



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال سوم / شماره مسلسل نهم / بهار ۱۴۰۱ / صفحات: ۷۰-۵۳

DOI: 10.30488/cer.2022.338551.1074



مقایسه تأثیر پذیری از تغییرات اقلیمی بر الگوی مصرف انرژی خانگی برای دو تیپ اقلیمی مختلف در خاورمیانه و اوراسیا: مطالعه موردی تهران و مسکو

زهرة ابراهیمی^۱، مریم عرب^۲

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه گلستان

^۲دانشجو دکتری، گروه معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶

چکیده

در مطالعه حاضر به منظور پایش و پیش‌یابی اثر گرمایش جهانی بر الگوی مصرف انرژی خانگی یک مطالعه مقایسه‌ای بین دو تیپ اقلیمی مختلف از دو ناحیه خاورمیانه و اوراسیا انجام شده است. در این مطالعه تهران بعنوان نمونه‌ای از یک تیپ اقلیمی آب و هوای سرد نیمه خشک و مسکو با یک تیپ اقلیمی آب و هوای مرطوب قاره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش به منظور مدل‌سازی نیاز انرژی سکونتگاهها از دو سری زمانی داده‌های اقلیمی استفاده شده است. داده‌های پایه در این مقاله مربوط به دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ بوده و به منظور پیش‌یابی داده‌های اقلیمی تابش، دما، سرعت باد و رطوبت نسبی از خروجی‌های مدل CanEMS2 از مجموعه مدل‌های اقلیمی CMIP5 استفاده گردیده که مقادیر آن برای دوره‌ی مطالعاتی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۹ با استفاده از مدل RegCM4.6 ریزگردانی دینامیکی شده‌اند. لازم به توضیح می‌باشد که سناریوی مورد استفاده در این تحقیق، سناریوی RCP4.5 است. یافته‌های این تحقیق نشان دادند که میانگین دمای سالانه برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۹ نسبت به دهه‌ی حاضر، بترتیب برای تهران به میزان ۳،۲۷ درجه سانتی‌گراد و برای مسکو ۴،۷۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت و از طرف دیگر تغییرات رطوبت نسبی آینده در قیاس با دوره پایه بترتیب با ۴ و ۱۰،۵ درصد برای تهران کاهش و مسکو افزایش می‌باشد. در مجموع برآیند تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده منجر به تغییر در الگوی تقاضای انرژی در این دو شهر خواهد شد. اگرچه در هر دو منطقه کاهش انرژی تقاضای انرژی گرمایشی ملاحظه می‌گردد اما این کاهش برای تهران ۱۲،۷۵ درصد و برای مسکو یک درصد در قیاس با دوره پایه بوده و از طرف دیگر افزایش انرژی خنک‌کنندگی برای تهران ۱۲،۷۴ درصد و برای مسکو یک درصد نسبت به دوره پایه خواهد بود. در مجموع نسبت افزایش تقاضا برای انرژی سرمایشی در قیاس با کاهش انرژی گرمایشی در هر دو ایستگاه بالا بوده که برآیند آن منجر به استحصال بیشتر دی‌اکسید کربن منتشر شده از این ساختمانها خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: سناریوی اقلیمی، مدل‌سازی ساختمان، الگوی مصرف انرژی، انتشار دی‌اکسید کربن، سازگاری اقلیمی

مقدمه

که در عین حال، دارای اثرات اقتصادی و زیست محیطی شایان توجهی است. ساختمان‌ها یک سوم کل مصرف انرژی جهانی را به خود اختصاص داده‌اند (Maltais and Gosselin, 2018; Dwaikat et al., 2017; Marino et al., 2017). آب و هوای هر منطقه از عوامل مهم و اثرگذار بر زندگی و تامین امنیت ساکنان بنا از گزند شرایط نامساعد محیطی و جوی از اصول ضروری معماری و ساختمان به شمار می‌رود (Piot et al., 2017). صرف بی‌رویه انرژی و تاثیرات

نقش موثر انرژی در توسعه اقتصادی، افزایش مصرف آن به موازات رشد جوامع بشری، محدودیت منابع و پیشگیری از مواجه شدن با بحران انرژی، لزوم صرفه‌جویی از طریق مدیریت مصرف را ضروری می‌سازد. به‌ویژه مصرف بالای انرژی در ساختمانها از عمده‌ترین مشکلات کشورهای در حال توسعه است

*نویسنده مسئول:

زیست محیطی آن از مهمترین دلایل تشدید پدیده تغییر اقلیم در سالهای اخیر می باشد که تاثیرات مخربی بر ادامه حیات انسان خواهد داشت. این تاثیرات سوء هر روز شدیدتر و متعددتر می شود و این در حالی است که ما هر روز آگاه تر می شویم که اگر پدیده تغییر اقلیم با همین روند ادامه یابد، مهمترین دستاورد انسان که تمدن و شهرنشینی است، از بین خواهد رفت. ازدیاد دمای جهانی، چالش عظیمی برای نسل‌های آینده است که بدون شک با آن روبه رو خواهند شد. زیرا هر سال، تولید گازهای گلخانه ای به میزان ۲ درصد افزایش می یابد. با توجه به اینکه بیش از ۶۰ درصد از گازهای گلخانه ای بر اثر استفاده از امکانات تاسیسات حرارتی و برودتی و روشنایی در بناها به وجود می آید، پیش بینی تمهیداتی برای کاهش آثار منفی آن بر اقلیم جهانی ضروری می باشد و برای رسیدن به این هدف، مشارکت همه متخصصان بخصوص معماران، شهرسازان، اقلیم شناسان و مردم لازم است تا آیندگان نیز بتوانند نیازهای خود را برآورند (Sköld et al., 2015; Wise et al., 2016; Kingsborough et al., 2017). در گذشته، معماری به عنوان یکی از بزرگترین دستاوردهای بشر در اقلیم متفاوت، دارای فرم، رنگ و مصالح ویژه ای بود (Meniru, et al., 2003; Borowska and Jezierski, 2018). اما در معماری معاصر، طراحی‌ها و مصالح به کار گرفته شده در بناها فاقد کارایی لازمند. انرژی مصرفی ساختمان، ارتباط مستقیمی با طراحی سازگار با شرایط آب و هوایی دارد. برای مثال، گذاشتن پنجره مناسب در یک ساختمان می تواند باعث تامین نور طبیعی، خنک سازی آسان و تهویه مطلوب شود، لذا تاثیر فراوانی بر مصرف انرژی داشته باشد (Piot et al., 2017). برنامه ریز اگر بخواهد مصرف انرژی را برای مصرف کننده به حداقل برساند، باید از رابطه ی بین طراحی ساختمان، مصرف انرژی و اقلیم محلی آگاهی داشته باشد (Meniru, 2017; Piot et al., 2003; Jezierski, 2018). اقلیم و معماری یکی از علوم جدیدی است که جهت بهره برداری از مواهب طبیعی، با هدف صرفه جویی در مصرف انرژی، کاهش مصرف

انرژی‌های تجدیدناپذیر از جمله نفت و گاز و ایجاد شرایط رفاه و آسایش حرارتی انسان در ساختمان و مسکن به وجود آمده است. با توجه به مطالب فوق، یکی از پدیده‌های تاثیرگذار بر مصرف انرژی داخل ساختمانها، اثر گرمایش جهانی در دهه ی حاضر و پیش روی می باشد. اما در غالب مطالعات مشخص گردیده که با توجه به گرمایش جهانی، تقاضای انرژی در بخش خنک کنندگی رو به افزایش و نیاز به انرژی گرمایشی رو به کاهش می‌باشد (Arima et al., 2016; Zhu et al., 2016; Shibuya and Croxford; 2016; Shen and Malkawi; 2016; Cao et al., 2017).

