه جلوگیری از ادامه این روند، توجه به بحث انرژی است. انرژی در جهان به ترتیب در بخش ساختمان (خانگی و تجاری)، حمل و نقل، صنعت و کشاورزی بیشترین مصرف را دارد. در ایران در سال ۲۰۰۹ کل انتشار گازهای گلخانه‌ای از مصرف انرژی به بالاترین سطح خود به میزان ۵۲۸،۶ میلیون تن کربن رسید. یافته‌های مطالعاتی سازمان جهانی محیط زیست، حاکی از آن است که ۹۰ درصد از منشاء آلودگی دی اکسیدکربن در ایران، انرژی

*نویسنده مسئول: bornareza@yahoo.com

است. یکی از منابع اصلی تولید کننده گازهای گلخانه‌ای ساختمان‌های مسکونی می‌باشد. بنابراین پیش از ارائه راهکارهای سازگاری و انطباق، بایستی اثر گرمایش جهانی در میزان تقاضای انرژی ساختمان‌ها مورد شناخت و پیش‌بینی قرار گیرد. لذا در این پژوهش سعی بر آن گردیده تا اثر تغییر اقلیم دهه‌های آینده بر میزان تقاضای انرژی ساختمان‌ها در شهر شیراز مورد توجه قرار گیرد. سپس انتظار می‌رود که بتوان با ارائه راهکارهای سازگاری و انطباق، اثرات گرمایش جهانی بر افزایش تقاضای انرژی سرمایشی و گرمایشی داخل ساختمان‌ها کاهش داده شود. یکی از جنبه‌های مهم کیفیت محیط داخلی و منبع اصلی مصرف انرژی در ساختمانها تأمین آسایش حرارتی است (Zhang et al., 2007). طراحی ساختمان با استفاده از انرژی خورشیدی به همراه توجه به خصوصیات اقلیمی و مصالح محلی ساختمان، نه تنها می‌تواند شرایط آسایش در محیط مصنوع را ایجاد کند، بلکه در کاهش مصرف انرژی نیز کمک خواهد کرد (Yaglou, 1972). اولگی (Olgyay, 1975) به صورت علمی شرایط رطوبتی و حرارتی را در ارتباط با نیازهای انسان و طراحی اقلیمی مطرح نمودند و اقدام به ترسیم جدول بیوکلیماتیک نمودند. در دنباله کار اولگی، گیونی (Givoni, 1976) کار وی را تکمیل کرد و در آن حدود مؤثر بودن شیوه‌های ساختمان‌سازی در تأمین نیازهای رفاهی (بیوکلیماتیک) انسان را مشخص نمود. صفایی‌پور و روزه (۱۳۸۹) ضمن بررسی تاثیر عناصر اقلیمی در معماری شهرلالی دریافت که آسایش حرارتی درلالی بیشتر شبها مناسب بوده ولی در بیشتر ماه‌های سال آسایش حرارتی در روز مناسب نیست. تابان و همکاران (۱۳۹۲) به تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیاط پرداختند و نتیجه گرفتند که مناسبترین میزان سایه در فصول گرم بر روی کف و جداره‌ها ایجاد خواهد شد. زمردیان و همکاران (۱۳۹۵) در ارزیابی آسایش حرارتی در کلاس درس در اقلیم گرم و خشک شهر کاشان نتیجه

گرفتند که احساس حرارتی دانش آموزان متفاوت از بزرگسالان بوده و با استانداردهای متداول قابل ارزیابی نیست. انتظاری و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی استراتژی‌های طراحی در معماری همساز با اقلیم شهر یزد را بررسی کردند و نتایج حاصل از بررسی دما و رطوبت نسبی نشان داد که حرارت‌های بیش از ۳۸ درجه سانتی‌گراد در ماههای تیر و مرداد قابل مشاهده است که این امر نیاز به سایه در امر اقلیم معماری را مطرح می‌کند.

بیشتر تکنیک‌های مطالعه شده در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی شامل عایقکاری مناسب جهت جداره‌های بنا، استفاده از شیشه‌های دوجداره با پوشش محافظ، سیستم‌های نورپردازی بهینه و سیستم‌های جدید تأسیسات حرارتی می‌باشد (تحصیل دوست و زمردیان، ۲۰۱۵؛ دی سانتولی، ۲۰۱۴؛ الشمرانی، گال و الکاس، ۲۰۱۴؛ رضا، صادق و هیواگ، ۲۰۱۱؛ ماتیوس و براگانکا، ۲۰۱۱؛ کاسترو، سفایر، فلورز و مداگلیا، ۲۰۰۹). تعامل و اثر متقابل درجه حرارت هوا، میانگین دمای تابش، سرعت جریان هوا و رطوبت هوا، محیط حرارتی انسان را ایجاد می‌کند (پرک^۱، ۲۰۰۶). انسانها زمانی احساس راحتی می‌کنند که دمای محیط خنثی باشد و این شرایط به بدن انسان اجازه می‌دهد که بدون عرق کردن یا لرزیدن تعادل حرارتی خود را حفظ کند. افزایش رطوبت در سطح پوست بدن می‌تواند باعث عدم آسایش انسان گردد (مایر^۲، ۲۰۰۸).

بدن انسان مانند یک سامانه ترمودینامیک می‌باشد که با استفاده از سوخت (غذا) و اکسیژن، انرژی حرارتی و گاز تولید می‌نماید. دمای درون بدن که ناشی از سوخت غذاست، باید همواره در محدوده ۰/۵-۳۷+ درجه سانتی‌گراد ثابت نگه داشته شود، تا سلامتی انسان به خطر نیفتد. سیستم تنظیم حرارتی بدن که در مغز قرار دارد به صورت خودکار و در تبادل با محیط این وظیفه را به عهده دارد (پاینده، ۱۳۸۴). بنابراین بررسی شرایط آسایش گرمایی و شرایط

نام یافت. این موسسه هم اکنون در ایالت‌های مختلف آمریکا شعبه‌هایی دایر کرده و تحقیقات مفصلی در ارتباط با گرمایش و سرمایش بویژه در ارتباط با تاسیسات حرارتی و برودتی انجام داده است. شاخص دمای موثر استاندارد خود موسسه به شماره 55p-1992R به ثبت رسیده است. مرکز این موسسه در آتلانتا می‌باشد. همچنین در تعیین شاخص‌های وضعیت گرمایی توسط انجمن تاسیسات آمریکا به صورت دمای موثر نوین و شاخص گرمایی معادل توسط بدفورد انگلستان، دمای منتج توسط مینسا در فرانسه و شاخص حرارتی در آمریکا ارائه شدند.

مواد و روش‌ها

هدف از مطالعه حاضر، پایش و پیش‌یابی تاثیر شرایط اقلیمی بر طراحی بیوکلیمایی ساختمانها در شهر شیراز می‌باشد. لذا برای انجام این کار تحقیقاتی از داده‌ها و نرم افزارهای مختلفی استفاده شده که در ادامه هر یک از آنها معرفی می‌شوند.

پیش‌یابی داده‌های اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار متئونورم: از آنجا که طراحی پایدار یکی از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد، لذا نیاز است تا اثرات تغییر اقلیم آینده نیز بر شرایط طراحی بیوکلیمایی شهر شیراز مورد واکاوی قرار گیرد. پس به منظور شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی آینده از نرم افزار متئونورم استفاده می‌شود. یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار متئونورم، تولید داده‌های دهه‌های حاضر و آینده در قالب فرمت epw می‌باشد که این فرمت مناسب داده‌های ورودی به نرم‌افزارهای معماری است. متئونورم بعنوان یک نرم افزار قوی در تولید داده‌های اقلیمی، از یک پایگاه داده‌ای اقلیمی قوی برخوردار می‌باشد که به‌عنوان منبعی برای ورودی داده‌های تابش و سایر داده‌های اقلیمی موثر در شبیه‌سازی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم افزار قادر است که با استفاده از روش درون‌یابی برای هر سایت، داده‌های اقلیمی را برای آن سایت مدل‌سازی نماید. از جمله قابلیت این نرم افزار در تولید داده‌های ساعتی و دقیقه‌ای می‌باشد. ورودی‌های متئونورم برای تابش کلی می‌باشد.

