

## مقایسه تهدیدها و فرصت‌های متأثر از گرمایش جهانی بر ذخیره انرژی ساختمان‌ها در یک تیپ اقلیمی بیابانی سرد برای مادرید در اسپانیا و مشهد در ایران

غلامرضا روشن<sup>۱\*</sup>، جوزه اوراسو<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

<sup>۲</sup> گروه انرژی، دانشگاه لاکرونیا، لاکرونیا، اسپانیا

تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۱

### چکیده

در این پژوهش به منظور پایش و پیش‌یابی اثر تغییرات اقلیمی بر الگوی طراحی بر مبنای یک مطالعه مقایسه‌ای بین مشهد و مادرید با یک تیپ تقریباً مشابه اقلیمی، انجام شده است. در این پژوهش به منظور مدل‌سازی طراحی بر مبنای دو سری زمانی داده‌های اقلیمی استفاده شده است. داده‌های پایه این مقاله مربوط به دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ است و از پایگاه داده‌ای نرم‌افزار متئونوم استخراج گردیده و به منظور ریزمقیاس نمایی و پیش‌یابی داده‌های اقلیمی مؤلفه‌های تابش، دما، سرعت باد و رطوبت نسبی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3، از نرم‌افزار CC World Weather Gen استفاده شده است. لازم به توضیح است که سناریوی مورد استفاده در این تحقیق، سناریوی A2 است. یافته‌های این تحقیق نشان دادند که میانگین دمای سالانه برای دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ نسبت به دهه حاضر، به ترتیب برای مشهد به میزان ۰٫۳ و ۱٫۷ درجه سانتی‌گراد و برای مادرید ۱٫۶ و ۳٫۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت و از طرف دیگر تغییرات افزایشی رطوبت نسبی دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در قیاس با دوره پایه به ترتیب برای مشهد شامل ۶٫۷۵ و ۷ درصد و برای مادرید نرخ افزایشی آن شامل ۱۱٫۰۸ و ۱۱٫۱۷ درصد خواهد بود. در مجموع برآیند تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده منجر به تغییر در راهکارهای طراحی بر مبنای ساختمان‌ها برای هر دو شهر مطالعاتی خواهد شد، اما وجه مشترک برای هر دو منطقه مطالعاتی با توجه به تغییرات اقلیمی آینده، درصد کاهش ایام نیاز به تأمین استراتژی‌های طراحی بر مبنای بخش گرمایشی است، اما در بخش استفاده از راهکارهای بر مبنای سرمایشی، افزایش نیاز به این استراتژی‌ها برای مادرید قابل ملاحظه بوده، اما در مشهد تنها نیاز در استفاده از سایبان برای پنجره‌ها افزایش نشان می‌دهد و استفاده از سایر راهکارهای سرمایشی دارای روند کاهشی می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** سناریوی اقلیمی، مدل‌سازی ساختمان، راهکارهای طراحی بر مبنای سازگاری اقلیمی

### مقدمه

بالای آلاینده‌ها و هزینه‌ها و خطرات ناشی از آن، به‌ویژه در مناطقی که تراکم بالایی دارند، نه تنها نگرانی سیاست‌گذاران بلکه نگرانی عمومی را به خود جلب کرده است. براساس آمار منتشر شده توسط توانیر (۱۳۹۴) مشخص گردید که از کل انرژی مصرفی در ایران حدود ۴۴ درصد آن در بخش ساختمان‌ها مصرف می‌شود که از این مقدار ۳۳ درصد آن صرف تأمین انرژی سرمایشی و گرمایشی سکونتگاهها می‌شود (محمد، ۲۰۱۳؛ وزارت نیرو، ۲۰۱۵). در ایران در سال ۲۰۰۹ کل انتشار گازهای گلخانه‌ای از مصرف انرژی به بالاترین سطح خود به میزان ۵۲۸٫۶ میلیون

بر مبنای گزارش بین‌الدول تغییر آب‌وهوا، به این موضوع استناد گردیده است که از سال ۱۷۵۰ به دلیل فعالیت‌های انسانی در جهان، غلظت دی‌اکسید کربن جو افزایش یافته است. افزایش جهانی در غلظت دی‌اکسید کربن عمدتاً به دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری زمین است که در نهایت منجر به گرم شدن آب‌وهوای زمین شده است (لو<sup>۲</sup> و وو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۶، هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷). غلظت

\* نویسنده مسئول: ghr.roshan@gu.ac.ir

2. Luo  
3. Wu  
4. IPCC

5. Iran Power Industry

تن کربن رسید (Iran IEB<sup>۱</sup>, 2010). یافته‌های مطالعاتی سازمان جهانی محیط‌زیست، حاکی از آن است که ۹۰ درصد از منشأ آلودگی دی‌اکسید کربن در ایران، انرژی است (UNDP, 2010). براساس گزارش بانک جهانی بر مبنای گزارشات سال ۲۰۱۱ برای ایران مشخص گردیده است که، مصرف انرژی از طریق سوخت‌های فسیلی در قیاس با سایر منابع تأمین‌کننده انرژی حدود ۹۹/۵۲ درصد از این سهم را به خود اختصاص داده است. بر مبنای این گزارش، گرایش بالا به منابع تأمین‌کننده انرژی از طریق سوخت‌های فسیلی باعث تولید ۴۸۰ میلیون تن انتشار گاز دی‌اکسید کربن در سال ۲۰۱۲ شده که انتظار می‌رود اگر همین روند تا سال ۲۰۳۰ ادامه یابد، انتشار دی‌اکسید کربن دو برابر شود (مشیری<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). علی‌رغم این موضوع در برخی گزارشات، ایران به‌عنوان نهمین تولیدکننده دی‌اکسید کربن در جهان معرفی می‌گردد که این جایگاه با توجه به سهم ایران در انتشار دی‌اکسید کربن در سطح بین‌المللی قابل تأمل است (الیور<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). جدای از نقش ایران در انتشار گازهای گلخانه‌ای، تأثیرپذیری ایران از تغییرات اقلیمی دهه‌های کنونی و پیش روی به‌عنوان معضل دیگری شناخته می‌شود، به‌طوری‌که مطالعات مختلفی در خصوص تأثیرگذاری تغییر اقلیم بر دگرگونی روند پارامترهای اقلیمی در سطح ایران انجام شده است (زارع نیستانک<sup>۴</sup> و همکاران، 2014a,b, دهوردی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۴، جعفری و همکاران، ۱۳۹۷)؛ اگرچه کشور اسپانیا در قیاس با ایران، در جایگاه پایین‌تری با توجه به رتبه‌ی ۲۵ آن در سطح جهان از لحاظ انتشار دی‌اکسید کربن و گازهای گلخانه‌ای قرار دارد، اما آمار موجود گویای روند افزایشی انتشار دی‌اکسید کربن این کشور برای دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۷ بوده است (الیور، ۲۰۱۷). در مقایسه بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۶ برای اسپانیا، مشخص می‌گردد که انتشار گازهای گلخانه‌ای استحصال شده از

مصرف انرژی از مقدار ۲۲۵,۸۳۳ میلیون تن در سال ۱۹۹۰ به مقدار ۲۵۱,۸۹۲ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ فزونی داشته است (الیور، ۲۰۱۷). در اسپانیا نیز مطالعات روند تغییر اقلیمی برای مؤلفه‌های مختلف آب‌وهوایی از جمله دما و بارش مؤید تغییرپذیری آن‌ها در دهه‌های اخیر بوده است. به‌گونه‌ای که افزایش دمای شبانه از روند تغییرات معنادارتری نسبت به سایر مؤلفه‌های اقلیمی برخوردار بوده است (موراتیل<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۷، راموس و همکاران، ۲۰۱۲، دل ریو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). در این راستا برخی توافقات بین‌المللی در خصوص مبارزه با تغییر اقلیم و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح جهانی منعقد شده است که یکی از مهم‌ترین این توافقات، توافقنامه اقلیمی پاریس است. توافقنامه اقلیمی پاریس قراردادی در چارچوب پیمان‌نامه سازمان ملل در زمینه تغییرات اقلیمی (UNFCCC) است که قرار است از سال ۲۰۲۰ به حل مسائل مرتبط با تعدیل، تأمین بودجه و سازگاری با بحران انتشار گازهای گلخانه‌ای پردازد. یکی از اهداف این توافقنامه، ارتقاء اجرای چارچوب سازمان ملل در زمینه تغییرات اقلیمی از طریق حفظ افزایش میانگین دمای جهانی پایین‌تر از دو درجه سانتی‌گراد بالای میانگین دوران پیش‌صنعتی و تلاش برای جلوگیری از افزایش ۱,۵ درجه‌ای دما نسبت به دوران پیش‌صنعتی به‌منظور کاهش خطرات و عوارض ناشی از تغییرات اقلیمی است. این توافقنامه به‌عنوان انگیزه و نیروی محرک برای حذف سرمایه‌گذاری در حوزه سوخت‌های فسیلی و اولین پیمان جامع اقلیمی در جهان به شمار می‌رود (توافق‌نامه پاریس<sup>۸</sup>، ۲۰۱۷؛ استاوینس<sup>۹</sup> و استو<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۶). بر مبنای توافق‌نامه پاریس، ایران به‌صورت داوطلبانه اعلام نمود تا سال ۲۰۲۰ انتشار گازهای گلخانه‌ای را حدود ۴ درصد کاهش خواهد داد و مشروط بر دریافت کمک‌های جهانی تا سال ۲۰۳۰ این میزان را به ۸ درصد خواهد رساند (خبرگزاری مهر، ۲۰۱۶؛ ثبوتی، ۲۰۱۸).