اما در این مقاله، مقایسه ای بین اثرات استراتژی‌های طراحی زیست اقلیم در کلان شهر تهران به عنوان نمونه ای از شهرهای خاورمیانه و مسکو به عنوان نماینده شهرهای اوراسیا انجام شده است. در بسیاری از مطالعات، تأثیر تغییر اقلیم بر یک مکان معین در چارچوب مرز سیاسی و یک کشور خاص صورت می‌گیرد. حال آنکه هدف از پژوهش حاضر، مقایسه تأثیرات طراحی زیست‌اقلیمی بر دو اقلیم و منطقه‌ای است که از نظر جغرافیایی تفاوت قابل ملاحظه ای بین این دو مشاهده می شود. بعضاً این سوال پیش می آید که تاثیرگذاری تغییرات آب و هوایی در یک منطقه خاص در مقایسه با سایر نواحی جهان چگونه می باشد. بنابراین در این پژوهش مسکو به عنوان یک مورد مقایسه ای انتخاب و تفاوت‌های آن با کلان شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. شایان ذکر است که یکی از مهم ترین منابع تولید گازهای گلخانه ای مصرف انرژی در ساختمان‌ها و بازخورد آن به صورت انتشار دی اکسید کربن می باشد. بنابراین، درک صحیح تغییرات اقلیمی آینده و ارائه استراتژی‌های مناسب برای این تغییرات در قالب طراحی زیست‌اقلیمی بلوک‌های ساختمانی، می‌تواند نقش موثری در کاهش تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایه‌ی ساختمان‌ها داشته باشد. بطوری که پیامد آن سهم قابل ملاحظه ای در کاهش روند انتشار دی اکسید کربن و در نهایت کاهش تغییرات آب و هوایی به دنبال خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

معرفی ایستگاه‌های مورد مطالعه: مقایسه تاثیرپذیری اقلیم‌های تهران و مسکو از گرمایش جهانی بعنوان رکن اصلی این مقاله معرفی می‌شود. بنابراین لازم است خلاصه‌ای از ویژگی‌های اقلیمی این دو ایستگاه ارائه شود. بر این اساس بر مبنای داده‌های تجربی مشخص می‌شود که تهران دارای اقلیم سرد نیمه خشک (طبقه بندی اقلیم کوپن: BSk) با ویژگی‌های آب و هوای قاره‌ای و الگوی بارش مدیترانه‌ای است. آب و هوای تهران تا حد زیادی متأثر از موقعیت جغرافیایی آن می‌باشد. بگونه‌ای که کوه‌های سر به فلک کشیده البرز در شمال آن و کویر مرکزی کشور در جنوب آن در کنترل سامانه‌های آب

و هوایی تاثیرگذار بر تهران موثر می‌باشند. به طور کلی اقلیم آن در بهار و پاییز معتدل، در تابستان گرم و خشک و در زمستان سرد و مرطوب توصیف کرد. از سوی دیگر، مسکو دارای آب و هوای قاره‌ای مرطوب (طبقه بندی آب و هوای کوپن Dfb) با تابستان‌های نسبتاً گرم و تا حدودی مرطوب و زمستان‌های طولانی و سرد است. معمولاً دمای این کلان شهر در ماه‌های گرم ژوئن، جولای و آگوست حدود ۲۳ درجه سانتی‌گراد (۷۳ درجه فارنهایت) است، اما در زمان رخداد امواج گرمایی که معمولاً در طی ماه می تا سپتامبر تجربه می‌شود دمای هوای روزانه به مرز دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد (۸۶ درجه فارنهایت) می‌رسد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دو کلان شهر بزرگ تهران و مسکو بر روی نقشه جغرافیایی

داده‌های اقلیمی: در این مطالعه از چهار پارامتر اصلی هواشناسی مانند دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش برای شبیه‌سازی انرژی ساختمان استفاده شده است. با توجه به فرمت خاص داده‌های ورودی نرم افزارهای شبیه‌سازی ساختمان (همانند دیزاین بیلدر)، این داده‌ها باید به صورت ساعتی و بعبارتی در قالب بازه زمانی ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار گیرند. در این مطالعه، برای شبیه‌سازی نیاز انرژی ساختمان، دوره

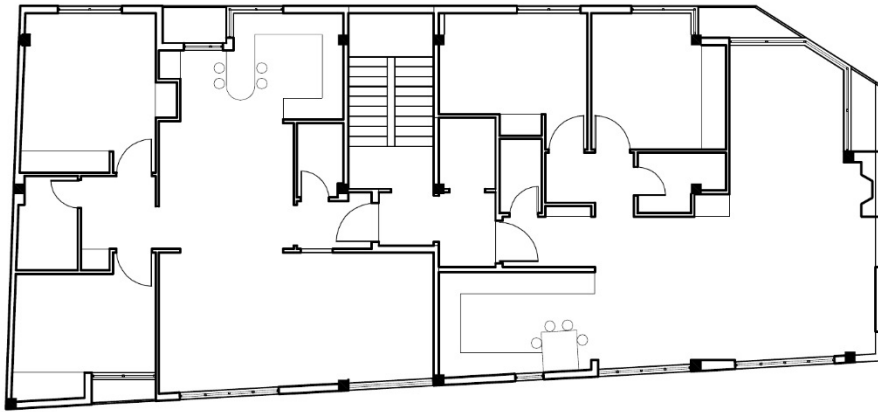
مطالعاتی به دو زمان حاضر که شامل داده‌های سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ و برای دهه‌های آینده که شامل سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ است، تقسیم می‌شود. با این حال، به منظور ارائه داده‌های آینده، از دو مدل آب و هوایی، شامل مدل گردش عمومی (GCM) و یک مدل آب و هوای منطقه‌ای به منظور ریزمقیاس نمایی داده‌ها استفاده شده است. دسته اول این مدل‌ها CanEMS2 بوده که از مجموعه مدل‌های آب و هوایی

مانند انتخاب مصالح ساخت (Construction Materials)، معماری ساختمان، سیستم‌های تاسیسات سرمایشی و گرمایشی (HVAC)، سیستم روشنایی (Lighting)، محاسبه مصرف انرژی گرمایشی (Heating) و سرمایشی (Cooling)، لوازم خانگی (Miscellaneous & Office equipment)، آب گرم مصرفی (DHW)، محاسبه میزان روشنایی روز (Day Maile Yuan et Al, 2017)، برآورد هزینه (et al, 2007; Martinaitis et al, 2015; Natural Ventilation) تهویه مکانیکی (Mechanical Ventilation)، مدل‌سازی CFD داخل و خارج ساختمان می‌باشد (Zhai et al. 2011).

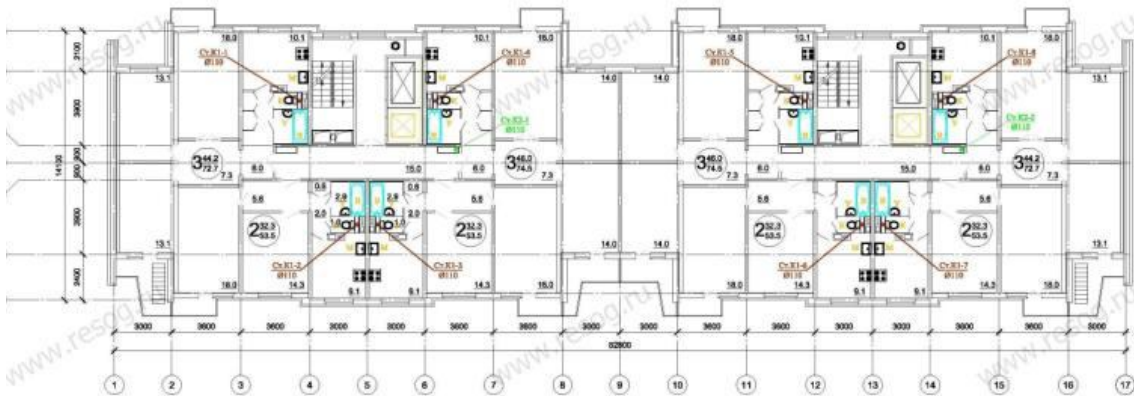
بدین منظور در پروژه ی حاضر، پلنهای واقعی از دو مجتمع آپارتمانی که یکی مربوط به تهران و دیگری برای مسکو می‌باشد استفاده گردیده است (شکل 2a,2b). اما فرایند شبیه سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر در دو مقیاس زمانی حال و آینده انجام پذیرفته که برای دوره ی حال سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ و برای دوره آینده سالهای ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۹ انتخاب و مورد واکاوی قرار گرفته اند. لازم به توضیح بوده که با توجه به اقلیم‌های متفاوت در دو شهر تهران و مسکو، جزئیات و ویژگیهای ساختمانها در این دو شهر با توجه به تاثیرپذیری از اقلیمهای مختلف، متفاوت می‌باشد. لذا انتخاب یک پلن با جزئیات مشابه برای این دو تیپ متفاوت اقلیمی امکان پذیر نیست. از طرف دیگر یافتن دو پلن آپارتمانی که ابعاد واحدهای آن در هر دو منطقه مطالعاتی برابر باشد نیز امکان پذیر نمی‌باشد. بنابراین به منظور مقایسه مناسب بین خروجیهای مختلف این دو شهر بالاخص در زمینه نیاز به انرژی سرمایشی و گرمایشی، از واحد وات ساعت بر متر مربع استفاده گردیده است.

CMIP5 با ابعاد پیکسل $2,8 \times 2,8$ درجه می‌باشد که این مدل متعلق به مرکز کانادایی (CCCma) است. از سوی دیگر برای این مطالعه از مدل RegCM4.6 برای ریزمقیاس نمایی دینامیکی داده‌ها استفاده شده است. لازم به توضیح بوده که در این پژوهش، پیش‌یابی داده‌های آب و هوایی برای قرن بیست و یکم تحت سناریوی RCP4.5 انجام شده است.