بیوکلیمایی نقش مهمی را در کاربرد و استفاده بهینه از آب و هوا و تنظیم مصرف انرژی (به منظور گرمایش و سرمایش درون ساختمان‌ها) داراست. مطالعات متعددی درباره اثر اقلیم بر شرایط آسایشی انسان و یا استفاده از شرایط بیوکلیمایی در برنامه ریزیهای مختلف صورت گرفته است که از آن جمله میتوان به موارد زیر اشاره کرد: رازجویان (۱۳۶۷) با انتشار کتاب ارزشمند خود تحت عنوان "آسایش به وسیله معماری همساز با اقلیم" اقدام به بررسی عوامل موثر بر آسایش نموده است.

غیور (۱۳۷۳) در مقاله‌ای تحت عنوان "تاثیر اقلیم در معماری فولاد شهر" ضمن بررسی تاثیر تابش، دما و رطوبت در معماری فولاد شهر، به بررسی مسیر و زاویه تابش خورشید در این شهر پرداخته و آنگاه به تعیین دمای موثر در ساعات مختلف شبانه روز با فاصله دو ساعت یکبار برای تمامی ماه‌های سال پرداخته است. در نقاط مختلف دنیا مطالعات زیادی درباره شرایط آسایشی و زیست اقلیمی صورت گرفته است. برای مثال گیونی^۱ (۱۹۶۹) نمودار زیست اقلیمی را ارائه کرد، که در این نمودار با پیاده نمودن شرایط آب و هوایی قابل تبدیل به وضعیت مطلوب، نمودار سایکرومتریک به دست خواهد آمد. اسپاگنولو^۲ و دیر (۲۰۰۳) به یک مطالعه میدانی با محور آسایش حرارتی در محیط‌های آزاد و نیمه آزاد سیدنی استرالیا پرداختند. ماتزاراکیس^۳ و میر (۱۹۹۷) به بررسی استرس گرمایی در یونان پرداختند. ترجونگ^۴ (۱۹۶۸) الگوهای ماهانه شاخص‌های آسایش را در جهان مورد بررسی قرار داده است و همچنین گیونی (۱۹۹۷) در مقاله‌ای، ملاحظات اقلیمی را در طراحی ساختمان‌های شهری مورد بررسی قرار داده است.

موسسه آشرا (ASHRAE, 2001)، قدیمی‌ترین موسسه ای است که اقدام به مطالعات شاخص‌های دمایی نموده است، که به انجمن مهندسی حرارتی، برودتی و تهویه مطبوع (و به طور اختصار آشرا) تغییر

1. Gioni
2. Spagnolo
3. Matzarakis
4. Terjung

همه‌ی داده‌های هواشناسی این نرم افزار از سازمان هواشناسی جهانی WMO و NCDC تهیه گردیده است. در این نرم افزار The stochastic generation برای تولید داده‌های روزانه تابش کلی از مدل زنجیره مارکوف استفاده گردیده واز یک مدل اتورگرسیون به منظور تولید داده‌های ساعتی و دقیقه‌ای استفاده می‌شود. تولید داده‌های دما بر مبنای تابش کلی و مقادیر اندازه‌گیری شده تقریباً ۵۰۰۰ سایت در سرتاسر دنیا می‌باشد. متئونورم همچنین قادر بوده تا داده‌های هواشناسی دیگر نظیر بارش، سرعت باد، رطوبت نسبی و تابش را تولید نماید. از جمله تواناییهای نرم افزار متئونورم، تولید داده‌های تغییر اقلیم آینده است. بطوری که این نرم‌افزار می‌تواند شرایط آب و هوایی آینده را با استفاده از سناریوهای RCP و بهره‌گیری از ۱۰ مدل CMIP5 پیش‌بینی نماید که جزئیات پایه‌ای این مدلها در جدول (۱) آورده شده است.

لازم به توضیح می‌باشد که در این پروژه از نرم افزار متئونورم، نسخه ۸ به منظور تولید داده‌های اقلیمی استفاده شده است. در مطالعه حاضر از دو مولفه اصلی آب‌وهوایی دما و رطوبت نسبی به‌منظور شبیه‌سازی نیاز انرژی داخل ساختمان استفاده شده که با توجه به فرمت خاص داده‌های ورودی نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ساختمان، این داده‌ها بصورت ساعتی و ۲۴ ساعته می‌باشد. لذا دوره مطالعاتی به‌منظور شبیه‌سازی نیاز انرژی داخل ساختمان‌ها به دوره حاضر (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹) و دهه‌های آینده با دو دورنمای آینده نزدیک و دور که به‌ترتیب دهه‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ را شامل می‌شوند، در نظر گرفته شده است. تاکید می‌شود که تولید داده‌های هر دو دوره مشاهداتی و آینده بوسیله متئونورم انجام گردیده و از طرف دیگر پیش‌یابی اقلیمی سری‌های زمانی بر مبنای دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانه RCP2.6 و RCP8.5 انجام شده است.

جدول ۱: اطلاعات اولیه از ۱۰ مدل مورد استفاده در نرم افزار متئونورم

Model Name	Institute	Country	Horizontal Resolution
CCESS1-0 ACCESS1-3	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Bureau of Meteorology	Australia	192×145 192×145
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Italy	480×240
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques, Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique	France	256×128
HadGEM2-CC_rli1p1 HadGEM2-ES_rli1p1 HadGEM2-ES_r2i1p1 HadGEM2-ES_r3i1p1 HadGEM2-ES_r4i1p1	Met Office Hadley Centre	UK	192×145
IPSL-CM5A-MR	Institute Pierre Simon Laplace	France	144×143

شناسایی راهکارهای مختلف طراحی بیوکلیمایی محیط داخل ساختمان با استفاده از نرم افزار مشاور اقلیمی (Climate Consultant): یکی از دستاوردهای مهم این تحقیق، شناخت صحیح از شرایط بیوکلیمایی منطقه مطالعاتی و در نتیجه استفاده مناسب از راهکارهای مختلف تأمین سرمایش و گرمایش به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های مصرف

انرژی می‌باشد. بنابراین در این مرحله، راهکارهای مختلف تأمین فعال و غیرفعال انرژی سرمایشی و گرمایشی داخل ساختمان‌ها معرفی خواهند شد. در این تحقیق به منظور ارزیابی راهبردهای مختلف گرمایشی و سرمایشی برای تأمین آسایش داخل ساختمان‌ها از نمودارهای سایکرومتریک که برای این منظور طراحی شده است استفاده می‌گردد. در این

خاصی در زمینه تامین آسایش حرارتی محیط داخلی ساختمان را تعیین می کنند. بنابراین بعنوان یکی از دستاوردهای مهم این تحقیق، بر مبنای خروجی این نمودارها، برای هر دوره مطالعاتی (پایه و آینده) درصد فراوانی راهکارهای مختلف سرمایشی و گرمایشی مشخص و معرفی خواهند شد.