6. Moratiel  
7. Del Río  
8. Paris agreement  
9. Stavins  
10. Stowe

1. Iran Energy Balance  
2. Moshiri  
3. Olivier  
4. Zarenistanak  
5. Dhorde et

### مواد و روش‌ها

**داده‌های اقلیمی:** Meteonorm به‌عنوان یک نرم‌افزار قوی در تولید داده‌های اقلیمی، از یک پایگاه داده‌ای اقلیمی قوی برخوردار است که به‌عنوان منبعی برای ورودی داده‌های تابش و سایر داده‌های اقلیمی مؤثر در شبیه‌سازی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار قادر است که با استفاده از روش درون‌یابی برای هر سایت، داده‌های اقلیمی را برای آن منطقه استخراج نماید. از جمله قابلیت این نرم‌افزار، تولید داده‌های ساعتی و دقیقه‌ای است. ورودی‌های متونورم برای تابش جهانی از the Global Energy Balance Archive (GEBA, <http://protegeba.ethz.ch>). می‌باشد. همه داده‌های هواشناسی این نرم‌افزار از سازمان هواشناسی جهانی WMO، NCDC، ۵ ماهواره هواشناسی و ۳۰ سال تجربه دریافت و تهیه گردیده است. در این نرم‌افزار به‌منظور تولید داده‌های روزانه تابش کلی از روش مولد تصادفی زنجیره مارکوف استفاده می‌شود و از روش اتورگرسیون به‌منظور تولید داده‌های ساعتی و دقیقه‌ای استفاده می‌گردد. تولید داده‌های دما بر مبنای تابش کلی و مقادیر اندازه‌گیری شده تقریباً ۵۰۰۰ سایت و ایستگاه هواشناسی در سراسر دنیا می‌باشد. متونورم قادر بوده تا داده‌های هواشناسی دیگر نظیر بارش، سرعت باد، رطوبت نسبی و تابش را تولید کند. این اطلاعات هواشناسی را می‌توان در سایر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی فتولتائیک، انرژی خورشیدی و یا ساختمان‌سازی استفاده کرد. از مزیت‌های کلیدی این برنامه تعداد بسیار بالای فرمت‌های خروجی آن است. شما می‌توانید داده‌ها را با فرمت‌های مختلف اکسل، CSV, TMY2, TMY3, EPW, PVSol, PVSyst, Polysun و غیره ... دریافت نمایید. این فرمت‌ها شامل تمامی موارد موردنیاز در نرم‌افزارهای مرتبط از جمله Climate Consultant است که در بخش بعد نرم‌افزار Climate Consultant معرفی گردیده است. در عین حال پیشنهاد می‌گردد که قبل از استفاده از داده‌های متونورم، اعتبار داده‌ها مورد واسنجی قرار گیرد؛ زیرا همان‌گونه که بیان گردید، نرم‌افزار متونورم داده‌های آب‌وهوایی را برای

سیاست‌های کنترل تغییرات اقلیمی اغلب به‌عنوان یک انتخاب بین راهکارهای "کاهش دادن" و "انطباق‌پذیری" با تغییر اقلیم و اثرات آن ارائه می‌شود. به‌طوری‌که هدف از کاهش دادن اثر تغییر اقلیم به تلاش برای کاهش انباشت گازهای گلخانه‌ای در جو اشاره می‌کند و "سازگاری یا انطباق" اشاره به راهکارهای تعدیل شدن به تأثیرات گرمایش جهانی از طریق تقویت انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌ها در نظر گرفته می‌شود (روناف<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ لوئیس<sup>۲</sup> و موسر، ۲۰۰۶). این دوگانگی اشتباه است و برای مدیریت بهتر درخصوص کنترل تغییرات آب‌وهوایی باید ابتدا فرایند نوشتن هر دو راهبرد "کاهش دادن" و "انطباق دادن" را با ارائه کدها و استانداردهای ساختمان‌مان آغاز نمود (کووک<sup>۳</sup> و راج کوئیچ<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰). علی‌رغم این موضوع یکی از نخستین گام‌ها پیش از ارائه راهکارهای "کاهش دادن" و "انطباق‌پذیری" شناخت تأثیرات گرمایش جهانی در میزان تقاضای انرژی ساختمان‌ها است؛ لذا در پژوهش حاضر، مقایسه بین تأثیرپذیری راهکارهای طراحی بر مبنای دو شهر مشهد به‌عنوان نمونه‌ای از شهرهای خاورمیانه و مادرید به‌عنوان نماینده‌ای از شهرهای جنوب اروپا انجام شده است. در مطالعات بسیاری، تأثیرپذیری مکان موردنظر از تغییرات اقلیمی در چارچوب یک مرز سیاسی و کشور خاصی انجام می‌شود، اما هدف این مقاله یک مطالعه مقایسه‌ای بوده تا میزان تأثیرپذیری راهکارها بر مبنای تحت تأثیر تغییر اقلیم، برای دو منطقه متفاوت جغرافیایی اما تقریباً مشابه از لحاظ اقلیمی مورد ارزیابی قرار گیرد؛ زیرا این پرسش پیش می‌آید که اقلیم‌های مشابه که در مناطق مختلف جغرافیایی قرار گرفته‌اند چگونه از تغییرات اقلیمی متأثر خواهند شد؛ لذا برای این منظور نمونه‌های مطالعاتی که شامل مادرید و مشهد است از یک تیپ اقلیمی بیابانی سرد بر مبنای طبقه‌بندی کوپن انتخاب گردیده‌اند.

1. Roaf
2. Luers and Moser
3. Kwok
4. Rajkovich

است، اغلب ترجیح داده می‌شود از روش ریزمقیاس نمایی آماری استفاده شود. این مدل‌ها با استفاده از خروجی GCM ها و به‌کارگیری سناریوهای خاص مدل تولیدکننده، برون داد مدل‌های گردش عمومی جو در مقیاس بزرگ را به مقیاس خرد تبدیل می‌کنند. برون داد هر کدام از مدل‌های گردش عمومی جو بر مبنای سناریوهای مختلف انتشار استحصال می‌گردد و از طرف دیگر باتوجه به عدم قطعیت داده‌های شبیه‌سازی شده به وسیله هر کدام از GCMs؛ لذا نمی‌توان محتمل‌ترین و یا ایده‌آل‌ترین GCM را معرفی نمود برای ارائه توصیه‌های سیاسی درباره نتایج تغییرات آب‌وهوایی ایجاد شده به‌وسیله انسان در قرن بیست و یکم، هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، مجموعه‌ای از سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق سولفات را تا سال ۲۱۰۰ در کمیته مطرح نمود. انتشار گازها در آینده، حاصل سیستم‌های برهمکنش پیچیده ناشی از تغییر جمعیت، توسعه اجتماعی-اقتصادی و تغییر فناوری است. تمام این موارد به‌ویژه این‌که تا سال ۲۱۰۰ ادامه پیدا کنند، نامشخص است. سناریوهای انتشار یا (SRES<sup>۳</sup>)، شامل چهار دسته سناریوی A1، A2، B1 و B2 است، اما سناریوهای خانواده‌های A با توجه به اهمیت بیشتر بر روی مؤلفه‌های اقتصادی و از طرف دیگر خانواده‌های B با تأکید بیشتر بر مؤلفه‌های محیط‌زیست از یکدیگر متمایز می‌شوند. خط سیر سناریوهای ۱ به جهانی‌شدن و یک جهان همگن تأکید داشته در حالی که خط سیرها در سناریوی ۲، مسیر به یک جهان ناهمگن تغییر می‌کند که بیشتر منطقه‌ای است (نیک<sup>۴</sup> و کالاسیدیس<sup>۵</sup>، ۲۰۱۳).

در مدل‌سازی‌هایی که با نرم افزارهای اقلیم-معماری سرو کار دارند، غالب مقیاس داده‌های هواشناسی ورودی به‌صورت ساعتی یا به‌عبارتی ۲۴ ساعته است. از طرف دیگر به منظور دستیابی به داده‌های ساعتی برای خروجی‌های مدل‌های گردش

شهرهایی که در پایگاه آن وجود ندارد، از طریق میان‌یابی بین داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های اطراف شهر موردنظر، تولید و برای آن ایستگاه اعمال می‌نماید که ممکن است با خطاهایی همراه باشد.

**معرفی مدل‌سازی و ریزمقیاس نمایی داده‌های آب و هوایی در این پژوهش:** مدل‌های آب‌وهوایی به‌عنوان ابزار هشداردهنده از تغییر آب‌وهوا نشان می‌دهند که تغییرات احتمالی آب‌وهوا در دهه‌ها و قرن‌های بعد می‌تواند سبب چه پیامدهایی شوند. باین‌که مدل‌های عددی بسیاری به دانشمندان علوم جوی در شبیه‌سازی سیستم‌های زمین کمک کرده‌اند، مدل‌های گردش عمومی جوی زیرمجموعه منحصربه‌فردی هستند. این مدل‌ها طوری طراحی شده‌اند تا گردش عمومی جو و نوسان‌های سالانه نظیر النینو و نیز پیش‌بینی روندهای آب‌وهوایی در چند دهه یا حتی چند قرن جلوتر را به بهترین صورت شبیه‌سازی کنند (هیدالگو<sup>۱</sup> و آلفارو<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴). مقیاس مکانی برون‌داد (خروجی) مدل‌های گردش عمومی جو بسیار درشت (حدوداً ۲۵۰ در ۲۵۰ کیلومتر مربع) بوده و قابل‌استفاده در مطالعات اقلیمی و سایر پژوهش‌های کاربردی نظیر مدل‌سازی اثر گرمایش جهانی بر شبیه‌سازی ساختمان نیست. از این‌رو، دانشمندان ابزارهای واسطی برای کوچک مقیاس نمودن برون‌داد مدل‌های پیش‌گفته ابداع نموده‌اند که اغلب به دو دسته آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند. در روش آماری ارتباط بین متغیرهای سطحی و برون‌داد مدل گردش عمومی از طریق روابط آماری به‌دست‌آمده در دوره تاریخی محاسبه می‌شوند. به‌طوری‌که برخی از محققان به‌منظور پیش‌یابی و ریزمقیاس نمایی متغیرهای اقلیمی آینده به‌منظور استفاده از آن‌ها در مدل‌سازی نیاز انرژی ساختمان‌ها از این دسته روش‌ها استفاده می‌کنند، اما دسته دوم شامل روش‌های ریزمقیاس نمایی دینامیکی است که این روابط از طریق حل معادله سیال هوا به دست می‌آید. از آن‌جا که روش دینامیکی پرهزینه و وقت‌گیر

3. The Special Report on Emissions Scenarios (SRES)

4. Nik

5. Kalagasidis

1. Hidalgo

2. Alfaro

چون شبیه‌سازی‌های آب‌وهوای منطقه‌ای از نظر محاسباتی هزینه‌بر است، تنها دو سناریوی انتشار (متوسط - بالا و متوسط - پایین) با مدل آب‌وهوای منطقه‌ای HadRM3 در دو محدوده زمانی اجرا گردید که شامل دوره ۱۹۶۱ - ۱۹۹۰ برای مبنای دوره ۲۰۷۱ - ۲۱۰۰ برای پیش‌بینی‌های آتی بوده است (بلچر، هکر، و پاول ۲۰۰۵). ایجاد فایل‌های داده‌ای آب‌وهوا تحت روش "مورفینگ"، دنباله‌های آب‌وهوایی را از داده‌های ثبت‌شده حفظ می‌کند، اما پیش‌بینی‌های ماهانه از GCM ها جزئیات الگوهای روزانه را ثبت نمی‌کنند و یا موجب بی‌قاعدگی‌های شدید بالقوه می‌شوند.