جزئیات مدل‌سازی ساختمان: شبیه سازی انرژی ساختمان برای مطالعه جریان انرژی در ساختمان‌ها بسیار مهم است (Crawley, 2005) در این مطالعه از نرم افزار دیزاین بیلدر برای تحلیل انرژی در ساختمان مسکونی در دو شهر تهران و مسکو استفاده شد. دیزاین بیلدر یکی از آخرین موتورهای شبیه سازی انرژی پلاس است، که برای محاسبه عملکرد انرژی با ارزیابی طرح‌های ساختمان استفاده می‌شود (Fasi and Budaiwi, 2015) همچنین یکی از جامع ترین رابط کاربر برای موتور شبیه سازی حرارتی دینامیک انرژی پلاس می‌باشد (Crawley, et al. 2005; Rahman, et al. 2010) انرژی پلاس برنامه شبیه سازی ساختمان رسمی است که توسط وزارت انرژی ایالات متحده استفاده می‌شود و با اندازه گیری‌های میدانی و روش‌های تجربی معتبر به طور گسترده مورد آزمایش قرار گرفته و تایید شده است (Shrestha and Maxwell, 2011; Mateus, et al, 2014; Kwok, et al, 2017) علاوه بر این، روش BESTest (تست شبیه سازی انرژی ساختمان)، که توسط آژانس بین المللی انرژی برای تشخیص قابلیت‌های برنامه‌های شبیه سازی انرژی ساختمان طراحی شده است، برای بررسی قابلیت اطمینان نرم افزار دیزاین بیلدر مورد استفاده قرار گرفته است. (Judkoff and Neymark, 1995; Henninger and Witte, 2003). قابلیت‌های این نرم افزار شامل مدل‌سازی ساختمان از جنبه‌های مختلف



a



b

شکل ۲: پلان ساختمان مرجع برای مدل سازی حرارتی در دیزاین بیلدر (شکل 2a: تهران، شکل 2b: مسکو)

نیز در تمام طول سال فعال بوده، اما بر اساس درصد نیاز در ساعات مختلف شبانه روز، به صورتی که سیستم روشنایی در مدت ۲۴ ساعت هر روز، در ساعات ۰:۰ تا ۶ صبح حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد، ۶ صبح تا ۵ عصر حدود ۵۰ درصد و ۵ عصر تا ۱۲ نیمه شب ۸۰ درصد فعال می باشد و میزان مصرف آب گرم نیز، در مدت ۲۴ ساعت هر روز، در ساعات ۰:۰ تا ۶ صبح حدود ۱۰ درصد، ۶ صبح تا ۱۲ نیمه شب ۵۰ درصد فعال می باشد.

جزئیات ساختمان مسکو: در مدل سازی ساختمان منتخب مسکو از این اطلاعات استفاده شده است: سیستم گرمایشی (موتورخانه مرکزی با رادیاتور شوفاژ، همراه با تهویه طبیعی)؛ سیستم سرمایشی (سیستم خنک کننده موضعی، همراه با تهویه طبیعی)؛ سیستم روشنایی (لامپ LED همراه با سیستم کنترل خطی) می باشد. که سیستم گرمایش برای همه ماه های سال فعال بوده، اما مدت زمان استفاده از سیستم سرمایش و تهویه طبیعی، محدود به ماه های ژوئن و آگوست می باشد. همچنین سیستم روشنایی و آب گرم مصرفی

جزئیات جداره‌های ساختمان مسکو					
مقاومت حرارتی (m ² K/W)	ضریب هدایت حرارتی (W/m ²)	ضخامت جداره (m)	ضخامت (m)	مصالح	جداره
۳,۶۳۹	۰,۲۷۵	۰,۳۳	0.02	پوشش سیمانی (پودر سنگ و سیمان)	دیوار خارجی
			0.02	ملات ماسه و سیمان	
			0.1	بلوک سبک بتنی	
			0.1	عایق پشم سنگ	
			0.5	بلوک سبک بتنی	
			0.02	ملات ماسه و سیمان	
			0.02	پوشش گچی	
۰,۷۴۹	۱,۳۳۵	۰,۱۸	0.02	پوشش گچی	دیوار داخلی
			0.02	ملات ماسه و سیمان	
			0.1	بلوک سفالی	
			0.02	ملات ماسه و سیمان	
			0.02	پوشش گچی	
۴,۲۱۴	۰,۲۳۷	۰,۳۳۵	0.05	بتن	سقف
			0.125		
			0.15	دال بتنی	
			0.01	ملات ماسه و سیمان	
			0.02		
۴,۱۸۸	۰,۲۳۹	۰,۲۴۵	0.02	پوشش گچی	کف طبقات
			0.01	ملات ماسه و سیمان	
			0.15	بلوک پلی استایرن	
			0.05	دال بتنی	
			0.015	کف پوش	
۰,۵۱۰	۱,۹۶	۰,۲۵	0.003	شیشه شفاف	پنجره با قاب چوبی
			0.013	هوا	
			0.003	شیشه شفاف	
۰,۴	۲,۵	۰,۰۴۲	در چوبی با لایه هوا میانی		درهای خارجی
۰,۳۹۱	۲,۵۵۷	۰,۰۴۲	در چوبی		درهای داخلی

همچنین سیستم روشنایی و آب گرم مصرفی نیز در تمام طول سال فعال بوده، اما بر اساس درصد نیاز در ساعات مختلف شبانه روز، به صورتی که سیستم روشنایی در مدت ۲۴ ساعت هر روز، در ساعات ۰:۰ تا ۶ صبح حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد، ۶ صبح تا ۵ عصر حدود ۵۰ درصد و ۵ عصر تا ۱۲ نیمه شب ۸۰ درصد فعال می باشد و میزان مصرف آب گرم نیز، در مدت ۲۴ ساعت هر روز، در ساعات ۰:۰ تا ۶ صبح حدود ۱۰ درصد، ۶ صبح تا ۱۲ نیمه شب ۵۰ درصد فعال می باشد.

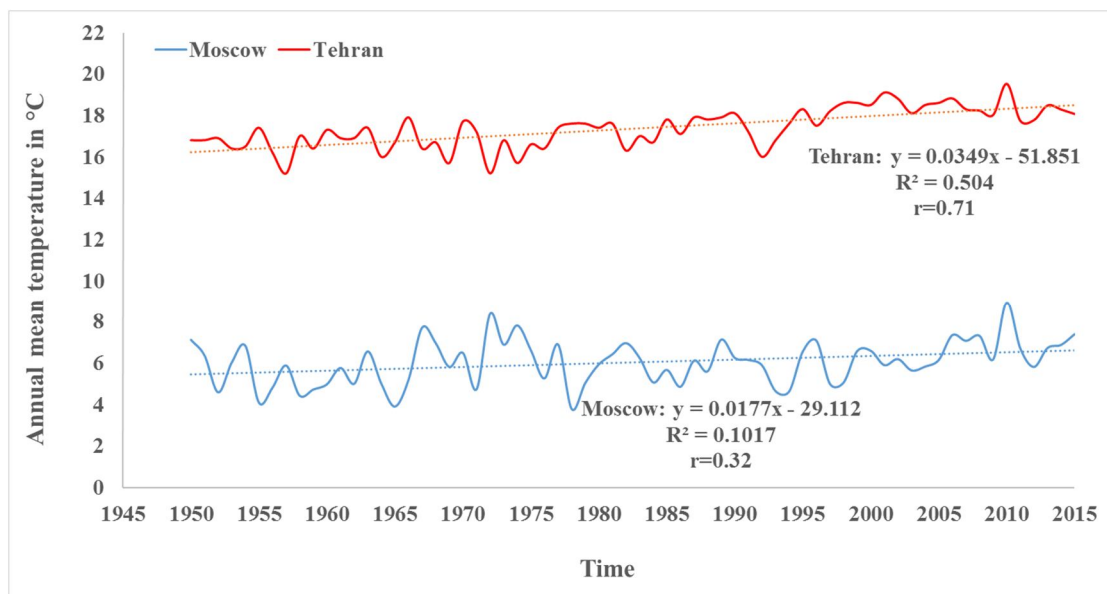
جزئیات ساختمان تهران: در مدلسازی ساختمان منتخب مسکو از این اطلاعات استفاده شده است: سیستم گرمایشی (موتورخانه مرکزی با رادیاتور شوفاژ، همراه با تهویه طبیعی)؛ سیستم سرمایشی (سیستم خنک کننده موضعی، همراه با تهویه طبیعی)؛ سیستم روشنایی (لامپ LED همراه با سیستم کنترل خطی) می باشد. سیستم گرمایش از ماه نوامبر تا آپریل فعال بوده و در ماه‌های اکتبر و می ۵۰ درصد فعال می باشد، اما مدت زمان استفاده از سیستم سرمایش و تهویه طبیعی، برای ماه‌های جولای تا سپتامبر فعال و در ماه می، ژوئن و اکتبر ۵۰ درصد فعال می باشد.