نمودارها، با توجه به الگوی پراکنش متغیرهای اقلیمی (دما-رطوبت نسبی) ۱۶ منطقه بیوکлимایی مختلف (نظیر استفاده از مصالح با جرم حرارتی بالا، سردسازی با تبخیر، خنک کردن با استفاده از جریان باد، خنک کردن با استفاده از تهویه طبیعی، سردسازی با تبخیر و غیره....) تعیین می گردد (جدول ۲). هر یک از این مناطق بیوکлимایی راهکار

جدول ۲: طراحی راهکارهای بیوکлимایی از نرم افزار Climate Consultant

راهکارهای بیوکлимایی	راهکارهای بیوکлимایی
محدوده آسایش	۱
استفاده از سایبان برای پنجره ها	۲
مصالح با جرم حرارتی بالا	۳
مصالح با جرم حرارتی بالا	۴
سرد سازی با تبخیر	۵
سرد سازی دو مرحله ای با تبخیر	۶
خنک کردن با استفاده از تهویه طبیعی	۷
خنک کردن با استفاده از جریان باد	۸
افزایش گرمای داخلی	۹
استفاده از مصالح با جرم حرارتی کم برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی	۱۰
استفاده از مصالح با جرم بالا برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی	۱۱
جریان باد در فضای بیرونی	۱۲
ایجاد رطوبت	۱۳
رطوبت زدایی	۱۴
خنک سازی به همراه رطوبت زدایی	۱۵
گرم کردن به همراه رطوبت زدایی	۱۶

با ۶,۷ و ۳۱,۵ درجه سانتی گراد متعلق به دو ماه ژانویه و ژوئیه بوده و بر مبنای سناریوی RCP2.6 این مقادیر برای ژانویه ۶,۵ و ۳۱,۳ درجه سانتی گراد می باشد. در دهه ۲۰۶۰ نتایج نشان می دهند که بر اساس سناریوی RCP8.5 کمینه و بیشینه دما همانند قبل به ژانویه و ژوئن اختصاص داشته که نرخ آن به ترتیب شامل ۷,۸ و ۳۲,۷ درجه سانتی گراد است و بر مبنای سناریوی RCP2.6 این مقادیر شامل ۷,۱ و ۳۲ درجه سانتی گراد می شود.

یافته های تحقیق

پایش و پیش یابی راهکارهای طراحی بیوکлимایی ایستگاه شیراز: در جدول (۳) دمای هوا برای دوره های مختلف شهر شیراز مشاهده می شود. همانطور که بررسی ها نشان می دهد، در دوره پایه کمترین دما با ۵,۸ درجه سانتی گراد به ژانویه اختصاص داشته و بیشینه آن با ۳۰/۹ درجه متعلق به ژوئیه است. چنانچه از خروجیها مشخص می گردد، تغییرات دما بر اساس سناریوی RCP8.5 بگونه ای می باشد که کمینه و بیشینه آن برای دهه ۲۰۳۰ به ترتیب

جدول ۳: مقادیر دمای هوا برای دوره‌های مختلف مطالعاتی ایستگاه شیراز

دوره آینده دور RCP2.6(۲۰۶۰)	دوره آینده نزدیک RCP2.6(۲۰۳۰)	دوره آینده دور RCP8.5(۲۰۶۰)	دوره آینده نزدیک RCP8.5(۲۰۳۰)	دوره پایه	ماه
۷/۱	۶/۵	۷/۸	۶/۷	۵/۸	ژانویه
۹/۶	۸/۹	۹/۹	۹/۱	۹/۳	فوریه
۱۳/۶	۱۲/۹	۱۴/۳	۱۳/۱	۱۳/۵	مارس
۱۸/۳	۱۷/۶	۱۹/۱	۱۷/۹	۱۸/۳	آوریل
۲۴/۷	۲۴	۲۵/۵	۲۴/۱	۲۴/۶	مه
۲۹/۹	۲۹/۲	۳۰/۸	۲۹/۴	۲۸/۹	ژوئن
۳۲	۳۱/۳	۳۲/۷	۳۱/۵	۳۰/۹	ژوئیه
۳۰/۸	۳۰/۱	۳۱/۶	۳۰/۳	۲۹/۹	اوت
۲۶/۷	۲۶/۱	۲۷/۵	۲۶/۳	۲۵/۸	سپتامبر
۲۰/۵	۱۹/۸	۲۱/۲	۲۰	۲۰/۲	اکتبر
۱۳/۶	۱۳	۱۴/۵	۱۳/۳	۱۲/۷	نوامبر
۸/۵	۷/۹	۹/۲	۸/۱	۷/۸	دسامبر
۱۹/۶	۱۸/۹	۲۰/۴	۱۹/۱	۱۹	میانگین

در جدول ۴ رطوبت نسبی برای دوره‌های مختلف شهر شیراز آورده شده است. در دوره پایه بیشترین رطوبت مربوط به ماه ژانویه با ۶۰ درصد و کمترین آن در ماه ژوئن با ۲۰ درصد رطوبت است. در دوره آینده نزدیک سناریوی RCP8.5 بیشترین رطوبت در ماه ژانویه با ۶۰ درصد و کمترین در ماه ژوئن با ۲۰ درصد بوده و از طرف دیگر در سناریوی RCP2.6 الگوی تغییرات رطوبت نسبی همانند سناریوی RCP8.5 می‌باشد. اما تغییرات رطوبت نسبی بر مبنای زمانی آینده دور نشان می‌دهد که در سناریوی RCP8.5 بیشترین رطوبت در ماه ژانویه با ۶۱ درصد و کمترین نرخ آن در ماه ژوئن با ۲۰ درصد می‌باشد. حال آنکه در سناریوی RCP2.6 بیشترین نرخ در ماه ژانویه با ۶۱ درصد و کمترین آن در ماه ژوئن با ۲۰ درصد تجربه خواهد شد. با توجه به میانگین‌ها مشاهده می‌شود که در آینده نزدیک و دور ۲ درصد به نرخ رطوبت نسبی افزوده خواهد شد، زیرا در دوره پایه این نرخ ۳۵ درصد بوده در صورتی که با توجه به میانگین دو دوره زمانی آینده نرخ آن به ۳۷ درصد خواهد رسید.

در شکل ۱، پراکنش فضایی داده‌های اقلیمی مربوط به سناریوی RCP8.5 نمایش داده شده است.

بر مبنای این شکل، هر نقطه بعنوان محل تلاقی دو مولفه دما و رطوبت نسبی با توجه به ۸۷۶۰ ساعت در سال (365*24) است. راهکارهای مختلف طراحی بوسیله علائم خاصی روی این نمودارها نشان داده شده است. نرم افزار Climate Consultant توزیع داده‌های سایکرومتریک را در هر یک از نواحی بررسی کرده و پس از آنالیز، لیست راهکارهای طراحی بیوکلیمایی را پیشنهاد می‌کند. همانطور که خروجی شکل ۱ نشان می‌دهد، مهمترین راهکار طراحی بیوکلیمایی مربوط به ناحیه (zone) ۹ یا همان راهکار افزایش گرمای داخلی برای دوره پایه و ناحیه ۶ یا همان راهکار سردسازی دومرحله‌ای با تأخیر برای دوره آینده نزدیک و دور می‌باشد. به نوعی که در دوره پایه و آینده نزدیک، ۲۴/۱ درصد و دوره آینده دور ۲۷/۹ درصد از فراوانی‌ها به این راهکارها اختصاص یافته است. اما برای این سه دوره مطالعاتی ملاحظه می‌شود که هیچ تجربه ای از ارائه راهکارهای شماره ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ یا همان جریان باد در فضای بیرونی، ایجاد رطوبت، رطوبت‌زدایی و خنک‌سازی به‌مراه رطوبت‌زدایی برای دوره پایه مشاهده نمی‌شود. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهد که راهکارهای ۱۳، ۱۴ و ۱۵ که شامل ایجاد رطوبت، رطوبت‌زدایی و

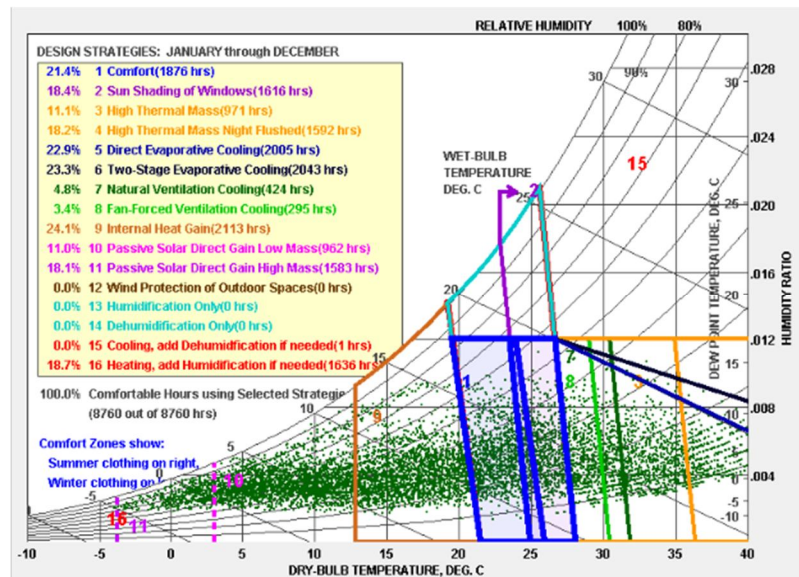
تنهایی عاملی در ایجاد آسایش داخلی ساختمان‌ها نمی‌باشند.