بر اساس رویکرد بلچر و همکارانش، گروه تحقیقات انرژی پایدار (SERG) در دانشگاه ساوت همپتون در راستای ایجاد فایل‌های آب‌وهوا برای مدل‌سازی دهه‌های آینده، در محیط اکسل یک برنامه برای کاربران تحت عنوان ("تولید فایل‌های تغییر آب‌وهوایی برای داده‌های آب‌وهوای جهان - گروه تحقیقاتی انرژی پایدار جهانی" <sup>۲</sup> "۲۰۱۵CC") توسعه دادند. نسخه‌ای از این برنامه که برای انگلستان تهیه شده بود، بر اساس مدل‌های اقلیم منطقه‌ای و یا RCM ها است که رزولوشن بالاتری را برای ۱۴ منطقه آب‌وهوایی CIBSE ارائه می‌دهد و همچنین چهار سناریوی انتشار متفاوت را در UKCIP02 مطرح می‌کند، اما نسخه قابل اجرای برنامه CC World Weather Gen برای سایر موقعیت‌های جهانی، فقط بر اساس مدل گردش عمومی HadCM3 و تحت سناریوی انتشار A2 می‌باشد. شایان ذکر است که برنامه CC World Weather Gen برای تولید فایل‌های آب‌وهوایی دهه‌های آینده نیازمند به ۹ متغیر آب‌وهوایی در قالب فرمت (EPWs) است که در زیر معرفی شده‌اند:

- دمای متوسط روزانه (TEMP)
- حداکثر دما (TMAX)
- حداقل دما (TMIN)
- تابش افقی خورشیدی (DSWF)
- کل پوشش ابر (TCLW)

عمومی جو، نیازمند استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی می‌باشیم؛ لذا بهره‌گیری از نظریه مورفینگ، می‌تواند به عنوان روشی برای تولید داده‌های اقلیم در مقیاس ساعتی باشد. نظریه "مورفینگ" یک مفهوم پایه است - که پیش‌بینی‌های آنومالی آب‌وهوایی را برای محاسبه فایل‌های داده‌ای آب‌وهوایی جدید در راستای شبیه‌سازی انرژی ساختمان، به دست می‌آورد. در سال ۲۰۰۵، بلچر، هکر و پاول بر مبنای روش جدیدی تحت عنوان "مورف" به واسطه اصلاح مجموعه داده‌های تاریخی (۸۷۶۰ داده ساعتی) بر اساس پیش‌بینی‌های آینده، یک روش برای شبیه‌سازی داده‌های آب‌وهوایی در چارچوب‌های زمانی آینده منتشر کردند. این روش به این دلیل که الگوی آب و هوایی داده‌های مشاهداتی را برای یک مکان خاص دنبال می‌کند، به کرات مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم‌ها از سه عملیات ساده برای اصلاح داده‌های آب و هوایی روزانه استفاده می‌کنند؛ (۱) یک تغییر که در زمانی اعمال می‌شود که یک تغییر مطلق به یک متغیر نیاز باشد (۲) یک ضریب مقیاس بندی در زمانی که تغییر در یک درصد پیش‌بینی می‌شود و (۳) ترکیبی از تغییر و مقیاس بندی که می‌تواند در راستای منعکس کردن پیش‌بینی‌های آینده، برای تنظیم داده‌های روز یا دوره مورد نظر استفاده شود (بلچر و سایرین، ۲۰۰۵). در مطالعه اولیه، بلچر و همکارانش داده‌های آب‌وهوایی موجود در راهنمای واجد صلاحیت مهندسين خدمات ساختمانی (راهنمای CIBSE J ۲۰۰۱) برای لندن، منچستر و ادینبورگ استفاده کردند و متغیرهای ثبت‌شده را بر اساس برنامه تأثیرات آب‌وهوایی انگلستان در ۲۰۰۲ تنظیم کردند (هولم<sup>۱</sup> و سایرین ۲۰۰۲). UKCIP02، چهار سناریوی انتشار SRES را در راستای بومی‌سازی متغیرهای غیر آب‌وهوایی و تعیین کمیت اثرات آن‌ها، به سناریوهای اجتماعی - اقتصادی مرتبط با برنامه چشم‌انداز دفتر علوم و فن‌آوری انگلستان مرتبط ساخته است (هولم و همکاران ۲۰۰۲). از آن جاکه احتمال وقوع یک سناریو بیش از دیگری نیست و

2. CC World Weather Gen

1. Hulme

نمودار گرافیکی نمایش می‌دهد و در انتها نمودار آسایش اقلیمی گیونی در قالب یک نمودار سایکومتریک را ترسیم کرده و استراتژی‌های مورد نیاز برای هر ماه را پیشنهاد می‌دهد. بر مبنای فرمت EPW، لازم است که داده‌های ورودی به‌صورت هر بیست و چهار ساعته باشد که برای یک سال این داده‌ها به‌صورت پیوسته در قالب ۸۷۶۰ ساعت به نرم‌افزار معرفی می‌شود. در این نرم‌افزار بر مبنای نمودار سایکومتریک و با استفاده از داده‌های دما و رطوبت نسبی ۱۶ راهکار مختلف طراحی بر مبنای نشان داده می‌شود؛ همچنین درصد ساعاتی را که هر ۱۶ ناحیه استراتژی روی نمودار نشان می‌دهد بیانگر رابطه بین سرمایه‌گذاری و گرمایش فعال است. شایان ذکر است که نرم‌افزار Climate consultant توسط گروه طراحی انرژی یو سی ال طراحی شده و تحت کپی‌رایت دانشگاه کالیفرنیا است (UCLA, 2018).

**معرفی تیپ اقلیمی بیابانی سرد (BSk) در طبقه‌بندی کوپن:** در طبقه‌بندی کوپن، اقلیم درون گروه B، در مناطق استپی و یا بیابانی جهان مشاهده می‌گردد. در این مناطق مقدار تبخیر و تعرق بیش از میزان بارندگی است و این مقدار به‌خصوص در بیابان‌ها اندک است. به عقیده کوپن، بارندگی مؤثر در این مناطق ارتباط بسیار نزدیکی با تلفات آب حاصل از تبخیر دارد؛ زیرا مقدار تبخیر در ارتباط با افزایش درجه حرارت فزونی می‌گیرد. از این رو در گروه اقلیمی b ناحیه‌ای که دارای تمرکز بارندگی تابستانی است، از ناحیه‌ای که دارای تمرکز بارندگی زمستانی است خشک‌تر خواهد بود. در این اقلیم بارش کمتر از میزان بالقوه تبخیر است. میزان تبخیر-تعرق (به میلی‌متر) به این ترتیب تعیین می‌شود که اگر میانگین دمای سالانه به سانتی‌گراد ضرب در ۲۰ شود و سپس اگر ۷۰ درصد یا بیشتر از کل بارش در نیمه‌ای از سال که خورشید بالا است (آوریل تا پایان سپتامبر در نیمکره شمالی، یا اکتبر تا پایان مارس در نیمکره جنوبی) رخ دهد عدد به‌دست آمده به‌اضافه ۲۸۰ می‌گردد، اما اگر ۳۰ تا ۷۰ درصد از کل بارش در طول دوره یادشده روی دهد، عدد به‌دست آمده به‌اضافه ۱۴۰ می‌شود و

- میزان بارش کل (PREC)
- رطوبت نسبی (RHUM)
- فشار متوسط دریا (MSLP)
- سرعت باد (WIND)

لذا به‌منظور استفاده از برنامه CCWorld Weather Gen، ابتدا برای دوره پایه، داده‌ها به فرمت EPW از پایگاه داده‌های متئونورم تهیه و به عنوان ورودی به این نرم‌افزار معرفی گردیدند و سپس در گام بعد با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 و تحت سناریوی انتشار A2، مقادیر مولفه‌های اقلیمی مورد نظر برای دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ شبیه‌سازی گردید تا در مراحل بعد مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور خلاصه می‌توان بیان کرد که هدف از استفاده از نرم‌افزار CCWorld Weather Ge، ریزمقیاس‌نمایی زمانی (ساعتی) و مکانی داده‌های اقلیمی دهه‌های آینده استحصالی شده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 به فرمت EPW است.