جزئیات جداره‌های ساختمان تهران					
مقاومت حرارتی (m ² K/W)	ضریب هدایت حرارتی (W/m ²)	ضخامت جداره (m)	ضخامت (m)	مصالح	جداره
۲,۰۴۹	۰,۴۸۸	۰,۲۸	0.02	آجر نما	دیوار خارجی
			0.02	ملات ماسه و سیمان	
			0.1	آجر سفال	
			0.۰۵	عایق پشم سنگ	
			0.۰5	آجر سفال	
			0.02	ملات ماسه و سیمان	
			0.02	پوشش گچی	
۰,۷۴۹	۱,۳۳۵	۰,۱۸	0.02	پوشش گچی	دیوار داخلی
			0.02	ملات ماسه و سیمان	
			0.1	بلوک سفالی	
			0.02	ملات ماسه و سیمان	
			0.02	پوشش گچی	
۱,۸۰۹	۰,۵۵۳	۰,۲۸	0.05	بتن	سقف
			0.۰,۵	پشم سنگ	
			0.15	دال بتنی	
			0.01	ملات ماسه و سیمان	
			0.02	پوشش گچی	
۴,۱۸۸	۰,۲۳۹	۰,۲۴۵	0.02	پوشش گچی	کف طبقات
			0.01	ملات ماسه و سیمان	
			0.15	بلوک پلی استایرن	
			0.۰5	دال بتنی	
			0.015	کف پوش	
۰,۵۱۰	۱,۹۶	۰,۲۵	0.003	شیشه شفاف	پنجره با قاب چوبی
			0.013	هوا	
			0.003	شیشه شفاف	
۰,۴	۲,۵	۰,۰۴۲	در چوبی با لایه هوا میانی		درهای خارجی
۰,۳۹۱	۲,۵۵۷	۰,۰۴۲	در چوبی		درهای داخلی

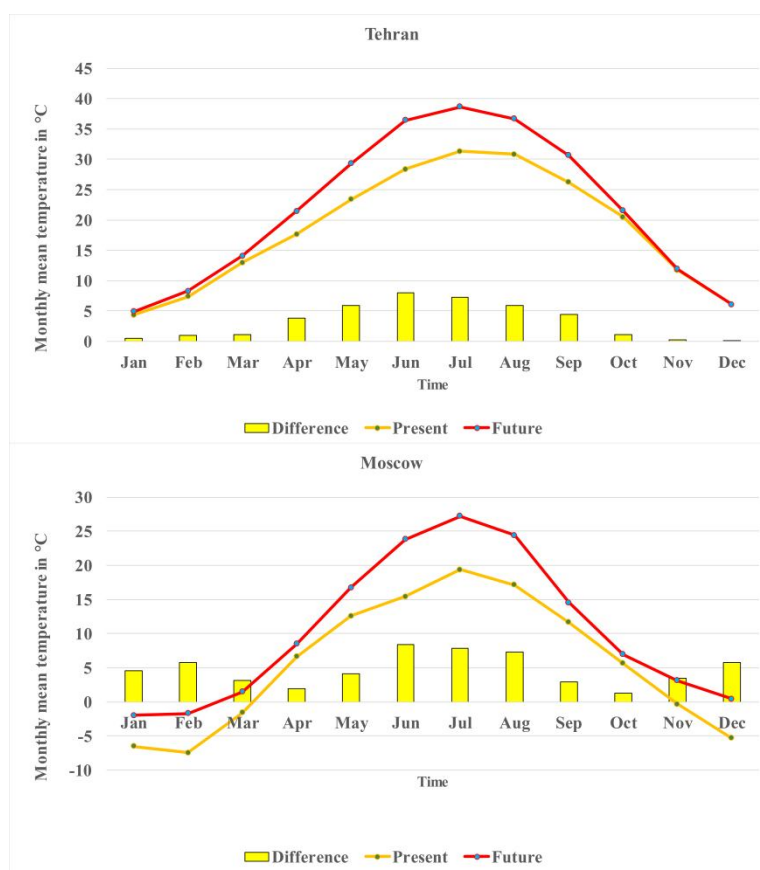
یافته‌های تحقیق

اثر گرمایش جهانی بر تغییرات مولفه‌های مختلف دما، برای دهه‌های اخیر تا آینده: دما بعنوان یکی از مهمترین فاکتورهای اقلیمی در تاثیرگذاری بر مصرف انرژی ساختمانها شناخته می شود. لذا شناخت صحیح از رفتار گذشته آن می تواند در اعتبارسنجی نتایج آینده نقش مهمی داشته باشد. بنابراین در این قسمت تغییرات روند دما از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۵ برای دو ایستگاه تهران و مسکو نمایش داده شده است.

بطور کلی روند دما برای هر دو ایستگاه افزایشی و معنادار می باشد، اگرچه مقدار I برای ایستگاه تهران با ۰,۷۱ معناداری قوی تری را نسبت به مسکو با ۰,۳۲ I= نشان می دهد. اما بر مبنای تغییرات دهه ای مشخص شد که بطور متوسط برای ایستگاه تهران در هر دهه ۰,۳۰ درجه سانتی گراد افزایش دما ملاحظه می شود که این مقدار برای مسکو با اختلاف ناچیزی شامل ۰,۲۶ درجه سانتی گراد است (شکل ۳).



شکل ۳: روند تغییرات دمای بیرون ساختمان (outdoor) برای دهه‌های گذشته تا حال دو ایستگاه تهران و مسکو



شکل ۴: تغییر الگوی دمایی در مقیاس میانگین ماهانه برای دو دوره حال و آینده ایستگاههای مطالعاتی

آینده نسبت به دوره ی پایه نیز در این شکل قابل مشاهده می باشد. همانگونه که از شکل (۴) ملاحظه می شود، برای هر دو ایستگاه میانگین دما برای ۱۲

در شکل (۴)، تغییر الگوی دمایی در مقیاس میانگین ماهانه برای دو دوره حال و آینده نمایش داده شده است. همچنین اختلاف افزایشی دما برای دهه ی

قابل توجهی برای آن مشاهده نمی شود، در سایر ماهها دمای داخل ساختمان از حداقل ۰,۱۰ درجه سانتی گراد برای اکتبر تا حداکثر ۲,۳۵ درجه برای می مقادیر افزایشی را نشان می دهد که در قیاس با تغییرات افزایشی دما در محیط خارج از ساختمان مقادیر کوچکتری را نشان می دهد. در مجموع یافته‌های این بخش موید این موضوع بوده که میانگین سالانه دمای داخل ساختمان در آینده به مقدار ۰,۶۶ درجه سانتی گراد در تهران افزایش خواهد یافت که این نرخ در قیاس با دمای خارج از ساختمان به نسبت خیلی کمتر می باشد. اما مسلماً این تغییرات رخداد آستانه‌های دمایی در محیط داخل ساختمان می تواند الگوی تقاضا و مصرف انرژی را دگرگون نماید. اما در مسکو، اگر چه در اکثر ماهها افزایش دمای داخل ساختمان ملاحظه می گردد، اما استثنایی برای ژانویه با کاهش ۰,۲۸- درجه سانتی گراد و نوامبر با ۰,۲۳- درجه ملاحظه می گردد. در مجموع انتظار می رود که بر مبنای مدلسازیهای انجام شده، دمای داخل ساختمان به مقدار ۰,۸۸ درجه سانتی گراد در مسکو افزایش یابد (شکل ۵).

ماه سال در قیاس با دوره ی پایه افزایش نشان می دهد. کمترین تغییرات افزایشی دما برای تهران متعلق به فصول سرد سال بوده و بیشترین افزایش آن از اواسط بهار تا تابستان شبیه سازی شده است. در مجموع ژوئن و جولای بترتیب با افزایش ۸ و ۷,۳۳ درجه سانتی گراد در دهه‌های آینده، شرایط بحرانی تجربه خواهند نمود. در ایستگاه مسکو بالاترین نرخ افزایش دما مربوط به اواخر بهار با ۸,۳۷ درجه در ژوئن بوده و دو ماه جولای و آگوست به ترتیب با ۷,۸۲ و ۷,۳۲ درجه سانتی گراد در رتبه‌های بعدی افزایش دما قرار دارند. در مجموع انتظار می رود که در دوره ی پیش یابی شده ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۹، میانگین دمای سالانه ی تهران ۳,۲۷ درجه سانتی گراد افزایش داشته و مقدار آن به ۲۱,۶۶ درجه افزایش یابد و برای مسکو این نرخ افزایش دما برابر با ۴,۷۱ درجه سانتی گراد می باشد که انتظار است میانگین سالانه دما به ۱۰,۳۰ درجه سانتی گراد فزونی یابد.