خنک‌سازی به‌مراه رطوبت‌زدایی می‌باشند برای دوره آینده نزدیک و دور هیچ درصد فراوانی را به خود اختصاص نداده اند و یا به‌عبارتی این راهکارها به

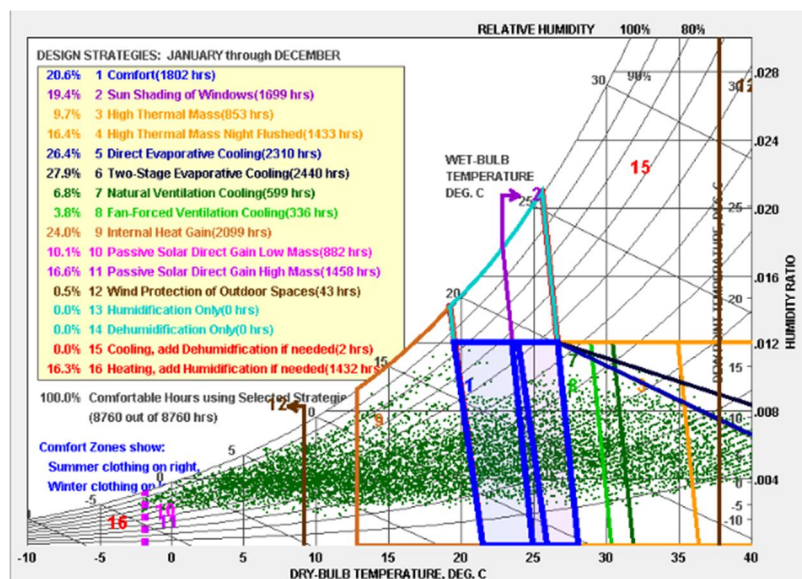
جدول ۴: مقادیر رطوبت نسبی برای دوره‌های مختلف مطالعاتی ایستگاه شیراز

ماه	دوره پایه	دوره آینده نزدیک RCP8.5(۲۰۳۰)	دوره آینده دور RCP8.5(۲۰۶۰)	دوره آینده نزدیک RCP2.6(۲۰۳۰)	دوره آینده دور RCP2.6(۲۰۶۰)
ژانویه	۵۷	۶۰	۶۱	۶۰	۶۱
فوریه	۴۵	۵۲	۵۳	۵۳	۵۲
مارس	۳۸	۴۵	۴۶	۴۵	۴۶
آوریل	۳۶	۴۱	۴۱	۴۱	۴۱
مه	۲۳	۲۸	۲۸	۲۸	۲۸
ژوئن	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
ژوئیه	۲۲	۲۱	۲۲	۲۱	۲۲
اوت	۲۴	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
سپتامبر	۲۴	۲۳	۲۳	۲۴	۲۴
اکتبر	۲۹	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
نوامبر	۴۳	۴۲	۴۳	۴۳	۴۳
دسامبر	۶۰	۵۶	۵۶	۵۶	۵۶
میانگین	۳۵	۳۷	۳۷	۳۷	۳۷

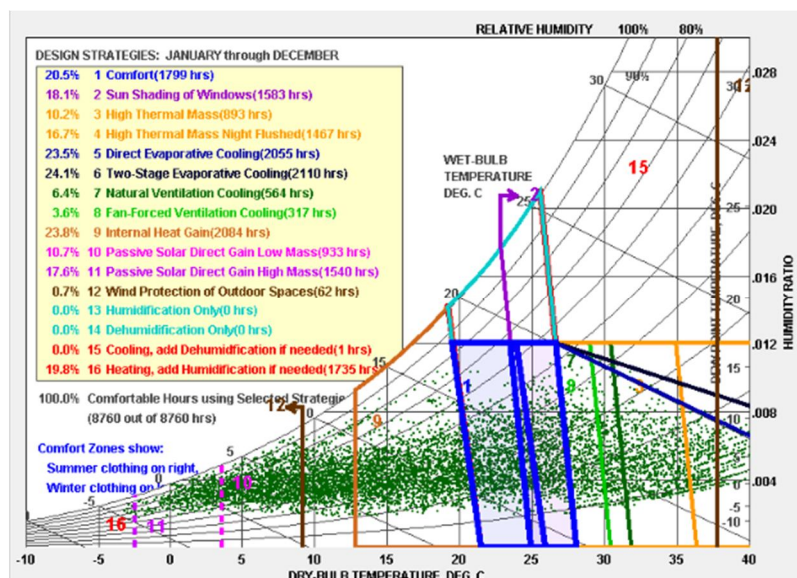
دوره پایه (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹)



دهه ۲۰۳۰ (RCP8.5)



دهه ۲۰۶۰ (RCP8.5)



شکل ۱: دیاگرام سایکرومتریک، به منظور نمایش استراتژیهای طراحی بیوکلیمایی بر مبنای دوره‌ی پایه، سناریوی RCP8.5 برای آینده نزدیک و آینده دور ایستگاه شیراز

که با توجه به گرمایش جهانی تعداد روزهای آسایش در ایستگاه شیراز کاهش خواهد یافت. در توصیه‌های بیوکلیمایی بعدی دیده می‌شود که نیاز به استفاده از راهکارهای سرمایشی با توجه به گرمایش جهانی در دهه‌های آینده افزایش نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ راهکارهای شماره دوم تا هشتم بعنوان راهکارهای بیوکلیمایی سرمایشی می‌باشند که می‌توانند با خنک نمودن فضای داخل ساختمان، شرایط آسایش را برای سکنه مهیا نمایند. چنانچه یافته‌ها نشان می‌دهند،