**معرفی نرم‌افزار Climate Consultant:** کاهش هزینه‌های تمام‌شده ساختمان و هزینه‌های صرف انرژی، در بازه زمانی عمر مفید ساختمان و نیز راحتی اقامت در طول روزهای گرم و سرد سال از دغدغه‌های طراحی ساختمان‌هاست. بدین منظور با استفاده از اطلاعات آب‌وهوایی و پردازش این داده‌ها توسط نرم‌افزار Climate Consultant می‌توان به مصرف بهینه انرژی دست‌یافت. طرح کاربردی مؤثر بر کاهش مصرف انرژی نیازمند این است که بر اساس آب‌وهوای مختلف طراحی ساختمان‌ها متفاوت باشد. این نرم‌افزار به کسانی که در حال ساخت، نگهداری و طراحی ساختمان در سرتاسر جهان هستند کمک می‌کند تا تأثیر اقلیم و شرایط آب‌وهوایی محل خود و نحوه تأثیر آن را روی ساختمان‌هایشان درک کنند. این نرم‌افزار به‌طور خودکار فهرستی از راهکارهای طراحی را بر اساس خصوصیات آب‌وهوایی هر منطقه ارائه می‌دهد و در نهایت نحوه به‌کارگیری این راهکارها را در قالب یک طرح تشریح کننده پیشنهاد می‌کند. در این نرم‌افزار داده‌های اقلیمی در قالب فرمت EPW به نرم‌افزار معرفی می‌شود و سپس Climate consultant تمام آمار هواشناسی یک ایستگاه را به‌صورت ۱۷

1. UCLA Energy Design Group

سالانه دوره پایه افزایش نشان دهد. خروجی مدل‌سازی‌ها برای تغییرات رطوبت نسبی نشان می‌دهند که در مشهد تنها ماه با کاهش رطوبت نسبی دسامبر است که مقدار کاهشی آن برای دهه ۲۰۵۰ معادل ۱ درصد و برای دهه ۲۰۸۰ به مقدار ۲ درصد نسبت به دوره پایه است. حال آن‌که بیشینه افزایش مقدار رطوبت نسبی برای دهه‌های آینده به ترتیب متعلق به اکتبر، مارس و آوریل است. علی‌رغم این موضوع، مشاهده می‌شود که برای اکتبر در دهه ۲۰۵۰ میزان افزایش رطوبت نسبی ۱۲ درصد و در دهه ۲۰۸۰ به مقدار ۱۳ درصد فزونی خواهد یافت (جدول ۱). برای مادرید نیز تغییرات اقلیمی آینده گویای افزایش میانگین سالانه رطوبت نسبی برای دهه‌های آینده است به طوری که میانگین سالانه آن برای دهه ۲۰۵۰ معادل ۱۱,۰۸ و برای دهه ۲۰۸۰ به مقدار ۱۱,۱۷ درصد نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد. آنچه خروجی‌ها برای مادرید نشان می‌دهد، گویای این نکته است که در هیچ‌یک از ماه‌های مطالعاتی روند کاهش رطوبت نسبی در قیاس با دوره پایه ملاحظه نمی‌گردد، اما با این تفاسیر بیشینه افزایش رطوبت نسبی در مادرید در انتهای بهار تا اواسط تابستان مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار آن برای هر دو دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ به‌طور مشترک با افزایش ۲۲ درصدی رطوبت نسبی متعلق به ژوئن است، اما کمترین افزایش رطوبت نسبی مربوط به اواخر پاییز و اوایل زمستان بود که ماه ژانویه برای هر دو دهه آینده به‌طور مشترک با ۲ درصد افزایش رطوبت نسبی در مقایسه با سایر ماه‌ها کمترین مقدار افزایشی رطوبت نسبی را دارد (جدول ۱). از دیگر مؤلفه‌های اقلیمی تأثیرگذار بر شرایط آسایش حرارتی سکنه سکونتگاهها، مؤلفه اقلیمی دماست که ترکیب آستانه‌های مختلف رخداد آن با آستانه‌های مختلف رطوبت نسبی می‌تواند شرایط متفاوتی از لحاظ آسایش حرارتی و تقاضای انرژی در داخل ساختمان‌ها استحصال نماید، اما خروجی کلی این بخش نشان می‌دهد که برای هر دو ایستگاه، میانگین سالانه دما برای دهه‌های آینده نسبت به دوره پایه افزایشی است. مقدار این افزایش برای دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در مشهد

بالاخره اگر کمتر از ۳۰٪ از کل بارش در دوره یادشده باشد عدد به‌دست‌آمده به‌اضافه صفر می‌شود. اگر بارش سالانه کمتر از ۵۰٪ این مقدار باشد، منطقه مورد نظر به‌عنوان اقلیم بیابانی (BW) شناخته می‌شود. اگر بین ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ از این میزان باشد منطقه مورد نظر به‌عنوان اقلیم نیمه‌خشک (BS) شناخته می‌شود. حرف سومی می‌تواند به نماد افزوده شود تا دما را نشان دهد. حرف h نشانگر اقلیم‌هایی است که در عرض جغرافیایی پایین قرار دارند (دمای میانگین سالانه آن‌ها بالای ۱۸ درجه سانتی‌گراد است). حرف k نشانگر اقلیم‌هایی است که در عرض‌های میانی جغرافیایی قرار دارند (دمای میانگین سالانه آن‌ها زیر ۱۸ درجه است)، ولی امروزه بیشتر (به‌ویژه در ایالات متحده) حرف h نشانگر این است که میانگین دمای سردترین ماه سال بالای صفر درجه سانتی‌گراد است و حرف k نشانگر این است که دست‌کم دمای میانگین یک ماه سال زیر صفر درجه است.

#### یافته‌های تحقیق

در پژوهش حاضر به منظور اعتبارسنجی خروجی‌های نرم افزار متئونورم، مقادیر شبیه‌سازی شده آن با مقادیر واقعی برای دوره پایه ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته شد. مولفه‌های اقلیمی مورد ارزیابی در این پژوهش شامل دما و رطوبت نسبی در مقیاس ساعتی است. نتایج این بخش از ارزیاب‌ها نشان دادند که رابطه معناداری بین مقادیر شبیه‌سازی شده متئونورم با داده‌های واقعی برای هر دو مؤلفه اقلیمی و هر دو ایستگاه مطالعاتی وجود دارد که این نتایج به‌طور خلاصه در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

در جدول (۲)، تغییر الگوی رطوبت نسبی و دما در مقیاس میانگین ماهانه برای دو دوره حال و آینده نمایش داده شده است. همان‌گونه که از این جدول ملاحظه می‌شود: تغییرات رطوبت نسبی مشهد در اکثر ماه‌های سال در آینده، مقادیر افزایشی را نشان می‌دهد. به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود میانگین سالانه رطوبت نسبی برای دهه ۲۰۵۰ به مقدار ۶,۷۵ درصد و برای دهه ۲۰۸۰ به مقدار ۷ درصد نسبت به میانگین

پایه می‌باشد؛ همچنین برای مشهد به‌طور مشترک بیشترین افزایش دما با ۱,۶۷ درجه سانتی‌گراد در اواخر بهار و اوایل تابستان برای ماههای ژوئن و جولای رخ داده است، اما در مادرید در هیچ یک از ماه‌های سال کاهش دما در دهه‌های آینده دیده نمی‌شود، ولی در عین حال بیشترین افزایش دما برای هر دو دوره آینده متعلق به سپتامبر بوده که در دهه ۲۰۵۰ مقدار افزایشی آن ۳,۳۳ و برای ۲۰۸۰ مقدار آن ۵ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۲).

به ترتیب شامل ۰,۳۲ و ۱,۷۶ درجه سانتی‌گراد بوده ولی برای مادرید شامل ۱,۶ و ۳,۲ درجه سانتی‌گراد است. علی‌رغم این موضوع در برخی ماهها برای مشهد کاهش دما نسبت به دوره پایه ملاحظه می‌شود که در دهه ۲۰۵۰ در ماه‌های فوریه، مارس و اکتبر به ترتیب کاهش دما شامل ۱,۶۷، ۱,۱۱ و ۰,۵۶ درجه سانتی‌گراد است، حال آن‌که در دهه ۲۰۸۰ تنها ماهی که کاهش دما برای آن مشاهده می‌شود فوریه با کاهش ۱,۱۱ درجه سانتی‌گرادی دما نسبت به دوره

جدول ۲: اعتبارسنجی مقادیر دما و رطوبت نسبی شبیه سازی شده با استفاده از نرم‌افزار متئونورم با داده های واقعی برای دوره مطالعاتی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰.

Years	ERORR	دمای هوا	رطوبت نسبی
مشهد	MAE	۱/۴۷	۶/۷۷
	RMSE	۱/۹۸	۹/۸۱
	MBE	۰	۰
	R <sup>2</sup>	۰/۹۶	۰/۶۷
مادرید	MAE	۱/۳۶	۹/۳۶
	RMSE	۱/۸۲	۱۳/۱۸
	MBE	۰	۰
	R <sup>2</sup>	۰/۹۷	۰/۶۵

جدول ۲: مقایسه میانگین دما و رطوبت نسبی ماهانه مشهد و مادرید برای دو دوره مطالعاتی حال و آینده (دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰)

مقیاس زمانی	مؤلفه میانگین دمای ماهانه به درجه سانتی‌گراد						مؤلفه میانگین رطوبت نسبی به درصد					
	مشهد			مادرید			مشهد			مادرید		
	پایه	۲۰۵۰	۲۰۸۰	پایه	۲۰۵۰	۲۰۸۰	پایه	۲۰۵۰	۲۰۸۰	پایه	۲۰۵۰	۲۰۸۰
Jan	۱,۱	۱,۱	۲,۲	۵	۶,۷	۷,۸	۷۰	۷۳	۷۳	۷۵	۷۷	۷۷
Feb	۵	۳,۳	۳,۹	۶,۷	۸,۳	۸,۳	۶۴	۷۲	۷۳	۶۸	۷۴	۷۶
Mar	۱۰,۶	۹,۴	۱۰,۶	۱۰	۱۰,۶	۱۱,۷	۵۵	۶۷	۶۷	۵۹	۶۷	۶۷
Apr	۱۵,۶	۱۶,۱	۱۷,۸	۱۱,۷	۱۲,۸	۱۴,۴	۵۲	۶۲	۶۱	۵۸	۶۹	۶۹
May	۲۱,۱	۲۲,۲	۲۴,۴	۱۶,۷	۱۷,۸	۱۹,۴	۴۱	۴۸	۴۸	۵۳	۶۶	۶۵
Jun	۲۵,۶	۲۷,۲	۲۸,۹	۲۲,۸	۲۲,۸	۲۵	۳۰	۳۷	۳۶	۴۰	۶۲	۶۲
Jul	۲۷,۸	۲۹,۴	۳۱,۱	۲۵,۶	۲۷,۲	۳۰	۲۷	۳۳	۳۳	۳۱	۵۲	۵۲
Aug	۲۶,۷	۲۷,۲	۲۸,۹	۲۴,۴	۲۶,۷	۲۹,۴	۲۵	۳۲	۳۲	۳۴	۵۴	۵۴
Sep	۲۱,۱	۲۲,۲	۲۳,۹	۱۹,۴	۲۲,۸	۲۴,۴	۳۱	۳۶	۳۸	۴۶	۶۲	۶۲
Oct	۱۶,۱	۱۵,۶	۱۷,۲	۱۴,۴	۱۶,۷	۱۸,۳	۳۹	۵۱	۵۲	۶۴	۷۰	۷۰
Nov	۸,۹	۹,۴	۱۰,۶	۸,۳	۱۰	۱۱,۱	۵۶	۶۱	۶۳	۷۲	۷۷	۷۷
Dec	۳,۹	۳,۹	۵	۵	۷,۲	۸,۳	۷۱	۷۰	۶۹	۷۶	۷۹	۷۹
Annual	۱۵,۳	۱۵,۶	۱۷	۱۴,۲	۱۵,۸	۱۷,۴	۴۶,۸	۵۳,۵	۵۳,۸	۵۶,۳۳	۶۷,۴۲	۶۷,۵