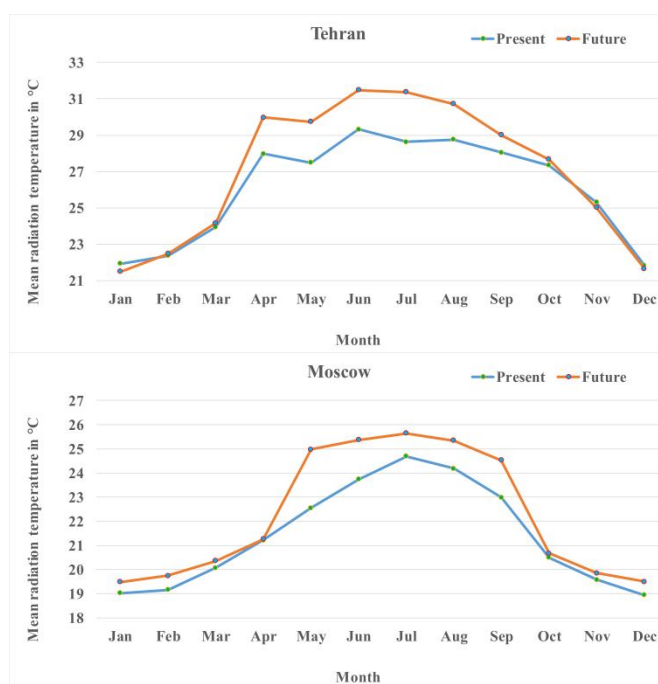
مسلماً تغییرات دمای محیط بیرون بر الگوی تغییرات دما در داخل ساختمان تاثیرگذار می باشد. نتایج از مدلسازی دمای داخل ساختمان نشان می دهد که در ایستگاه تهران بغیر از آوریل که هیچ تغییرات



شکل ۵: روند تغییرات دمای درون ساختمان (indoor) برای دهه‌های گذشته تا حال دو ایستگاه تهران و مسکو

زمستان از مقدار آن نسبت به دوره ی پایه کاسته شده است. در مجموع میانگین سالانه این مولفه برای تهران به مقدار ۰,۹۹ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد. بر خلاف تهران، خروجیها برای مسکو نشان می‌دهد که در هیچ کدام یک از ماهها، ارزش MRT در دهه‌های آینده کاهش نداشته علی‌رغم این موضوع افزایش میانگین سالانه آن با ۰,۸۴ درجه سانتی‌گراد بطور ناچیزی کمتر از ایستگاه تهران می‌باشد.

یکی از پارامترهای مهم در برآورد شاخص‌های آسایش حرارتی نظیر دمای موثر (Operative temperature)، مولفه متوسط دمای تابشی (Mean radiation temperature(MRT)) می باشد. در نرم افزار دیزاین بیلدر مقدار مولفه MRT بطور جداگانه محاسبه می شود که نتایج آن برای دو دوره ی مشاهداتی و آینده در قالب شکل(۶) نمایش داده شده است. در تهران مطابق ساختمان طراحی شده، مقدار MRT برای اکثر ماهها در دهه‌های آینده افزایشی می باشد حال آنکه از اواسط پاییز تا اوایل



شکل ۶: مقایسه میانگین دمای تابشی (MRT) برای دوره ی حال و آینده تهران و مسکو

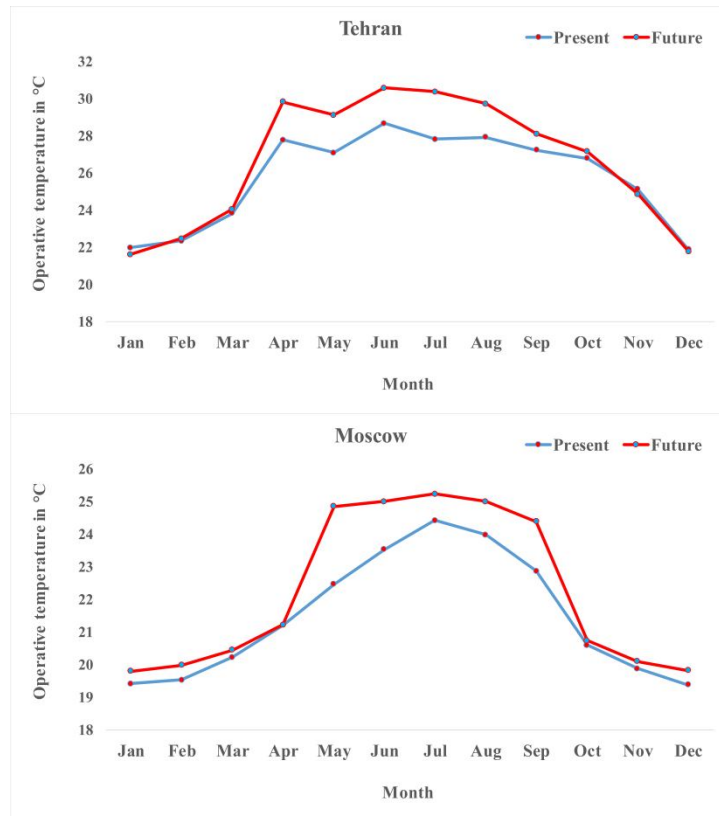
در اینجا دمای موثر با توجه به رابطه (۱) چنین تعریف می‌شود:

$$\text{Operative temperature} = \frac{(tr + (ta \times \sqrt{10v}))}{(1 + \sqrt{10v})} \quad (1)$$

جایی که ta بعنوان دمای هوا، tr تحت عنوان متوسط دمای تابشی و v در نهایت شامل سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه است.

دمای موثر ((Operative temperature(OT):

دمای موثر (که قبلاً به عنوان دمای حاصل یا دمای حاصل خشک شناخته می‌شد، اما برای هماهنگی با استانداردهای ASHRAE و ISO تغییر نام داد) یک معیار ساده‌سازی شده برای راحتی حرارتی انسان است که از دمای هوا، میانگین دمای تابشی و سرعت هوا به دست می‌آید. استفاده از این شاخص می‌تواند بعنوان ابزاری موثر در ارزیابی آسایش حرارتی احتمالی ساکنان یک ساختمان مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۷: مقایسه میانگین دمای موثر (OT) برای دوره ی حال و آینده تهران و مسکو

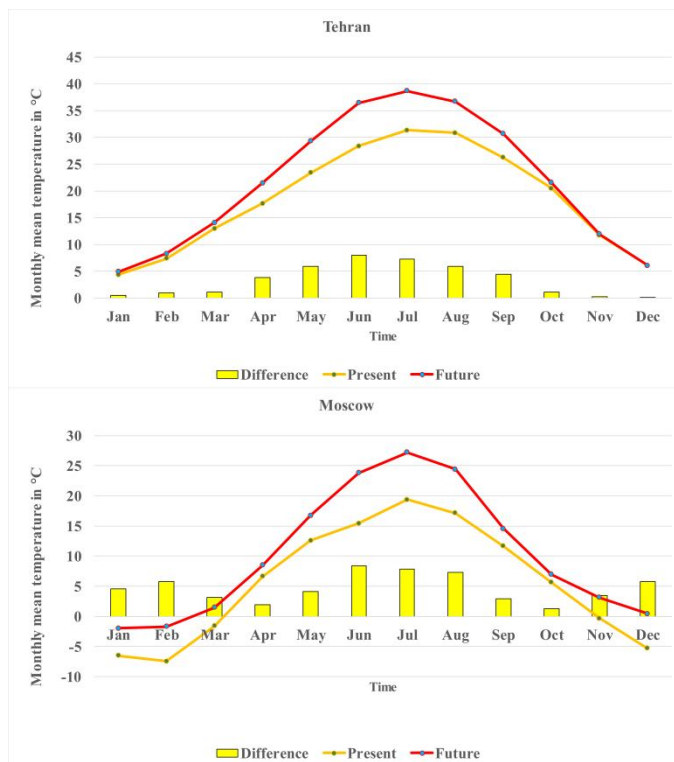
که برای دهه‌های آینده به میزان ۰,۷۶ درجه سانتی‌گراد به این میانگین افزوده شده است. در مجموع بیشترین افزایش این شاخص با نرخ ۲,۴۳ در می و کمترین افزایش آن با ۰,۱۸ درجه سانتی‌گراد برای اکتبر شبیه سازی شده است (شکل ۷).