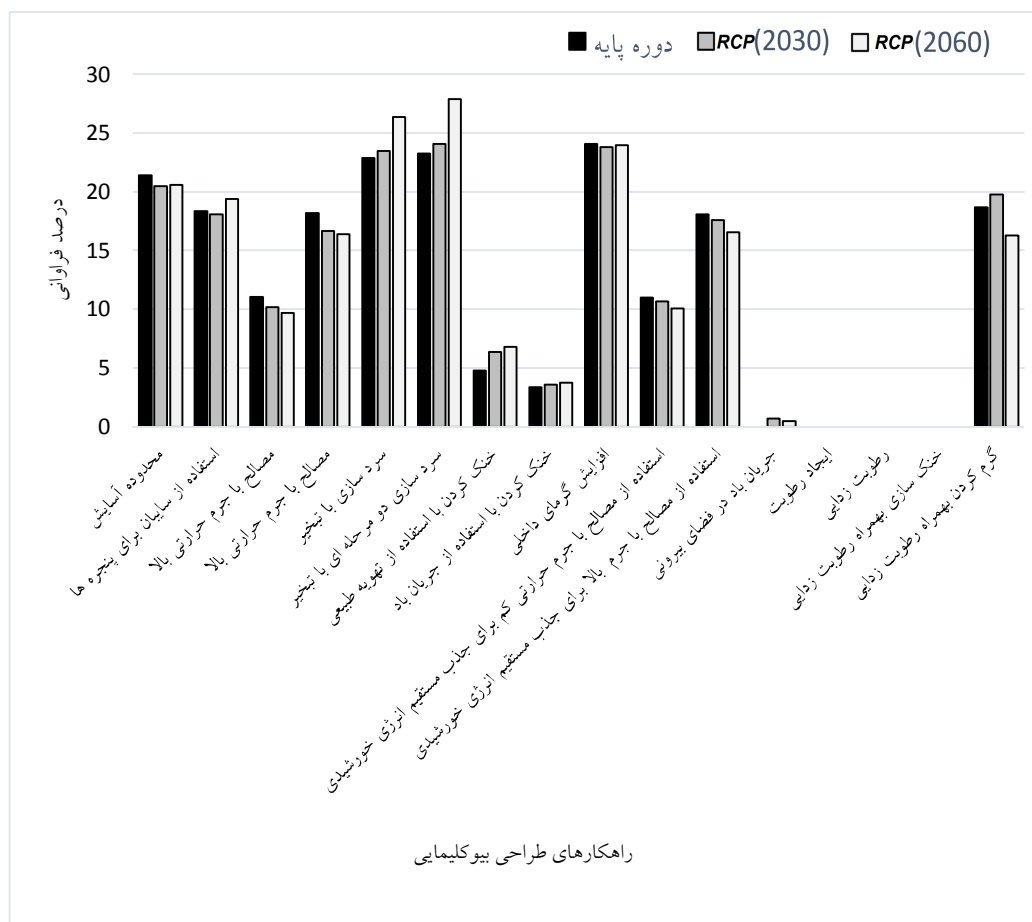
در شکل ۲ درصد فراوانی انواع راهکارهای طراحی بیوکلیمایی با توجه به دوره پایه و همچنین سناریوی RCP8.5 مشاهده می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود برای ایستگاه شیراز ناحیه بیوکلیمایی آسایش دارای تغییر روند کاهشی با توجه به گرمایش جهانی می‌باشد. همانگونه که یافته‌ها نشان می‌دهند، درصد فراوانی آسایش حرارتی بر مبنای داده‌های دوره پایه شامل ۲۱/۴، و برای آینده نزدیک ۲۰/۵ درصد و آینده دور ۲۰/۶ درصد بوده است. لذا این دورنما وجود دارد

با توجه به راهکارهای مورد نظر ملاحظه می‌شود که راهکار دوم، پنجم و ششم از راهکارهای سرمایه‌یابی، بیشترین رخدادهای فراوانی را در دهه‌های آینده نشان می‌دهند. راهکارهای ۹ تا ۱۲ به‌عنوان راهکار گرمایشی هستند اما راهکار ۹ یا افزایش گرمای داخلی برای دوره پایه ۲۴/۱ درصد و در طی دوره‌های آینده نزدیک و دور به‌ترتیب، ۲۳/۸ و ۲۴ درصد از فراوانی‌ها را به خود اختصاص داده که با توجه به گرمایش جهانی استفاده از این راهکار نوسان نشان می‌دهد. راهکار ۱۰ یا همان استفاده از مصالح با جرم حرارتی کم برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی برای دوره پایه ۱۱ و دوره آینده نزدیک ۱۰/۷ و آینده دور ۱۰/۱ درصد است. درصد فراوانی راهکار ۱۱ (یا همان استفاده از مصالح با جرم بالا برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی) بر اساس الگوی داده‌های اقلیمی در دوره پایه در حدود ۱۸/۱ درصد و برای آینده نزدیک و دور به‌ترتیب ۱۷/۶ و ۱۶/۶ درصد اختصاص داشته است. آنچه از این دو راهکار استنباط می‌شود، وجود نرخ کاهشی آنها با توجه به دورنمای گرمایش جهانی برای دهه‌های آینده می‌باشد. خروجی‌های مربوط به راهکار ۱۲ (یا همان جریان باد در فضای بیرونی) تا حدودی نوساناتی نشان می‌دهد که نمی‌توان یک روند کاهشی یا افزایشی غالبی را ملاحظه کرد. زیرا فراوانی رخداد این راهکار برای دوره پایه هیچ درصدی را نشان نمی‌دهد، دوره آینده نزدیک ۰/۷ و آینده دور ۰/۵ درصد می‌باشد. اما راهکارهای ۱۳ تا ۱۶، راهکارهای مختص به رطوبت‌زدایی و رطوبت‌زدایی می‌باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد، در ایستگاه شیراز راهکار شماره ۱۳، ۱۴ و ۱۵ که به‌ترتیب شامل توصیه‌های بیوکلیمایی ایجاد رطوبت، رطوبت‌زدایی و خنک‌سازی به‌همراه رطوبت‌زدایی می‌باشند، در هیچ دوره مطالعاتی تجربه نخواهند شد حتی در بستر گرمایش جهانی نیز احتیاجی به ارائه این راهکارها در محیط‌های مسکونی وجود ندارد. حال آنکه گرم کردن به‌همراه رطوبت‌زدایی یا همان راهکار شماره ۱۶ دارای الگوی متغیری در طی دوره‌های مطالعاتی می‌باشد. بگونه‌ای که این توصیه بیوکلیمایی برای دوره پایه

راهکار شماره ۲ یا استفاده از سایبان برای پنجره‌ها در حدود ۱۸/۴ درصد از فراوانی‌های مربوط به دوره پایه را به خود اختصاص داده است. حال آنکه این نرخ در دهه ۲۰۳۰ به ۱۸/۱ درصد کاهش یافته است. زیرا نیاز به سایبان به‌عنوان یک راهکار خنک‌کننده با توجه به افزایش دما می‌تواند تا حدودی بار و بودجه گرمایی را کاهش دهد. اما نرخ تغییرات این راهکار برای دهه ۲۰۶۰ از ۱۸/۱ درصد به ۱۹/۴ درصد افزایش داشته، پس نیاز به استفاده از سایبان برای جلوگیری از نور آفتاب به داخل ساختمان یک راهکار سرمایه‌یابی مناسب است و می‌توان از آن استفاده کرد. راهکار شماره ۳ یا مصالح با جرم حرارتی بالا برای دوره پایه ۱۱/۱ درصد از فراوانی‌ها را به خود اختصاص داده و برای آینده نزدیک و دور به‌ترتیب شامل ۱۰/۲ و ۹/۷ درصد می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود این راهکار در دهه‌های آینده نرخ کاهشی را تجربه خواهد نمود. راهکار شماره ۴ (مصالح با جرم حرارتی بالا) با رخداد فراوانی برای دوره پایه ۱۸/۲ درصد و برای دوره آینده نزدیک و دور به‌ترتیب ۱۶/۷ و ۱۶/۴ درصد است که با توجه به دوره آینده مقدار آن کاهش نشان می‌دهد. راهکار ۵ (یا سردسازی با تبخیر) برای دوره پایه ۲۲/۹ درصد، و برای دوره آینده نزدیک و دور به ترتیب ۲۳/۵ و ۲۶/۴ درصد از رخداد فراوانی‌ها را به خود اختصاص داده است. بر اساس نتایج این بخش از تحقیق دیده می‌شود که توصیه بیوکلیمایی شماره ۶ (یا سردسازی دوجمله‌ای با تبخیر) یک نرخ افزایشی را بر مبنای تغییرات آب و هوایی دهه‌های آینده تجربه خواهد نمود. زیرا نرخ آن در دوره پایه ۲۳/۳ درصد بوده حال آنکه برای آینده نزدیک و دور به ترتیب ۲۴/۱ و ۲۷/۹ درصد از فراوانی‌ها به این راهکار اختصاص یافته است. نرخ راهکار ۷ (یا خنک کردن با استفاده از تهویه طبیعی) در دوره پایه ۴/۸ درصد بوده و برای دوره آینده نزدیک ۶/۴ و آینده دور ۶/۸ درصد است که روند افزایشی را نشان می‌دهد. راهکار ۸ (یا خنک کردن با استفاده از جریان باد) برای دوره پایه ۳/۴ درصد، دوره آینده نزدیک و دور به ترتیب ۳/۶ و ۳/۸ درصد از فراوانی را به خود اختصاص داده است.