آب‌وهوایی در دهه‌های آینده برای هر دو ایستگاه مشهد و مادرید گویای افزایش دما و رطوبت نسبی در

تحلیل نتایج مدل سازی برای الگوی‌های مختلف طراحی بر مبنای نتایج مدل سازی شرایط جدید



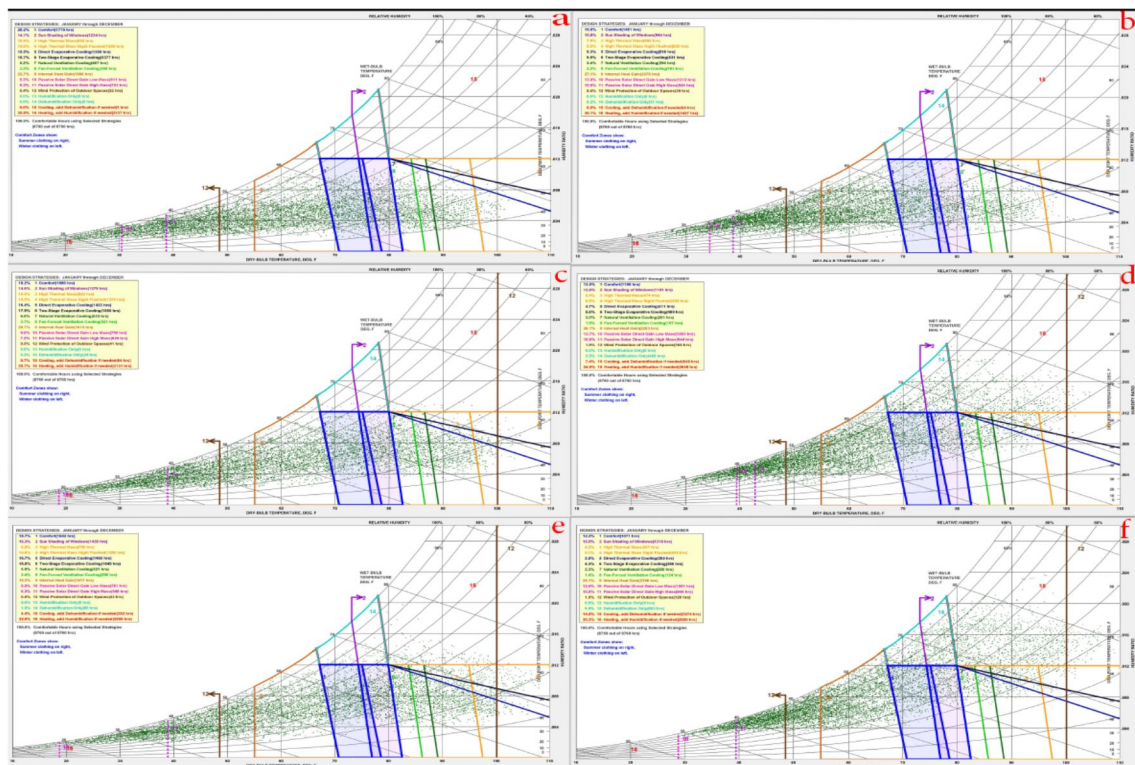
تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده، روند کاهشی برای آن مشاهده می‌گردد. همان‌گونه که از شکل (۳) دیده می‌شود، در دهه ۲۰۵۰ درصد فراوانی روزهای دارای آسایش حرارتی ۱۳,۵ درصد بوده که در دهه ۲۰۸۰ مقدار آن به ۱۲,۲ درصد کاهش خواهد یافت. از طرف کلیت این الگو برای مادرید نیز تکرار شده است. منظور آن که بر مبنای تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده روند روزهای همراه با آسایش حرارتی کاهشی می‌باشد. به طوری که درصد فراوانی روزهای دارای آسایش حرارتی برای دوره پایه شامل ۲۰,۲ درصد می‌شود که به ترتیب برای دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ مقادیر ۱۹,۲ و ۱۸,۷ درصد از فراوانی ایام سال را در بر خواهد گرفت (جدول ۳).

در ادامه بر مبنای راهکارهای سرمایه‌ی، ملاحظه می‌شود که برای مشهد، با توجه به گرمایش جهانی، نیاز به راهکار بر مبنای استفاده از سایبان برای پنجره‌ها افزایش خواهد یافت. این شرایط برای مادرید نیز به طور مشابه ملاحظه می‌گردد. در مشهد برای دهه ۲۰۵۰ افزایش نیاز به این راهکار در قیاس با دوره پایه عدد ۱,۸ درصد و برای دهه ۲۰۸۰ شامل ۴,۲ درصد بوده، اما برای مادرید به ترتیب شامل ۰,۵ و ۲,۲ درصد فراوانی‌ها در دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ است. همان‌گونه که تغییرات دما برای مشهد نشان دادند، در برخی ماهها در دهه ۲۰۵۰ کاهش دما مشاهده خواهد شد؛ لذا برای مشهد، با توجه به تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده، استفاده از سایر راهکارهای بر مبنای سرمایه‌ی کاهشی است که بیشترین کاهش نیاز به راهکار بیوکلیمایی "سردسازی با تبخیر" ملاحظه می‌شود؛ زیرا نیاز به آن برای دهه ۲۰۵۰ به مقدار ۴,۶- درصد و برای دهه ۲۰۸۰ به میزان ۵,۸- درصد کاهش نشان می‌دهد؛ همچنین برای راهکار "خنک کردن با استفاده از جریان باد"، کمترین تغییرات کاهشی در قیاس با سایر راهکارهای سرمایه‌ی دیده می‌شود.

این دو شهر در قیاس با دوره پایه بوده، به گونه‌ای که بر مبنای پراکنش داده‌های دما و رطوبت نسبی بر روی شکل (۲) می‌توان ملاحظه کرد که ماهیت اقلیمی آن‌ها به سمت شرایط گرم و مرطوب‌تر نسبت به وضعیت کنونی تغییر خواهد یافت. اگرچه نرخ افزایش دما و رطوبت نسبی برای مادرید بیشتر از مشهد است، اما با پیاده‌سازی این تغییرات بر روی نمودار سایکرومتریک، استراتژی‌های مختلف طراحی بیوکلیماتیک بر اساس استاندارد ۵۵ اشری ASHREI مشخص گردید که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد (جدول ۳). با استخراج ساعات نیاز به هریک از استراتژی‌های طراحی بیوکلیماتیک از نمودارهای مذکور (شکل ۲)، اختلاف شرایط مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در شکل ۳ به خوبی قابل مشاهده است. شکل (۳) بر مبنای شماره ردیف‌ها در جدول (۳) طراحی شده است. بر مبنای شکل (۳)، ردیف شماره (۲) که تحت عنوان راهکار بر مبنای "استفاده از سایبان برای پنجره‌ها" تا راهکار شماره ۸ که شامل راهکار بر مبنای "خنک کردن با استفاده از جریان باد" است، استراتژی‌های خنک‌کنندگی را در شرایط گرم سال نشان می‌دهد، اما از راهکار ردیف نهم که شامل "افزایش گرمای داخلی" تا ردیف یازدهم که شامل "جریان باد در فضای بیرون" است، به عنوان راهکارهای بر مبنای گرمایشی برای ایام سرد سال معرفی می‌گردند؛ همچنین راهکارهای ردیف ۱۳ تا ۱۶ به عنوان راهکارهای رطوبتی معرفی می‌گردند. به طوری که اعمال برخی از این راهکارها منجر به افزایش رطوبت و برخی رطوبت‌زدایی محیط را به دنبال دارند. اما بر مبنای ردیف یک، تغییرات الگوی شرایط آسایش حرارتی برای دوره‌های مختلف نشان داده شده است. در واقع در شرایط آسایش حرارتی هیچ نیاز به راهکارهای مختلف بر مبنای منظور تأمین آسایش افراد نیست، اما برای ایستگاه مشهد مشاهده می‌شود که بر مبنای دوره‌ی پایه درصد فراوانی روزهای دارای شرایط آسایش حرارتی ۱۶,۶ درصد بوده که با توجه به

جدول ۳: درصد فراوانی راهکارهای مختلف طراحی بر مبنای به منظور ذخیره انرژی داخل ساختمان‌ها برای دوره‌های مطالعاتی موردنظر