تغییر الگوی رطوبت نسبی در بستر گرمایش جهانی: از دیگر مولفه‌های اقلیمی تاثیرگذار بر شرایط آسایش حرارتی سکنه سکونتگاهها، رطوبت نسبی می‌باشد که ترکیب آستانه‌های مختلف رخداد آن با آستانه‌های مختلف دما می‌تواند شرایط متفاوتی از لحاظ آسایش حرارتی و تقاضای انرژی در داخل ساختمانها استحصال نماید. اما خروجی کلی این بخش برای تهران، گویای تغییرات کاهش رطوبت نسبی برای تمامی ماهها در سالهای آتی، نسبت به دوره ی پایه می‌باشد. بگونه ای که انتظار می‌رود میانگین سالانه رطوبت نسبی برای آینده به میزان ۴ درصد کاهش یابد. در این میان بیشترین کاهش رطوبت نسبی در تهران متعلق به فصل تابستان می

یافته‌ها نشان می‌دهند که میانگین سالانه OT برای دوره پایه تهران ۲۵,۶۹ درجه سانتی‌گراد بوده که با افزایش ۰,۹۳ درجه سانتی‌گرادی در دهه‌های آینده به ۲۶,۶۲ درجه افزایش خواهد یافت. در مجموع تغییرات کاهش این شاخص برای دهه‌های آینده در ماههای ژانویه، نوامبر و دسامبر از تغییرات کاهش MRT تبعیت کرده است. در کل استمرار کاهش این شاخص در زمستان می‌تواند منجر به شرایط عدم آسایش حرارتی از نوع سرمایش گردد. از طرف دیگر بیشترین افزایش ماهانه شاخص OT برای دهه‌های آینده با ۲,۵۵ درجه سانتی‌گراد متعلق به جولای بوده، که این تغییرات افزایشی منجر به شرایط عدم آسایش از نوع تشدید بار گرمایی اضافی در محیط داخل ساختمان خواهد شد. در مسکو به تبعیت از افزایش MRT، هیچگونه روند کاهش OT برای ماههای مطالعاتی ملاحظه نمی‌گردد. که برآیند آن تمایل و نزدیک شدن بیشتر ماههای سرد سال، به آستانه آسایش حرارتی می‌باشد. اما در مسکو میانگین سالانه دوره پایه OT معادل ۲۱,۴۵ درجه سانتی‌گراد بوده

دهه‌های آینده بطور متوسط مقدار رطوبت نسبی ۱۰,۵ درصد نسبت به دوره ی مشاهداتی افزایش یابد. اما بیشترین افزایش رطوبت نسبی در مسکو با مقادیر ۱۴,۹ و ۱۴,۳ درصد در ماههای می و ژوئن شبیه سازی شده است (شکل ۸).

باشد که مقدار آن برای جولای ۶,۷ درصد و برای آگوست ۷,۶ درصد کاهش است. مغایر با نتایج استحصال شده برای تهران، وجود روند افزایشی رطوبت نسبی برای کل ماههای سال در مسکو ملاحظه می گردد. بگونه ای که انتظار می رود در



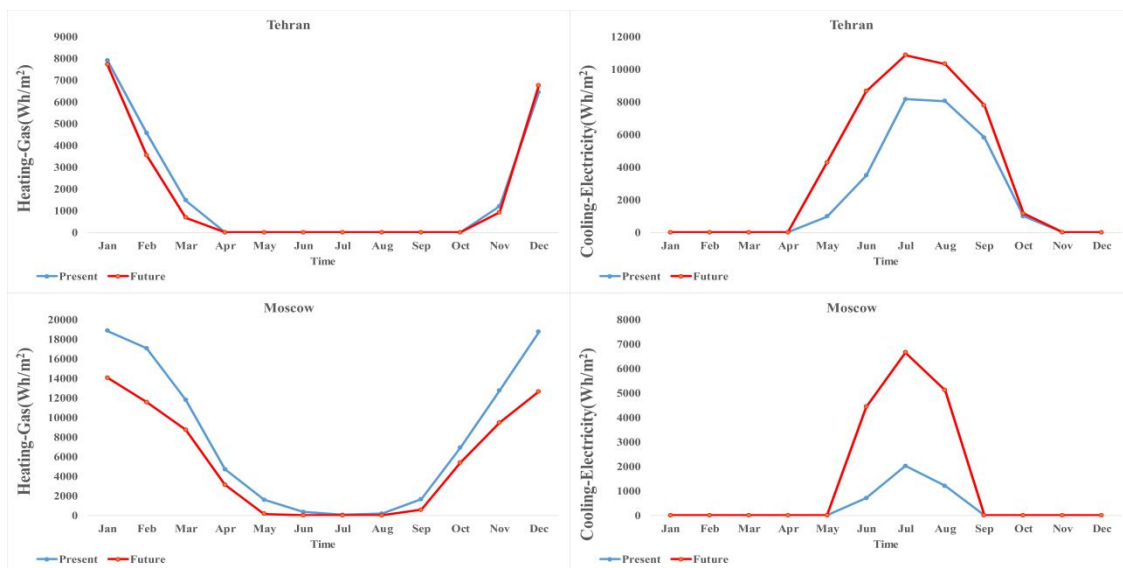
شکل ۸: مقایسه میانگین دمای ماهانه برای دوره حال و آینده تهران و مسکو

پایش و پیش‌یابی میزان تقاضای انرژی سرمایه‌یابی و گرمایشی ایستگاههای منتخب: یکی از مهمترین بخشهای این مطالعه، واکاوی اثر گرمایش جهانی بر میزان تقاضای انرژی در دو بخش خنک‌کنندگی و گرمایش می باشد. لازم به توضیح بوده که بر مبنای شبیه‌سازیها بوسیله نرم افزار دیزاین بیلدر، مقدار تقاضای انرژی گرمایشی بر مبنای گاز بوده و تقاضای انرژی سرمایه‌یابی با توجه به انرژی الکتریسته می باشد. در تهران، آنچه خروجیها نشان می دهند گویای روند کاهشی نیاز به انرژی گرمایشی می باشد. با توجه به خروجیهای استحصال شده برای دوره ی حاضر، مشخص می شود که بطور متوسط در سال، میزان تقاضای انرژی گرمایشی 21563 kWh/m^2 بوده که این مقدار برای دوره ی آینده به مقدار

1977 kWh/m^2 کاهش خواهد یافت بطوری که میانگین سالانه آن به 19585 kWh/m^2 تنزل خواهد نمود. در مجموع در کل ماههای زمستان و نوامبر کاهش نیاز به انرژی گرمایشی قابل مشاهده می باشد که از این میان بیشتر نرخ کاهش تقاضای انرژی گرمایشی با 793 kWh/m^2 برای می ملاحظه می گردد (شکل ۹). اما نتایج برای مسکو نیز گویای کاهش تقاضای انرژی گرمایشی برای تمامی ماههای سال در دهه‌های آینده می باشد. در میان ماههای مطالعاتی بیشترین نرخ کاهش تقاضای انرژی با 6076 و 5499 kWh/m^2 به ترتیب متعلق به دسامبر و نوامبر است. اگرچه متوسط سالانه نیاز به انرژی گرمایشی در مسکو برای دوره ی حاضر 94516 kWh/m^2 بوده، اما این نرخ برای دوره ی آینده 65625 kWh/m^2 شبیه سازی شده است. بعبارتی

تهران 27424kw/m^2 بوده که برای دهه‌های آینده به میزان 15623kw/m^2 افزایش خواهد یافت. در ادامه نتایج برای مسکو نشان می‌دهد که هیچ جابجایی در الگوی زمانی تقاضای انرژی سرمایه‌گذاری برای دهه‌های آینده رخ نخواهد داد. منظور آنکه برای آینده همانند دوره‌ی حاضر، تقاضای انرژی در بخش خنک‌کنندگی صرفاً منحصر به ماههای ژوئن تا آگوست می‌باشد. ولی نرخ تقاضای آن برای این سه ماه در آینده افزایش می‌باشد. بطوری که بالاترین نرخ افزایشی آن با 4636kw/m^2 برای جولای شبیه‌سازی شده است. علی‌رغم این موضوع یافته‌ها نشان می‌دهد که برای دهه‌های آینده، افزایش 12272kw/m^2 تقاضا در بخش انرژی خنک‌کنندگی، منجر به افزایش میانگین سالانه به میزان 16195kw/m^2 در شهر مسکو خواهد شد (شکل ۹).

برای دوره‌ی آینده از نیاز به انرژی گرمایشی در مقیاس متوسط سالانه به مقدار 28890kw/m^2 کاسته خواهد شد. در ادامه می‌توان به نتایج مربوط به تقاضای انرژی در بخش خنک‌کنندگی رجوع نمود. بطور کلی برای دوره حاضر، هیچ‌گونه نیاز به انرژی سرمایه‌گذاری از اواسط پاییز تا اوایل بهار برای تهران ملاحظه نمی‌گردد که این الگوی زمانی در آینده نیز تغییری نشان نمی‌دهد. ولی نکته مهم اینکه در ماههایی که به انرژی سرمایه‌گذاری نیاز بوده است، مقدار تقاضا در دهه‌های آینده افزایش خواهد یافت. این موضوع افزایش این بخش از انرژی از اواسط بهار تا اوایل پاییز می‌باشد. بطوری که بیشینه افزایش آن با نرخ 5174kw/m^2 در ژوئن و کمترین نرخ افزایشی آن با 168kw/m^2 برای اکتبر می‌باشد. در مجموع میانگین سالانه تقاضای انرژی خنک‌کنندگی در