داده است (شکل ۲).

۱۸/۷ درصد و در دوره آینده نزدیک و دور به ترتیب ۱۹/۸ و ۱۶/۳ درصد از فراوانیها را به خود اختصاص

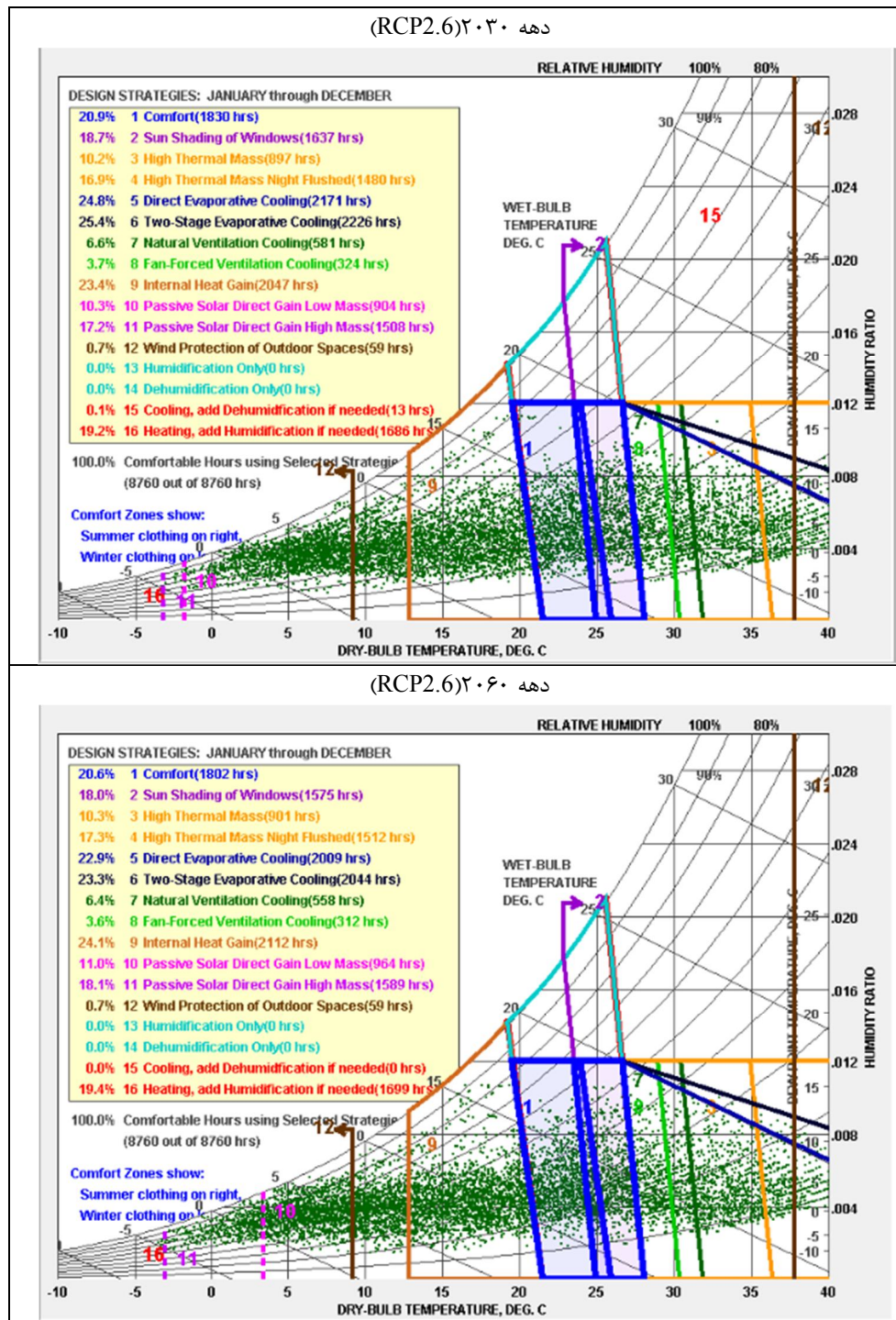


شکل ۲: درصد فراوانی هر یک از راهکارهای طراحی بیوکلیمایی بر مبنای داده‌های دوره مشاهداتی و آینده (سناریوی RCP8.5)

درصد بوده اما برای آینده دور این نرخ شامل ۲۵,۴ درصد است. در عین حال بر اساس خروجیهای مربوط به دوره مشاهداتی ملاحظه می‌شود که برای راهکارهای شماره ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ که به ترتیب شامل استراتژیهای جریان باد در فضای بیرونی، ایجاد رطوبت، رطوبت‌زدایی و خنک‌سازی همراه رطوبت‌زدایی می‌باشد هیچ تجربه رخدادی وجود ندارد. از طرف دیگر برای دوره آینده نزدیک، استراتژیهای شماره ۱۳، ۱۴ و ۱۵ (یا همان ایجاد رطوبت، رطوبت‌زدایی و خنک‌سازی همراه رطوبت‌زدایی) و همچنین راهکارهای طراحی بیوکلیمایی شماره ۱۳ و ۱۴ (یا همان ایجاد رطوبت و

شکل ۳ پراکنش فضایی داده را با توجه به سناریوی RCP2.6 نشان می‌دهد که خلاصه آماری نتایج مربوط به این شکل بوسیله شکل ۴ نمایش داده شده است. بنابراین همانطور که از شکل ۴ مشخص می‌گردد، مهمترین راهکار طراحی بیوکلیمایی با توجه به داده‌های دوره مشاهداتی مربوط به ناحیه بیوکلیمایی شماره ۹ (یا همان راهکار افزایش گرمای داخلی) بوده حال آنکه بر اساس داده‌های دوره آینده مهمترین استراتژی طراحی بیوکلیمایی توصیه در خصوص سردسازی دومرحله‌ای با تبخیر است. شایان ذکر می‌باشد که درصد فراوانی راهکار شماره ۹ برای دوره پایه و آینده نزدیک بطور مشترک شامل ۲۴,۱

رطوبت‌زدایی) نیز، هیچ درصد فراوانی مشاهده نمی‌شود و یا به عبارتی این راهکارها به تنهایی عاملی



شکل ۳: دیاگرام سایکرومتریک، به منظور نمایش استراتژی‌های طراحی بیوکلیمایی بر مبنای سناریو RCP2.6 برای آینده نزدیک و آینده دور ایستگاه شیراز

نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود برای ایستگاه شیراز نرخ روزهای همراه با آسایش

در شکل ۴ درصد فراوانی استراتژی‌های مختلف طراحی بیوکلیمایی ایستگاه شیراز برای سه دوره