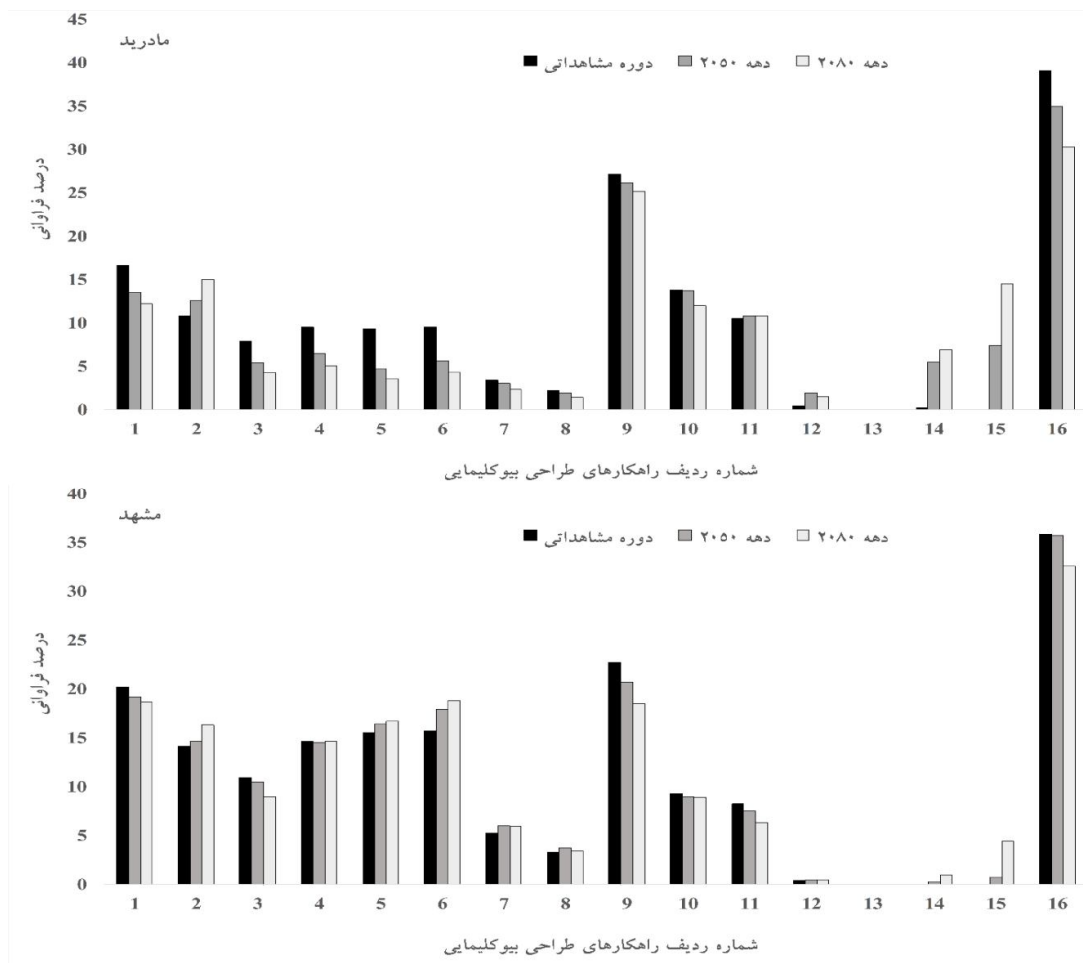
مشهد			مادرید			ایستگاه‌های مطالعاتی	
دهه	دهه	دوره	دهه	دهه	دوره	راهکارهای بر مبنای	ردیف
۲۰۸۰	۲۰۵۰	مشاهداتی	۲۰۸۰	۲۰۵۰	مشاهداتی		
۱۸,۷	۱۹,۲	۲۰,۲	۱۲,۲	۱۳,۵	۱۶,۶	محدوده آسایش	۱
۱۶,۳	۱۴,۶	۱۴,۱	۱۵	۱۲,۶	۱۰,۸	استفاده از سایبان برای پنجره‌ها	۲
۹	۱۰,۵	۱۰,۹	۴,۲	۵,۴	۷,۹	مصالح با جرم حرارتی بالا	۳
۱۴,۶	۱۴,۵	۱۴,۶	۵,۱	۶,۵	۹,۵	مصالح با جرم حرارتی بالا با تهویه شبانه	۴
۱۶,۷	۱۶,۴	۱۵,۵	۳,۵	۴,۷	۹,۳	سردسازی با تبخیر	۵
۱۸,۸	۱۷,۹	۱۵,۷	۴,۳	۵,۶	۹,۵	سردسازی دومرحله‌ای با تبخیر	۶
۵,۹	۶	۵,۲	۲,۳	۳	۳,۴	خنک کردن با استفاده از تهویه طبیعی	۷
۳,۴	۳,۷	۳,۳	۱,۴	۱,۹	۲,۲	خنک کردن با استفاده از جریان باد	۸
۱۸,۵	۲۰,۷	۲۲,۷	۲۵,۱	۲۶,۱	۲۷,۱	افزایش گرمای داخلی	۹
۸,۹	۹	۹,۳	۱۲	۱۳,۷	۱۳,۸	استفاده از مصالح با جرم حرارتی کم برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی	۱۰
۶,۳	۷,۵	۸,۲	۱۰,۸	۱۰,۸	۱۰,۵	استفاده از مصالح با جرم بالا کم برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی	۱۱
۰,۵	۰,۵	۰,۴	۱,۵	۱,۹	۰,۴	جریان باد در فضای بیرون	۱۲
۰	۰	۰	۰	۰	۰	ایجاد رطوبت	۱۳
۱	۰,۳	۰	۶,۹	۵,۵	۰,۲	رطوبت‌زدایی	۱۴
۴,۴	۰,۷	۰	۱۴,۵	۷,۴	۰	خنک‌سازی به همراه رطوبت‌زدایی	۱۵
۳۲,۶	۳۵,۷	۳۵,۸	۳۰,۳	۳۴,۹	۳۹,۱	گرم کردن به همراه رطوبت‌زدایی	۱۶



شکل ۲: دیاگرام سایکرومتریک، به منظور نمایش استراتژی‌های طراحی بر مبنای بر مبنای داده‌های اقلیمی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

جذب مستقیم انرژی خورشیدی" به مقدار ۳,۸- درصد کاهش داشته و از طرف دیگر مجموع نیاز به دو راهکار برمبنا " استفاده از مصالح با جرم بالا کم برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی " و " جریان باد در فضای بیرون " به مقدار ۱,۴ درصد افزایش خواهد داشت. ولی در کل برآیند این تغییرات گویای کاهش ۲,۴- درصدی نیاز به راهکارهای گرمایشی برای دهه ۲۰۸۰ در قیاس با دوره پایه است. در ایستگاه مادرید، نرخ افزایش دما برای دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در قیاس با مشاهد، افزایش بیشتری را نشان می‌دهد. مصداق آن نرخ افزایش دما معادل ۱,۶ درجه سانتی‌گراد در دهه ۲۰۵۰، و افزایش دما با ۳,۲ درجه سانتی‌گراد برای دهه ۲۰۸۰ در مقایسه با دوره مشاهداتی است؛ لذا بازخورد این موضوع باعث گردیده که تأثیرگذاری آن در هر دو دوره آتی، منجر به کاهش نیاز به انرژی گرمایشی شود، اما در دوره ۲۰۵۰، بر مبنای تمامی راهکارهای گرمایشی، مجموع کاهش نیاز به انرژی گرمایشی ۲,۹- درصد و برای دهه ۲۰۸۰ معادل ۶,۴- درصد است. لازم به توضیح بوده که برای هر دو دهه آینده، بیشترین نرخ کاهشی، مربوط به راهکار "افزایش گرمای داخلی" است و از طرف دیگر برای راهکار برمبنا "استفاده از جریان باد در فضای بیرون" تغییر قابل ملاحظه‌ای برای دوره آینده در مقایسه با دوره پایه ملاحظه نمی‌شود. در ادامه می‌توان به راهکارهای برمبنا رطوبتی اشاره نمود. بر مبنای این راهکار دو دیدگاه متفاوت دیده می‌شود. یکی افزایش رطوبت و دیگری رطوبت‌زدایی به منظور تأمین شرایط آسایش است، اما برای هر دو ایستگاه در هیچ‌یک از دوره‌های مطالعاتی، نیاز به راهکار "ایجاد رطوبت" به‌تنهایی کارایی لازم را ندارد و درصد فراوانی آن برای تمامی دوره‌ها صفر است. از طرف دیگر فراموش نگردد که در مجموع با توجه به تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده، تغییرات مؤلفه‌ی رطوبت برای هر دو ایستگاه افزایشی است.

مصداق آن تغییرات کاهشی این استراتژی به مقدار ۰,۳- درصد در دهه ۲۰۵۰ و ۰,۸- درصد در دهه ۲۰۸۰ در قیاس با دوره پایه است، اما برای مادرید از مجموع راهکارهای برمبنا سرمایه‌ی، به‌طور خیلی جزئی در دهه ۲۰۵۰ درصد نیاز به راهکارهای "استفاده از مصالح با جرم حرارتی بالا" با ۰,۴- درصد و "استفاده از مصالح با جرم حرارتی بالا و تهویه شبانه" با ۰,۱- درصد و همچنین برای دهه ۲۰۸۰ راهکار برمبنا "استفاده از مصالح با جرم حرارتی بالا" با ۱,۹- درصد مقادیر کاهشی را در قیاس با دوره پایه نشان می‌دهند. از طرف دیگر نیاز به سایر راهکارهای برمبنا سرمایه‌ی با توجه به افزایش دما در سال‌های آتی افزایشی خواهد بود (شکل ۲). همان‌گونه که تغییرات دما برای دهه‌های آینده نشان دادند، در دوره ۲۰۵۰، میانگین دمای سالانه مشاهد صرفاً ۰,۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد؛ لذا تغییرات قابل ملاحظه‌ای در کاهش استفاده از راهکارهای گرمایشی مشاهده نمی‌شود. در عین حال، نتایج نشان می‌دهد که در دوره ۲۰۵۰ نیاز به دو راهکار برمبنا "افزایش گرمای داخلی" و "استفاده از مصالح با جرم حرارتی کم برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی"، به ترتیب با مقادیر جزئی ۱- و ۰,۱- نسبت به دوره پایه کاهش و برای دو راهکار " استفاده از مصالح با جرم بالا کم برای جذب مستقیم انرژی خورشیدی " و "جریان باد در فضای بیرون" به ترتیب با مقادیر ۰,۳ و ۱,۵ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت که مجموع برآیند این تغییرات گویای افزایش جزئی در نیاز به انرژی گرمایشی به مقدار ۰,۷ درصد نسبت به دوره پایه است. در ادامه نتایج نشان دادند که در دوره ۲۰۸۰ مقدار دما در مقایسه با دوره پایه ۱,۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت؛ بنابراین مجموع کاهش نیاز به راهکارهای برمبنا "افزایش گرمای داخلی" و "استفاده از مصالح با جرم حرارتی کم برای



شکل ۳: مقایسه درصد نیاز به راهکارهای مختلف طراحی بر مبنای سه دوره مطالعاتی دو ایستگاه مادرید و مشهد

مادرید است. در نهایت آخرین راهکار طراحی بر مبنای شامل "گرم کردن به همراه رطوبت‌زدایی" است. شایان ذکر است که برای هر دو ایستگاه در دوره پایه، درصد نیاز به اعمال استراتژی "گرم کردن به همراه رطوبت‌زدایی"، بیشتر از آینده مدل‌سازی شده است، اما خروجی‌ها برای آینده نشان می‌دهند که کاهش نیاز به این استراتژی برای مشهد در دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ به ترتیب شامل ۴٫۲- و ۸٫۸- درصد و برای مادرید ۰٫۱- و ۳٫۲- درصد است (جدول ۳).

### نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان دادند که نتایج استحصال شده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 و سناریوی A2، گویای نرخ افزایش بیشتر دما برای دهه‌های آینده در مادرید در قیاس با مشهد است.

اما بر مبنای راهکار "رطوبت‌زدایی" دیده می‌شود که برای هر دو ایستگاه درصد نیاز به اعمال این استراتژی برای دهه‌های آینده افزایشی است. منظور آن که برای مشهد به ترتیب در دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ به ترتیب نرخ افزایش آن شامل ۵٫۳ و ۶٫۷ درصد بوده و برای مادرید به نسبت کمتر و شامل ۰٫۳ و ۱ درصد است. از طرف دیگر با توجه به افزایش دما و ترکیب آن با نرخ بالاتر رطوبت در ماههای گرم سال می‌تواند پتانسیل شرحی شدن هوای گرم تابستانی را به دنبال داشته باشد؛ بنابراین نیاز به اعمال استراتژی بر مبنای "خنک‌سازی همراه رطوبت‌زدایی" برای هر دو شهر، درصد فراوانی بیشتری برای آینده نسبت به گذشته دارد و مؤید این واقعیت است نرخ افزایشی این راهکار با ۷٫۴ و ۱۴٫۵ درصد برای دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ شهر مشهد و از طرف دیگر ۰٫۷ و ۴٫۴ درصد برای

به طوری که در بازه زمانی دهه ۲۰۵۰، نرخ افزایش میانگین دمای سالانه برای مادرید معادل ۱٫۶ درجه سانتی‌گراد و برای مشهد ۰٫۳۲ درجه سانتی‌گراد بوده و در دهه ۲۰۸۰ برای مادرید برابر با ۳٫۲ درجه سانتی‌گراد و برای مشهد ۱٫۷ درجه سانتی‌گراد در قیاس با دوره مشاهداتی است. علی‌رغم این موضوع در برخی ماهها برای مشهد کاهش دما نسبت به دوره پایه ملاحظه می‌شود که در دهه ۲۰۵۰ برای فوریه، مارس و اکتبر به ترتیب کاهش دما شامل ۱٫۶۷، ۱٫۱۱ و ۰٫۵۶ درجه سانتی‌گراد بوده، اما در دهه ۲۰۸۰ صرفاً تنها ماهی که کاهش دما برای آن مشاهده می‌شود فوریه با ۱٫۱۱ درجه سانتی‌گراد است. از جمله تفاوت‌های قابل ملاحظه بین مشهد و مادرید در این بوده که در مادرید در هیچ‌یک از ماههای سال کاهش دما در دهه‌های آینده دیده نمی‌شود. در خصوص الگوی زمانی، افزایش دمای ماهانه نیز مشاهده شد که اگرچه در مشهد بیشترین نرخ افزایش دما با ۱٫۶۷ درجه سانتی‌گراد در هر دو دوره آتی، برای اواخر بهار و اوایل تابستان ملاحظه می‌شود، ولی برای مادرید این الگوی زمانی برای هر دو دوره آینده متعلق به اواخر تابستان (سپتامبر) بوده که در دهه ۲۰۵۰ مقدار افزایشی آن ۳٫۳۳ درجه سانتی‌گراد و برای ۲۰۸۰ مقدار آن ۵ درجه سانتی‌گراد است. در بسیاری از مطالعات برای ایران مشخص گردیده است که اثر گرمایش جهانی باعث افزایش بیشتر دما در ماههای گرم سال و نرخ کمتر افزایش دما در فصول سرد سال می‌باشد. به‌عنوان نمونه سبوحی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای برای ۳۵ ایستگاه ایران نشان دادند که روند گرمایش جهانی برای فصل گرم تابستان بیشتر از سایر فصول سال در ایران بوده است. در مطالعه‌ای سلطانی و همکاران (۲۰۱۱)، نشان دادند که ایستگاههای واقع در زاگرس بیشینه روند افزایشی خود را در ماههای تابستان تجربه نموده‌اند؛ همچنین یافته‌های روشن و گرب (۲۰۱۲) نشان داد که ۵۲ درصد از ایستگاههای مطالعاتی آنها که در نواحی مختلف با تیپ‌های اقلیمی خشک، مدیترانه‌ای، نیمه

مرطوب و مرطوب قرار دارند، بیشترین افزایش دمای خود را در دوره گرم سال تجربه نموده‌اند. بر مبنای همین مطالعه میانگین افزایش دمای ایران در سال ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰، ۴٫۲۵ درجه سانتی‌گراد پیش‌یابی شده که بیشترین روند افزایش دما برای ماههای گرم سال بوده است. در سایر نقاط زمین نیز، نتایج برخی یافته‌ها مؤید بیشینه افزایش دما برای دوره گرم سال بوده است. به‌عنوان نمونه در پژوهشی وارنت سو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که با توجه به گسترش شهر مسکو، تغییرات افزایشی دما به‌خصوص در تابستان ملاحظه می‌شود که این عامل باعث رخداد روزهای گرم بیشتر در مسکو شده است؛ همچنین نتایج آنها برای تابستان نشان می‌دهد که افزایش دمای روزانه و شبانه به ترتیب به میزان ۰٫۳ و ۰٫۶ درجه سانتی‌گراد در طی ۴۰ سال اخیر بوده است، اما برای اسپانیا، نتایج تحقیق گمز<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، مشخص نمود که تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده منجر به افزایش دما خواهد شد که نرخ افزایشی آن برای تابستان از حداقل ۱٫۵ تا حداکثر ۶ درجه نوسان خواهد داشت. در سایر مطالعات دیگر نیز برای اسپانیا مشخص گردید که با توجه به گرمایش جهانی، تغییرات مؤلفه‌ی دما، به‌خصوص دمای کمینه از روند افزایشی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است (موراتیل و همکاران، ۲۰۱۷؛ راموس و همکاران، ۲۰۱۲؛ دل ریو و همکاران، ۲۰۰۷). از جمله تشابهات موجود برای خروجی‌های مشهد و مادرید، افزایش رطوبت نسبی برای هر دو ایستگاه در دهه‌های آینده بوده، هرچند که نرخ افزایشی آن برای مادرید بیشتر از مشهد است، اما یافته‌ها برای مشهد نشان می‌دهد که میانگین سالانه رطوبت نسبی برای دهه ۲۰۵۰ به مقدار ۶٫۷۵ درصد و برای دهه ۲۰۸۰ به مقدار ۷ درصد نسبت به میانگین سالانه دوره پایه افزایش داشته است. حال آن‌که نرخ افزایشی رطوبت نسبی برای مادرید در دهه ۲۰۵۰ معادل ۱۱٫۰۸ درصد و برای دهه ۲۰۸۰ به مقدار

2. Varentsov

3. Gomez

1. Saboohi

راهکار "رطوبت‌زدایی" دیده می‌شود که برای هر دو ایستگاه درصد نیاز به اعمال این استراتژی برای دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت. منظور آن که برای مشهد به ترتیب در دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ به ترتیب نرخ افزایشی آن شامل ۵,۳ و ۶,۷ درصد بوده و برای مادرید به نسبت کمتر و شامل ۰,۳ و ۱ درصد است؛ اما در مجموع در دوره گرم سال به‌منظور تأمین آسایش حرارتی داخل ساختمان، برای هر دو ایستگاه در سال‌های پیش روی، نیاز به "خنک‌سازی به همراه رطوبت‌زدایی" افزایشی و در دوره سرد سال به‌منظور تأمین آسایش حرارتی، "گرم کردن به همراه رطوبت‌زدایی" کاهش نشان می‌دهد. روشن و همکاران (۲۰۱۲) در کاری به اثر تغییر اقلیم و تأثیر آن بر دگرگونی نیاز به انرژی سرمایشی و گرمایشی تا سال ۲۱۰۰ برای تمامی ایران بحث کرده‌اند؛ از جمله نتایج آن‌ها کاهش نیاز به انرژی گرمایشی و افزایش نیاز به انرژی سرمایشی برای نواحی شمال شرق ایران من جمله مشهد بوده است. گمز و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای نشان دادند که باتوجه به مدل‌های مختلف تغییر اقلیم، دمای آینده شهرهای اسپانیا افزایش خواهد یافت که نرخ این افزایش برای تابستان بین ۱,۵ تا ۶ درجه سانتی‌گراد است؛ بنابراین این نتیجه استحصال گردید که نیاز به انرژی سرمایشی در دهه‌های پیش‌روی افزایش خواهد یافت؛ لذا آن‌ها سعی نمودند تا بر مبنای استفاده از بام‌های سبز، اثرگذاری این روش را در میزان کاهشی نیاز به انرژی خنک‌کنندگی شبیه‌سازی نمایند. از دیگر مطالعات انجام‌شده که نتایج آن با یافته‌های ما همخوانی دارد می‌توان به کار کلیمینکو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۶) اشاره نمود. آن‌ها بر مبنای مدل‌های تغییر اقلیم برای مسکو نشان دادند که با توجه به گرمایش جهانی در دهه‌های پیش‌روی، تقاضای انرژی در بخش گرمایشی فصول سرد کاهشی و از طرف دیگر نیاز انرژی در بخش خنک‌کنندگی در حال افزایش است. در نهایت این چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تأثیرپذیری از گرمایش جهانی برای هر دو شهر مشهد و مادرید