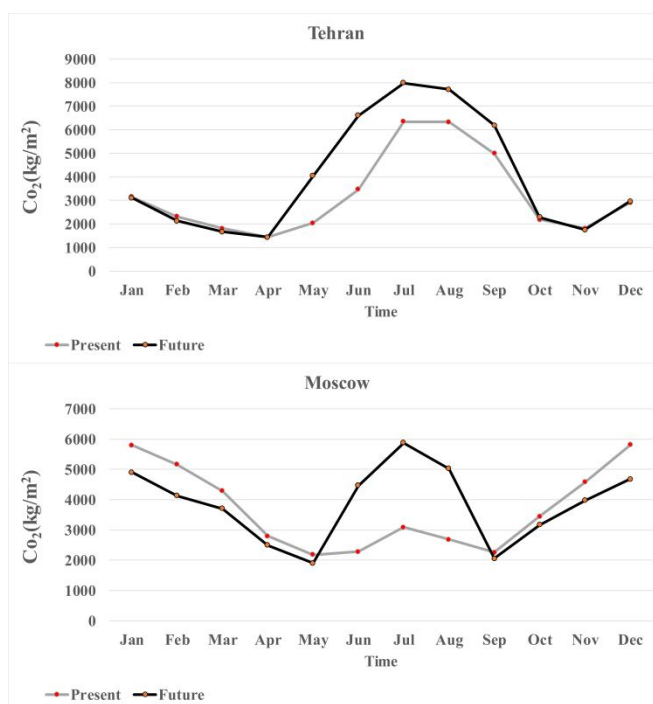
شکل ۹: مقایسه نیاز به انرژی سرمایه‌گذاری (الکتریسته) و گرمایشی (گاز) برای تهران و مسکو در بستر تغییرات زمانی

جالب توجه بوده تا بر مبنای دگرگونیهای اقلیمی پیش روی و تغییر در الگوی مصرف انرژی داخل ساختمانها، میزان انتشار دی اکسید کربن منتشر شده شبیه سازی گردد. در دیزاین بیلدر، این قابلیت وجود دارد که بر مبنای تقاضای سوخت مصرفی در بخش گاز و الکتریسته، میزان انتشار دی اکسید کربن شبیه سازی گردد.

شبیه سازی انتشار دی اکسید کربن بر مبنای سناریوهای تغییر الگوی مصرف انرژی ساختمانها: امروزه یکی از مباحث روز دنیا در بحث گرمایش جهانی، انتشار گازهای گلخانه ای بخصوص انتشار دی اکسید کربن و اثر بخشی آن در افزایش روند گرمایش جهانی و رخدادهای نابهنجار آب و هوایی می باشد. لذا در این بخش از یافته‌های تحقیق

افزایش میانگین سالانه انتشار دی اکسید کربن از 38758kg/m^2 به 47856kg/m^2 برای دوره ی آینده می‌باشد. کلیت نتایج برای مسکو نیز مشابه تهران است. زیرا با توجه به گرمایش جهانی برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۹، در فصول سرد سال با کاهش نیاز به انرژی گرمایشی، مقدار انتشار دی اکسید کربن تنزل و با افزایش تقاضای انرژی گرمایشی در دوره گرم سال، میزان انتشار دی اکسید کربن افزایش داشته است. اما بیشترین نرخ کاهش دی اکسید کربن برای سپتامبر با 201kg/m^2 و بیشترین نرخ افزایشی آن برای جولای با 2795kg/m^2 شبیه سازی شده است. در مجموع همانند تهران، برآیند کاهش تقاضای انرژی گرمایشی در ماههای سرد و افزایش تقاضای انرژی گرمایشی در فصل گرم تابستان منجر به انتشار بیشتر دی اکسید کربن برای سالهای پیش روی بوده است. مصداق آن تغییر میانگین سالانه انتشار دی اکسید کربن از 44333kg/m^2 در دوره ی پایه به 46349kg/m^2 برای دهه‌آینده می‌باشد (شکل ۱۰).

بر مبنای خروجی‌های قبلی این تحقیق به وضوح مشخص گردید که در دهه ی پیش روی، میزان نیاز به انرژی گرمایشی برای هر دو شهر تهران و مسکو کاهش یافته و از طرف دیگر نیاز به انرژی گرمایشی در حال افزایش است. متناسب با نتایج ما در بخش‌های پیشین، مشخص می‌گردد که با توجه به تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده، در تهران مصادف با کاهش نیاز انرژی گرمایشی برای فصل زمستان و بعضاً فصل پاییز، یک روند کاهش در انتشار دی اکسید کربن برای این ماهها ملاحظه می‌شود. اما در فصول گرم سال با توجه به تقاضای بیشتر انرژی گرمایشی، لذا مقادیر انتشار دی اکسید کربن نسبت به دوره ی پایه افزایش داشته است. در مجموع بیشترین نرخ کاهش انتشار دی اکسید کربن با 192kg/m^2 برای فوریه و بیشترین نرخ افزایش آن با 3135kg/m^2 برای ژوئن شبیه سازی شده است. از طرف دیگر برآیند اثر کاهش نیاز به انرژی گرمایشی و متقابلاً افزایش نیاز به انرژی گرمایشی منجر به افزایش میانگین سالانه دی اکسید کربن در دهه‌های آینده خواهد بود. مصداق آن



شکل ۱۰: ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر انتشار دی اکسید کربن تیپ ساختمانی شبیه سازی شده برای تهران و مسکو

بحث و نتیجه گیری

در مطالعه حاضر، اثر گرمایش جهانی بر میزان تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی و در نهایت دی اکسید کربن استحصال از برآیند این فرایندها برای دو شهر تهران و مسکو مورد مطالعه قرار گرفت. اما در مجموع نتایج نشان دادند که بر مبنای دوره ی زمانی ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۶، روند دما در هر دو ایستگاه افزایشی معنادار بوده و اما نرخ افزایش آن برای تهران بطور متوسط معادل ۰,۳۰ درجه سانتی-گراد در هر دهه و برای مسکو ۰,۲۶ درجه سانتی-گراد می باشد. این نتیجه مشابه بسیاری شهرهای بزرگ در سرتاسر جهان می باشد که با توجه به نیم قرن اخیر، روند افزایشی دما را تجربه نموده اند. بعنوان نمونه Prakasa Rao et al. (2004) برای ۱۵ شهر بزرگ هند، Yu et (2013) al., برای پکن، PERRIER et al., (2005) برای پاریس، Acero et al., (2018) برای بارسلون، (2008) Gaffin et al., برای نیویورک، مطالعه (2012) Camilloni and Barrucand برای Buenos Aires و Unkašević and Tošić (2009) برای بلگراد همگی این مطالعات موید روند افزایش تغییرات دما برای دهه‌های اخیر بوده است. اما بر مبنای نتایج منتج شده از مدل CanEMS2 و سناریوی RCP4.5، نرخ افزایش دما برای دهه‌های آینده در مسکو بیشتر از تهران می باشد. زیرا مسکو ۱,۴۴ درجه سانتی-گراد افزایش دمای بیشتری را در قیاس با تهران تجربه خواهد نمود. بگونه ای که میانگین سالانه دما در تهران ۳,۲۷ و در مسکو ۴,۷۱ درجه افزایش خواهند داشت.

از نتایج مشابه برای هر دو شهر مطالعاتی، رخداد بیشترین نرخ افزایش دما برای ماههای فصل تابستان ژوئن و جولای بوده و کمترین نرخ افزایش دما برای هر دو در پاییز اما در ماههای مختلف می باشد. در بسیاری از مطالعات مشخص گردیده است که اثر گرمایش جهانی باعث افزایش بیشتر دما، شدت و تداوم امواج گرمایی در ماههای گرم سال در قیاس با ماهها و فصول سرد سال می باشد. بر مبنای خروجیهای شاخص OT مشخص گردید که در ایستگاه

تهران نرخ افزایشی آن برای دهه‌های آینده نسبت به دوره ی پایه ۰,۹۳ درجه سانتی-گراد و برای مسکو ۰,۷۳ درجه سانتی-گراد است. همچنین اختلاف حداکثر و حداقل رخداد این شاخص برای دوره ی پایه در تهران ۶,۸ درجه سانتی-گراد بوده و برای دوره ی آینده ی این نرخ ۸,۹ درجه سانتی-گراد می باشد و در مسکو این مقادیر بترتیب شامل ۵ و ۵,۴۳ درجه سانتی-گراد است.