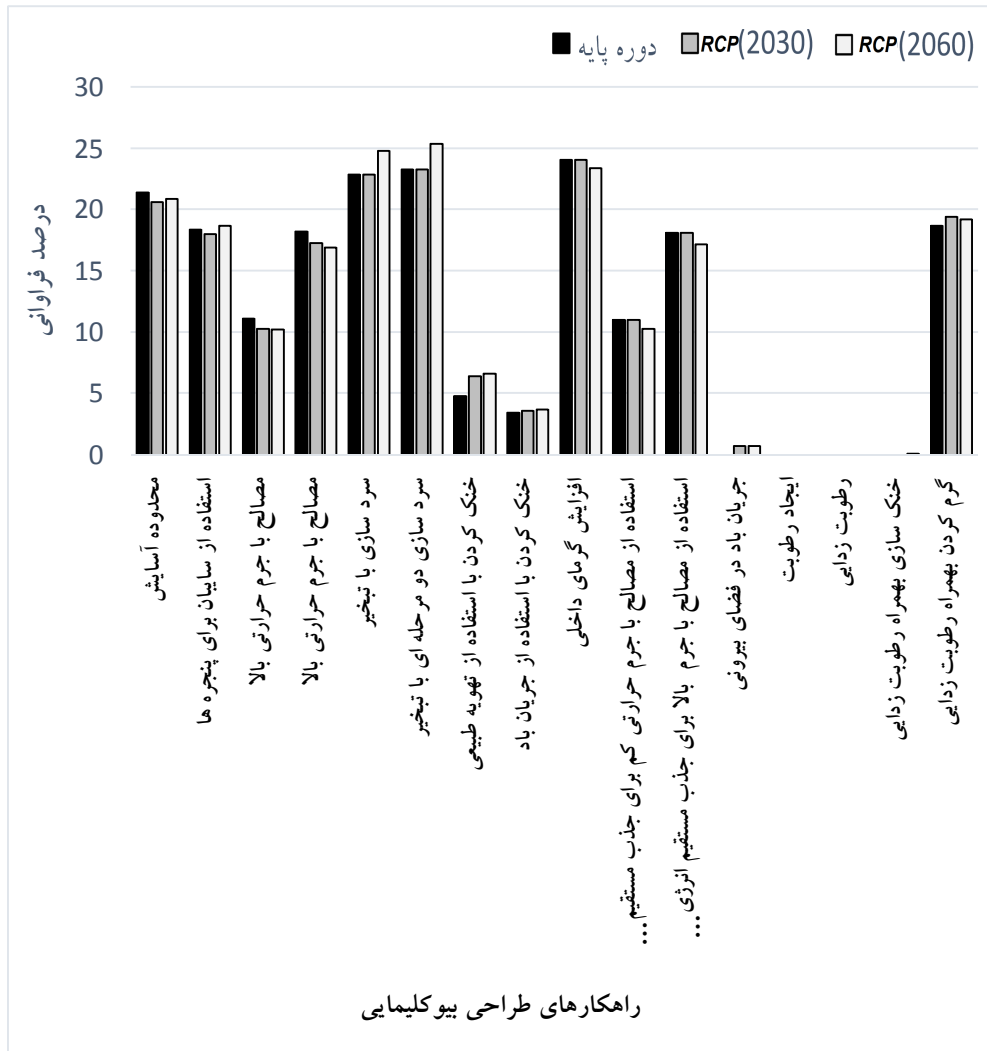
حرارتی با توجه به دورنمای گرمایش جهانی در حال کاهش می باشد. بطوری که نرخ این پهنه بیوکلیمایی در دوره پایه شامل ۲۱/۴ درصد بوده و برای آینده نزدیک ۲۰/۶ درصد و در آینده دور ۲۰/۹ درصد خواهد بود. لذا این تصور از تغییرات الگوهای بیوکلیمایی وجود دارد که اثر گرمایش جهانی منجر به کاهش تعداد روزهای آسایش خواهد شد. علی رغم این موضوع، واکاوی تغییرات سایر راهکارهای سرمایشی نشان از افزایش نرخ آنها برای دهه‌های آینده است. چنانچه از شکل ۴ مشاهده می شود، راهکارهای شماره دوم تا هشتم بعنوان راهکارهای بیوکلیمایی سرمایشی می باشند که می توانند با خنک نمودن فضای داخل ساختمان، شرایط آسایش را برای سکنه مهیا نمایند. راهکار شماره ۲ یا استفاده از سایبان برای پنجره‌ها در دوره پایه ۱۸/۴ درصد از فراوانیها را به خود اختصاص داده حال آنکه در دهه ۲۰۳۰ به ۱۸ درصد کاهش یافته است. از طرف دیگر نرخ فراوانی این استراتژی از ۱۸ درصد در دهه ۲۰۳۰ به ۱۸/۷ درصد در دهه ۲۰۶۰ افزایش داشته، پس نیاز به استفاده از سایبان برای جلوگیری از نور آفتاب به داخل ساختمان یک راهکار سرمایشی مناسب است و یکی از استراتژیها به منظور سازگاری با تغییرات آب و هوایی این ایستگاه مطالعاتی می باشد. اما راهکار شماره ۳ تحت عنوان استراتژی مصالح با جرم حرارتی بالا در حدود ۱۱/۱ درصد از فراوانیها را در دوره پایه به خود اختصاص داده است، که این نرخ در دوره آینده نزدیک به ۱۰/۳ درصد و در آینده دور به ۱۰/۲ درصد کاهش خواهد یافت. همانطور که مشاهده می شود این پهنه بیوکلیمایی در دهه‌های آینده روند کاهشی را تجربه خواهد نمود. در این راستا نتایج متعلق به راهکار شماره ۴ (یا مصالح با جرم حرارتی بالا) در دوره پایه ۱۸،۲ درصد از فراوانیها را شامل گردیده که بترتیب مقدار آن برای دهه ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ شامل ۱۷/۳ و ۱۶/۹ درصد می باشد. در خصوص استراتژی شماره ۵ (سردسازی با تبخیر) بطور مشترک نرخ آن برای دوره پایه و دهه ۲۰۳۰ ارزش ۲۲،۹ درصد را نشان می دهد که برای دهه ۲۰۶۰ به مقدار

۲۴،۸ درصد افزایش خواهد یافت. پهنه بیوکلیمایی شماره ۶ (سردسازی دمرحله‌ای با تبخیر) هم روند افزایشی را نشان می دهد چنانچه نرخ آن در دوره پایه و آینده نزدیک بطور مشترک شامل ۲۳/۳ درصد بوده و برای آینده دور ۲۵/۴ درصد از فراوانیها به این راهکار اختصاص یافته است.

بعد از بررسی نتایج مربوط به استراتژی شماره ۷ (خنک کردن با استفاده از تهویه طبیعی) مشخص گردید که روند تغییرات این پهنه بیوکلیمایی با توجه به گرمایش جهانی افزایشی می باشد. زیرا ارزش آن در دوره پایه ۴/۸ درصد بوده و بر اساس یافته‌ها دیده می شود که در دوره آینده نزدیک ۶/۴ درصد و در آینده دور ۶/۶ درصد از فراوانیها به این طبقه بیوکلیمایی اختصاص دارد. ارزیابیها در خصوص راهکار شماره ۸ (خنک کردن با استفاده از جریان باد) نشان می دهد که برای دوره پایه ۳/۴ درصد، و برای دوره آینده نزدیک و دور به ترتیب ۳/۶ و ۳/۷ درصد از فراوانی به این استراتژی اختصاص داده است. همانطور که خروجیها نشان می دهند راهکار دوم، پنجم و ششم از راهکارهای سرمایشی بوده که بیشترین تجربه رخداد فراوانیها را در دهه‌های آینده به خود اختصاص داده اند. راهکارهای ۹ تا ۱۲ به عنوان راهکار گرمایشی هستند اما راهکار مربوط به افزایش گرمای داخلی یک روند نزولی را تا دهه‌های آینده نشان می دهد. استراتژی استفاده از مصالح با جرم حرارتی کم برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی نیز از یکی الگوی متغییری برای دوره پایه تا آینده خبر می دهد. راهکار استفاده از مصالح با جرم بالا برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی برای دوره پایه و آینده نزدیک بطور مشترک ۱۸/۱ درصد و برای دوره آینده دور ۱۷/۲ درصد از یافته‌ها را شامل شده است. پهنه بیوکلیمایی مربوط به جریان باد در فضای بیرونی تغییرات قابل توجهی را در بستر گرمایش جهانی نشان نمی دهد. اما راهکارهای ۱۳ تا ۱۶ مختص به ارائه استراتژیهای مربوط به رطوبت‌زایی و رطوبت زدایی است. همانطور که پیشتر بیان شد در ایستگاه شیراز، راهکار شماره ۱۳، ۱۴ و ۱۵ در هیچ دوره مطالعاتی تجربه رخداد

درصد فراوانی ۱۸/۷ درصد برای دوره پایه و ارزش‌های ۱۹/۴ و ۱۹/۲ درصد برای دو دهه ۲۰۳۰ و ۲۰۶۰ می‌باشد.