۱۱,۱۷ درصد نسبت به دوره پایه بوده است، اما تغییرات افزایشی دما و رطوبت نسبی برای هر دو ایستگاه نشان از تغییر الگوی اقلیمی این دو شهر در دهه‌های آینده است. به صورتی که شرایط آب‌وهوایی نسبت به گذشته گرم‌تر و تا حدودی مرطوب‌تر خواهد شد که این می‌تواند منجر به تغییر استراتژی‌های طراحی بر مبنای ساختمان‌ها برای این دو شهر گردد، اما برای مشهد بر مبنای نرخ ناچیز افزایش دما در دهه ۲۰۵۰، تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در افزایش استفاده از راهکارهای بر مبنای خنک‌کنندگی دیده نشده و همچنین تنها راهکار بر مبنای به‌منظور تأمین شرایط خنک‌کنندگی برای هر دو دوره ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ توصیه به استفاده بیشتر از سایبان‌ها برای پنجره‌ها است و درصد نیاز به سایر راهکارهای خنک‌کنندگی حتی بعضی کاهش نشان می‌دهد، ولی برای مادرید بر مبنای نرخ بالای افزایش دما در هر دو دوره مطالعاتی پیش روی، این عامل منجر به افزایش استفاده از راهکارهای سرمایشی خواهد شد، به‌طوری‌که از مجموع راهکارهای بر مبنای خنک‌کنندگی این نتیجه استحصال گردید که به ترتیب برای دهه ۲۰۵۰ مقدار ۴,۳ درصد و برای دهه ۲۰۸۰ به مقدار ۱,۱ درصد، نیاز به راهکار خنک‌کنندگی افزایش خواهد داشت. در ادامه یافته‌ها در خصوص نیاز به راهکارهای بر مبنای گرمایشی نشان داد که برای مشهد در مجموع برآیند این تغییرات گویای کاهش ۲,۴ درصدی نیاز به راهکارهای گرمایشی در دهه ۲۰۸۰ در قیاس با دوره پایه است، اما برای ایستگاه مادرید، نرخ افزایش دما برای دهه ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در قیاس با مشهد، افزایش بیشتری را نشان می‌دهد؛ لذا در دوره ۲۰۵۰، بر مبنای تمامی راهکارهای گرمایشی، مجموع کاهش نیاز به انرژی گرمایشی ۲,۹- درصد و برای دهه ۲۰۸۰ معادل ۶,۴- درصد مدل‌سازی شد، اما خروجی‌ها در خصوص راهکارهای متفاوت رطوبت‌زدایی و رطوبت‌زدایی نشان دادند که برای هر دو ایستگاه در هیچ‌یک از دوره‌های مطالعاتی، نیاز به راهکار "ایجاد رطوبت" به‌تنهایی کارایی لازم را ندارد و درصد فراوانی آن برای تمامی دوره‌ها صفر بوده است؛ اما بر مبنای

1. Klimenko

- reproducing 20th century basic climate features in Central America. *Int. J. Climatol.* doi:10.1002/joc.4216
8. Hulme, M., Jenkins, Turnpenney, J.R., Mitchell, T.D., Jones, R.G. and Lowe, J. 2002. *Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report*. Norwich, UK: Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia.
  9. IPCC. Summary for policymakers. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., editors. *Climate Change, 2007. The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
  10. Iran Energy Balance, 2010. Iran Central Bank.
  11. Iran Power Industry, 2016. *D Development: Deputy of Research and Human Resources*. Publisher: Tavanir Mother's Company.
  12. Jos, G.J., Olivier, (PBL), Greet Janssens-Maenhout (EC-JRC), Marilena Muntean (EC-JRC), Jeroen A.H.W. Peters (PBL), 2016. *Trends in global CO<sub>2</sub> Emissions 2016 Report*, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency European Commission, Joint Research Centre (EC-JRC).
  13. Klimenko, V.V., Ginzburg, A.S., Demchenko, P.F., Tereshin, A.G., Belova, I.N. and Kasilova, E.V. 2016. *Impact of Urbanization and Climate Warming on Energy Consumption in Large Cities*, *Doklady Akademii Nauk*, 470: 519–524.
  14. Kwok, A.G. and Rajkovich, N.B. 2010. *Addressing climate change in comfort standards*, *Building and Environment*. 45: 18–22.
  15. Luers, A.L. and Moser, S.C. 2006. *Preparing for the impacts of climate change in California: opportunities and constraints for adaptation*. California Climate Change Center.
- رخدادی دور از ذهن نیست. به طوری که با تغییر اقلیم آینده، مدیریت جدید در طراحی بر مبنای ساختمان‌ها و ذخیره‌ی انرژی بایستی اتخاذ شود، اما همان‌گونه که نتایج نشان دادند برای این دو شهر اگرچه الگوی غالب یکسانی در دگرگونی‌های استراتژی‌های طراحی بر مبنای ملاحظه می‌شود، ولی این دو، در جزئیات راهکارها دارای اولویت‌های متفاوتی هستند که این منتج شده از شرایط محلی و فرامحلی تأثیرگذار بر رژیم اقلیمی آن‌ها و تأثیرپذیری متفاوت آن‌ها از تغییرات آب و هوایی دهه‌های آینده است.

### منابع

۱. جعفری، قربان، اسمعیل شاهکویی، عبدالعظیم قانقرمه. ۱۳۹۷. پیش‌بینی خشکسالی‌های استان خراسان شمالی با مدل HadCM3 و شاخص‌های SPI و RDI. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، دوره ۸، شماره ۳۰، صص ۱۷۴–۱۵۹.
2. “Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data – CCWorldWeatherGen | Sustainable Energy Research Group.” 2015. <http://www.energy.soton.ac.uk/ccworldweathergen/>.
3. Belcher, S.E., Hacker, J. N. and Powell, D.S. 2005. *Constructing Design Weather Data for Future Climates.* *Building Services Engineering Research and Technology*, 26(1): 49–61.
4. CIBSE Guide J. 2001. *Weather, Solar and Illuminance Data*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.
5. del Río, S., Fraile, R. and Herrero, L. 2007. *Analysis of recent trends in mean maximum and minimum temperatures in a region of the NW of Spain (Castilla y León)*, *Theor. Appl. Climatol.* 90: 1.
6. Gomez, S.S., Nolasco A.Q. and Urrestarazu, L.P. 2017. *The role of green roofs in climate change mitigation. A case study in Seville (Spain)*, *Building and Environment*, 123: 575-584.
7. Hidalgo, H. and Alfaro, E., 2014. *Skill of CMIP5 climate model sin*

26. Roshan, G.R. and Grab, S.W. 2012. Regional climate change scenarios and their impacts on water requirements for wheat production in Iran, *Int. J. Plant. Prod.* 6(2), 239–266.
27. Roshan, G.R., Orosa, J.A. and Nasrabadi, T. 2012. Simulation of climate change impact on energy consumption in buildings, case study of Iran, *Energy Policy*. 49: 731–739.
28. Saboohi, R., Soltani, S. and Khodaghohi, M. Saboohi, R., Soltani, S. and Khodaghohi, M. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran, *Theor. Appl. Climatol.*, 109: 529–547.
29. Sobouti, Y. 2018. Iran's commitments toward meeting the goals of paris agreement harnessing the global temperature rise, региональные проблемы. Т. 21, № 3(1). С. 112–114.
30. Soltani, S., Saboohi, R. and Yghmaei, L. 2011. Rainfall and rainy days trend in Iran, *Clim Chang*, doi:10.1007/s10584-011-0146-1
31. Stavins, R.N. and Stowe, R.C., (eds), 2016. *The Paris agreement and beyond: International climate change policy post-2020*. Cambridge, Massachusetts: Harvard Project on Climate Agreements, Belfer Center, 1–114. <http://www.belfercenter.org/publication/parisagreement-and-beyond-international-climate-change-policy-post-2020>. Accessed 15 Mar 2017.
32. UCLA, Climate Consultant 6. Available at: [www.energy-design-tools.aud.ucla.edu](http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu) (Accessed 01.12.18).
33. UNDP (United Nations Development Program), 2010. Department of environment. Iran second national communication to United Nations framework convention on climate change (UNFCCC). National climate office, department of environment. Tehran.
34. Varentsov, M.I. Konstantinov, P.I. and Samsonov, T.E. 2017. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 96 012009 Mesoscale modelling of the summer climate response of Moscow metropolitan area to urban expansion
35. Zarenistanak, M., Dhorde, A. and Kripalani, R.H. 2014a. Temperature
16. Luo, C. and Wu, Desheng, 2016. Environment and economic risk: an analysis of carbon emission market and portfolio management, *Environ. Res.* 149, 297–301.
17. Mehr News Agency, 2016. Details of the agreement Paris / Iran are committed to the limitation of industrial development, news ID: 3591470 - Wednesday, April 18, 2016, Tehran. Iran.
18. Mohammad, Sh. 2013. Study of thermal behavior of common materials in the construction of walls; *Journal of Fine Arts, Architecture and Urban Development*. 18(1): 70.
19. Moratiel, R., Soriano, B. and Centeno, A. 2017. Wet-bulb, dew point, and air temperature trends in Spain. *Theor. Appl. Climatol.* 130: 419.
20. Moshiri, S., Atabi, F., Panjeshahi, M.H. and lechtenboehmer, S. 2012. Long run energy demand in Iran: a scenario analysis, *Int. J. Energy Sect. Manag.* 6(1): 120–144.
21. Nik, V.M. and Kalagasidis, A.S. 2013. Impact study of the climate change on the energy performance of the building stock in Stockholm considering four climate uncertainties, *Building and Environment*. 60, 291–304.
22. Olivier J.G.J., Schure K.M., and Peters J. A.H.W. 2017. Trends in global CO2 and total greenhouse gas emissions, 2017 Report. PBL, The Hague. In prep. Internet: <http://www.pbl.nl/en/trends-in-global-co2-emissions>.
23. Paris Agreement, 2017. Framework Convention on Climate Change. United Nations. [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php)
24. Ramos, M.C., Balasch, J.C. and Martínez Casasnovas, J.A. 2012. Seasonal temperature and precipitation variability during the last 60 years in a Mediterranean climate area of Northeastern Spain: a multivariate analysis, *Theor. Appl. Climatol.*, 110: 35.
25. Roaf, S., Crichton, D. and Nicol, F. 2004. *Adapting buildings and cities for climate change: a 21st century survival guide*. Oxford: Architectural Press.



and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran, J. Earth. Syst. Sci. 123, 281-295.

analysis over southwest Iran: trends and projections, Theor. Appl. Climatol. 116: 103–117.  
36.Zarenistanak, M., Dhorde, A. and Kripalani, R.H. 2014b. Trend analysis