از اختلافات مشاهده شده برای دو شهر تهران و مسکو، می توان به روند کاهش رطوبت نسبی در تهران و نرخ افزایشی آن در مسکو اشاره نمود. بطوری که نتایج نشان دادند در تمامی ماهها مقدار رطوبت نسبی در تهران کاهش و برای مسکو افزایش خواهد یافت. میانگین سالانه نشان داد که نرخ کاهش آن در آینده برای تهران ۴ درصد و نرخ افزایشی آن برای مسکو ۱۰,۵ درصد می باشد. افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی در تهران می تواند منجر به تغییر استراتژیهای طراحی بیوکلیمایی ساختمان گردد همانطور که ترکیب این شرایط وضعیت گرم و خشکی را برای آینده تهران برآورد می کند. اما افزایش دما و رطوبت نسبی در مسکو می تواند برآیند یک اقلیم مرطوب تر و گرمتری را نسبت به شرایط اقلیم حاضر مسکو ارائه دهد. اثر گرمایش جهانی بر تقاضای انرژی تهران و مسکو بگونه ای بوده است که برای هر دو شهر نیاز به انرژی گرمایشی در دوره سرد سال کاهش نشان می دهد. اما این نرخ کاهش برای مسکو بیشتر از تهران بوده زیرا بر مبنای مدلسازیها و یافته‌های این تحقیق مشخص شد که میزان کاهش تقاضای انرژی در بخش گرمایشی برای میانگین سالانه تهران 1977kw/m^2 و برای مسکو 28890kw/m^2 می باشد. از سوی دیگر یافته‌ها نشان دادند که بر مبنای تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده، میانگین سالانه انرژی خنک کنندگی برای تهران به میزان 15623kw/m^2 و برای مسکو به مقدار 12272kw/m^2 افزایش خواهد یافت. پس نرخ افزایشی تقاضا در بخش انرژی خنک کنندگی برای تهران بیش از مسکو خواهد بود. جالب توجه می باشد که یافته‌ها برای دوره پایه نشان دادند

اکسید کربن افزایش داشته است. اما برآیند این تغییرات بگونه ای بوده است که کاهش تقاضای انرژی گرمایشی در ماههای سرد و افزایش تقاضای انرژی سرمایشی در فصل گرم تابستان منجر به انتشار بیشتر دی اکسید کربن برای سالهای پیش روی بوده است. مصداق آن بترتیب افزایش میانگین سالانه 9098kg/m^2 و 2016kg/m^2 برای تهران و مسکو در دهه ی آینده در قیاس با دوره ی مشاهداتی است. در نهایت نتایج این تحقیق نشان از وجود دگرگونی شرایط آب و هوایی دهه‌های آینده برای هر دو شهر و تغییر الگوی تقاضای انرژی می باشد. بنابراین بر مبنای مطالعه ی حاضر و در گام کنونی، تاثیرپذیری الگوی تقاضای انرژی ساختمانها از گرمایش جهانی پیش روی مشخص و شناسایی گردید. لذا در گام بعدی باید مطالعه بر روی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم آینده و از طرف دیگر استراتژیهای که منجر به کاهش نیاز و ذخیره مناسب انرژی مورد نیاز در ساختمانها می شود در دستور کار قرار گیرد. مسلماً توجه به تغییر در الگوی طراحی بیوکلیمایی ساختمانها برای دهه‌های آینده می تواند یکی از این راهکارها باشد که انجام آن بعنوان یکی از مطالعات پیش روی پیشنهاد می گردد.

که بترتیب ۴۴ و ۵۶ درصد از تقاضای انرژی برای تهران متعلق به بخش گرمایش و سرمایش می باشد که در دهه‌های آینده ۳۱،۲۶ درصد آن متعلق به گرمایش و ۶۸،۷۳ درصد مربوط به سرمایش خواهد شد. بنابراین رشد نیاز به انرژی سرمایشی برای دهه‌های آینده تهران قابل ملاحظه می باشد. برای مسکو داده‌های مشاهداتی نشان دادند که نیاز به انرژی گرمایشی و سرمایشی بترتیب شامل ۹۶ و ۴ درصد بوده که برای دهه‌های آینده سهم آن برای گرمایش ۹۵ و برای سرمایش ۵ درصد می باشد. از طرف دیگر بر مبنای میانگین سالانه مجموع نیاز به هر دو بخش انرژی سرمایشی و گرمایشی، مشخص شد که مجموع آن برای دوره ی آینده به مقدار 13645kw/m^2 در تهران افزایش و به مقدار 16619kw/m^2 در مسکو کاهش خواهد یافت.

از دیگر نتایج این تحقیق، وجود ارتباط معنادار، بین تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی با میزان انتشار گاز دی اکسید کربن استحصال شده از ساختمانها می باشد. زیرا برای هر دو شهر، در فصول سرد سال با کاهش نیاز به انرژی گرمایشی، مقدار انتشار دی اکسید کربن تنزل و با افزایش تقاضای انرژی سرمایشی در دوره گرم سال، میزان انتشار دی

منابع

4. Crawley, D.B., 2005, *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs*. US Department of Energy, Washington. DC.USA.
5. Dwaikat, L. N., Ali, K. N., 2018, The economic benefits of a green building – Evidence from Malaysia, *Journal of Building Engineering*, 18, 448-453
6. Fasi, M.A., Budaiwi, I.M., 2015, Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates, *Energy and Buildings*, 108, 307–316.
7. Henninger, R.H., Witte, M.J., 2003, *EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST)*. EnergyPlus Version 1.1. 0.020, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley,
1. Arima, Y., Ooka, R., Kikumoto, H., Yamanaka, T., 2016. Effect of climate change on building cooling loads in Tokyo in the summers of the 2030s using dynamically downscaled GCM data. *Energy and Buildings*, 114, 123–129
2. Borowska, J., Jezierski, W., 2018, Heat parameters of multi-sash windows in residential buildings, *Construction and Building Materials*, 176, 112-117
3. Cao, J., Li, M., Wang, M., Xiong, M., Meng, F., 2017, Effects of climate change on outdoor meteorological parameters for building energy-saving design in the different climate zones of China, *Energy and Building*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.045>

- outdoor climate: Effects of the coating, Construction and Building Materials, 139, 540-550
17. Rahman, M.M., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., 2010, Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia, Applied Energy, 87, 2994–3004.
 18. Sköld, Y. A., Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Janhäll, S., Jonsson, A., Moback, U., Bergman, R., Granberg, M., 2015, An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas, Climate Risk Management, 7, 31-50
 19. Shen, P., Malkawi, A. M., 2016, Impacts of climate change on US building energy use by using downscaled hourly future weather data, Energy and Buildings, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.028>
 20. Shibuya, T., Croxford, B., 2016, The effect of climate change on office building energy consumption in Japan, Energy and Buildings, 117, 1–11
 21. Shrestha, S., Maxwell, G., 2011, Empirical validation of building energy simulation software: EnergyPlus, 2935-2942.
 22. Wise, R.M., Butler, J.R.A., Suadnya, W., Puspadi, d K., Suharto, I., Skewes, T.D., 2016, How climate compatible are livelihood adaptation strategies and development programs in rural Indonesia?, Climate Risk Management, 12, 100-114
 23. Yuan, T., Ding, Y., Zhang, Q., Zhu, N., Yang, K., He, Q., 2017, Thermodynamic and economic analysis for ground source heat pump system coupled with borehole free cooling, Energy and Buildings,
 24. Zhai, Z.J., Johnson, M., Krarti, M., 2011, Assessment of natural and hybrid ventilation models in whole-building energy simulations, Energy and Buildings, 43, 2251-2261.
 25. Zhu, M., Pan, Y., Huang, Z., Xu, P., 2016, An alternative method to predict future weather data for building energy demand simulation under global climate change, Energy and Buildings, 113, 74–86
 - California, for US Department of Energy, Washington.
 8. Judkoff, R., Neymark, J., 1995, International Energy Agency building energy simulation test (BESTEST) and diagnostic method. National Renewable Energy Lab. Golden, CO (US). No. NREL/TP-472-6231
 9. Kingsborough, A., Jenkins, K., Hall, J. W., 2017, Development and appraisal of long-term adaptation pathways for managing heat-risk in London, Climate Risk Management, 16, 73-92
 10. Kwok, Y.T., Lai, A.K.L., Lau, K.K-I.L., Chan, P.W., Lavafpour, Y., Ho, J.C.K., Yung Ng, E.Y., 2017. Thermal comfort and energy performance of public rental housing under typical and near-extreme weather conditions in Hong Kong. Energy and Buildings, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.067>.
 11. Maile, T., Fischer, M., Bazjanac, V., 2007, Building energy performance simulation tools a life-cycle and interoperable perspective, Center for Integrated Facility Engineering, 1-49.
 12. Martinaitis, V., Zavadskas, E.K., Motuziene, V., Vilutiene, T., 2015, Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: A case study, Energy and Buildings, 101, 64–75.
 13. Mateus, N.M., Pinto, A., da Graça, G.C., 2014, Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally and mechanically ventilated test cell, Energy Build, 75, 511-522.
 14. Maltais, L. G., Gosselin, L., 2017, Daylighting ‘energy and comfort’ performance in office buildings: Sensitivity analysis, metamodel and pareto front, Journal of Building Engineering, 14, 61-72
 15. Meniru, K., Rivard, H., Bédard, C., 2003, Specifications for computer-aided conceptual building design, Design Studies, 24, 51-71
 16. Piot, A., Béjat, T., Jay, A., Bessette, L., Wurtz, E., Barnes-Davin, L., 2017, Study of a hempcrete wall exposed to