برای آنها ملاحظه نمی‌شود. در عین حال استفاده از توصیه بیوکلیمایی گرم کردن در تلفیق با رطوبت‌زدایی (شماره ۱۶) دارای یک روند افزایشی با



شکل ۴: درصد فراوانی هر یک از راهکارهای طراحی بیوکلیمایی بر مبنای داده‌های دوره مشاهداتی و آینده (سناریوی RCP2.6)

و ۲۳/۳ درصد می‌باشد. از طرف دیگر دورنمای تغییرات آب و هوایی دهه ی ۲۰۶۰ به گونه‌ای می‌باشد که سهم این راهکار بر مبنای سناریوهای مورد مطالعه به‌ترتیب، عدد ۲۷/۹ و ۲۵/۴ درصد را شامل خواهد شد. بنابراین مشخص است که اثر گرمایش جهانی باعث افزایش نیاز به انرژی خنک‌کنندگی از نوع راهکار سردسازی دومرحله‌ای با تبخیر برای دهه‌های آینده خواهد شد. حال آنکه در خصوص راهکارهای

نتیجه‌گیری

بر مبنای نتایج استحصال شده برای شیراز مشخص شد که مهم‌ترین راهکار خنک‌کنندگی به راهکار سردسازی دومرحله‌ای با تبخیر اختصاص دارد. به‌طوری که درصد فراوانی این راهکار برای دوره پایه، ۲۳/۳ درصد محاسبه گردید. حال آنکه بر مبنای هر دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5، برای دهه ۲۰۳۰ نرخ فراوانی رخداد این پهنه بیوکلیمایی شامل ۲۴/۱

میزان ۱۷/۷۳ درصد بوده که برای دوره آینده دور بر مبنای سناریوی RCP8.5 شامل ۱۲/۸۰ درصد و سناریوی RCP2.6 مقدار ۱۲/۸۸ درصد محاسبه گردیده است.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان "سنجش اثرات تغییرات اقلیمی بر شرایط میکروکلیمایی سایت مطالعاتی بیمارستان ۵ آذر شهر گرگان و بیمارستان نمازی شیراز به منظور کاهش اثرات تنش‌های حرارتی بر بیماران" به شماره کد طرح ۹۹۰۰۰۰۶۹ که با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور (Iran National Science Foundation: INSF) به انجام رسیده است می‌باشد.

گرمایشی، مهم‌ترین این راهکارها به منظور تأمین آسایش داخل ساختمان‌ها مربوط به راهکار "افزایش گرمای داخلی" می‌باشد. این راهکار برای دوره پایه، ۲۴/۱ درصد از فراوانی‌ها و برای دوره آینده نزدیک به ترتیب، برای سناریوی RCP8.5، ۲۳/۸ درصد و سناریوی RCP2.6، ۲۴/۱ درصد را به خود اختصاص داده است. از طرف دیگر برای آینده دور سناریوی RCP8.5، ۲۴ درصد و سناریوی RCP2.6، ۲۳/۴ درصد از ایام مطالعاتی نیازمند استفاده از این استراتژی بیوکلیمایی می‌باشد. مجموعاً برای شیراز مشاهده شد که سهم تقاضا برای "انرژی گرمایشی" بیش از نیاز به "انرژی سرمایشی" بوده است. اما با توجه به تغییر اقلیم آینده سهم نیاز به انرژی گرمایشی در حال کاهش است. یافته‌های ما در اینجا نشان دادند که نیاز کلی به انرژی گرمایشی برای دوره پایه به

منابع

- انتظاری، علیرضا و میوانه، فاطمه و خزاعی نژاد، فروغ. (۱۳۹۹). خورشید، باد و نور (استراتژی‌های طراحی در معماری همساز با اقلیم) مطالعه موردی: شهر یزد. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۲۰ (۵۶): ۲۴۰-۲۲۳.
- پاینده، نصراله. (۱۳۸۴) پهنه بندی دمای موثر در سطح کشور، رساله دکتری، دانشگاه اصفهان.
- تابان، محسن، پور و جعفر، محمد رضا و بمانیان، محمد رضا و حیدری، شاهین. (۱۳۹۲). تعیین الگوهای بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول. مجله باغ نظر، ۲۷ (۱۰): ۴۸-۳۹.
- غیور، حسنعلی. (۱۳۷۳). تأثیر اقلیم در معماری فولاد شهر، مجموعه مقالات هشتمین کنگره جغرافیدانان ایران (جلد اول)، تهران.
- رازجویان، محمود. (۱۳۶۷). آسایش بوسیله ی معماری همساز با اقلیم، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- صفایی پور، مسعود و روزبه، حبیبه (۱۳۹۲). هویت و توسعه پایدار محله‌ای در شهر شیراز مورد: محله فخرآباد. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۱ (۳۱): ۱۰۷-۱۲۰.
- Alshamrani, O.S., Galal, K., and Alkass, S. (2014). Integrated LCA-LEED sustainability assessment model for structure and envelope systems of school buildings. Building and Environment, 80, 61-70.
- ASHRAE, (2001). Ashrae standard 55: Thermal Environmental conditions for human occupancy, American society of heating, Refrigerating, and air conditioning Engineers.
- Castro-Lacouture, D., Sefair, J.A., Flórez, L., and Medaglia, A.L. (2009). Optimization model for the selection of materials using a LEED-based green building rating system in Colombia. Building and environment, 44(6): 1162-1170.
- De Santoli, L., Fraticelli, F., Fornari, F., and Calice, C. (2014). Energy performance assessment and a retrofit strategy in public school buildings in Rome. Energy and Buildings, 68: 196-202.
- Givoni, B. (1969). climate and Architecture. Amsterdam: Elsevier publishing company Limited.
- Givoni, B. (1969). Man, climate and Architecture. Elsevier publishing company limited. New York, K, London. Amsterdam, 19.
- Givoni, B. (1997). climate considerations in building and urban design. I.T.P.PUB.INC.
- Mateus, R., and Bragança, L. (2011). Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SB ToolPT-H. Building and environment, 46(10): 1962-1971.
- Matzarakis, A., and Mayer, H. (1997). Heat stress in Greece. Int. J. Biometeorol 41: 34-39 © ISB 1997.

21. Tahsildoost, M., and Zomorodian, Z.S. (2015). Energy Retrofit Techniques: An Experimental Study of two Typical School Buildings in Tehran. *Energy and Buildings*, 104: 65–72.
22. Terjung, W.H. (1968). World patterns of the monthly comfort index. *International journal of bio-meteorology*. 12: 141-151.
23. Yaglou, C.P. (1972). The comfort zone for man. *Journal of Industrial Hygiene*, (9): 251.
24. Zhang, G., and Zhenga, C.(2007), Thermal Comfort Investigation of Naturally Ventilated Classrooms in a Subtropical Region, *Indoor and Built Environment*, 16(2): 148–158.
25. Zomorodian, Z. S., & Nasrollahi, F. (2013). Architectural design optimization of school buildings for reduction of energy demand in hot and dry climates of Iran. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*, 23, (1, 2), 41-50.
16. Miller H. (2008). The Attributes of Thermal Comfort. (Solution Essay) *ERGONOMIC CRITERIA FOR THE DESIGN OF "BREATHABLE" WORK CHAIRS*.
17. Olgyay, V. (1963). *Design with climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, Princeton.
18. Prek, M. (2006). Thermodynamically analysis of human thermal comfort, *Energy*, pp 732-743.
19. Reza, B., Sadiq, R., and Hewage, K. (2011). Sustainability assessment of flooring systems in the city of Tehran: an AHP-based life cycle analysis. *Constr Build Mater*, 25(4): 2053–2066
20. Spagnolo, J., and Dear, R. (2003). A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia, *Building and Environment*, 138 (5): 721-738.

