

تأثیر اقلیم بر میزان مصرف انرژی در بخش گرمایش و سرمایش ساختمان

سعید گلکار^۱، حسین یوسفی^۲، محمد صالحی^۳، امیرحسین فتحی^۴، خاطره آزادی^۵

۱. دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

۲. دانشیار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۳. دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

۴. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۱/۱۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۲/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

چکیده

این پژوهش تأثیر تغییر اقلیم بر بار سرمایش و گرمایش یک ساختمان نمونه در ۱۰۰۰ نقطه گستره کشور ایران مورد بررسی قرار می‌دهد و فقط تأثیر تغییر شرایط آب‌وهوایی بر بار سرمایش و گرمایش مورد مطالعه قرار گرفته است. از نتایج مستخرج از این مطالعه می‌توان به منظور قیمت‌گذاری عادلانه حامل‌های انرژی در اقلیم‌های مختلف، برنامه‌ریزی عرضه حامل‌های انرژی و همچنین بررسی فناوری‌های مناسب جهت کاهش مصرف انرژی (عایق‌ها، آبگرمکن‌های خورشیدی و سایر موارد مشابه) بهره برد. به منظور کمی‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر بار سرمایش و گرمایش، از نرم‌افزار فنی و مهندسی دیزاین بیلدر استفاده شده است. بررسی بار سرمایش و گرمایش محاسبه نشان می‌دهد، بازه تغییر بار سرمایش در نقاط مورد بررسی نسبت به بار گرمایش بیشتر است و به صورت کلی متوسط بار سرمایش بیشتر از بار گرمایش است. بیشینه، متوسط و کمینه بار گرمایش به ترتیب $198 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ ، $7/2 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ و نزدیک به صفر بوده است. همچنین بیشینه، متوسط و کمینه بار سرمایش به ترتیب $166 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ ، $67 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ و $3/6 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ پیش‌بینی شد.

واژه‌های کلیدی: مصرف انرژی در ساختمان، بار سرمایش، بار گرمایش، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تأثیر تغییر اقلیم.

۱. مقدمه

انرژی مصرفی در جهان در چهار بخش عمده حمل‌ونقل، صنعت، کشاورزی و ساختمان تقسیم شده است [۱]. در این بین سهم قابل توجهی از انرژی جهانی در ساختمان‌ها مصرف می‌شود که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۴۰، این سهم به ۳۲ درصد برسد. آمار و مطالعات نشان می‌دهد در کشورهای شرکت‌کننده در سازمان همکاری و توسعه اقتصادی^۱، از جمله استرالیا، نیوزیلند، انگلستان و ایالات متحده، مصرف انرژی در ساختمان‌ها سالانه ۱/۵ درصد از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۴۰ در حال افزایش است [۲]. حال در این بین سهم مصرف انرژی سیستم تهویه مطبوع در ساختمان‌ها بسیار قابل توجه است [۳]. کاهش بارهای گرمایش و سرمایش نقش مهمی در طراحی ساختمان با بهره‌وری مصرف انرژی مناسب دارد. این به طراحان امکان دسترسی به طرح‌های مختلفی از جمله ارائه طرح‌هایی با گزینه کنترل سیستم تهویه مطبوع^۲ در جهت راه حل بهینه برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها را می‌دهد [۴].

میزان مصرف انرژی در ساختمان وابسته به کاربری، الگوی مصرف، زیربنا، بازده تجهیزات، درآمد، قیمت حامل‌های انرژی و عوامل تأثیرگذار بر مطلوبیت و سایر موارد مشابه است. می‌توان به منظور مطالعه راحت‌تر تأثیر هر یک از عوامل بیان‌شده بر مصرف انرژی، براساس کاربری ساختمان (به طور نمونه مسکونی، تجاری، بیمارستان، آموزشی و سایر موارد مشابه)، تقاضای انرژی در ساختمان را به هفت گروه (تبرید، پخت‌وپز، تجهیزات الکتریکی، روشنایی، مصارف بهداشتی، سرمایش و گرمایش) طبقه‌بندی کرد. در شکل ۱، میزان مصرف انرژی در هر یک از بخش‌های بیان‌شده بر اساس نوع کاربری ساختمان در آمریکا را بیان می‌کند. در این بین سهم آب گرم مصرفی^۳ و تهویه مطبوع محسوس است.

به منظور کاهش مصرف انرژی در بخش‌های بیان‌شده می‌توان به راهکارهایی همچون استفاده از عایق و پوشش، بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی در ساختمان و بهبود تکنولوژی سیستم‌های مورد استفاده از جمله تهویه مطبوع اشاره کرد. آنچه مهم به نظر می‌رسد

تأثیر تغییر اقلیم بر بازده فناوری‌ها، تغییر الگو تقاضا و سایر موارد مشابه است. اهمیت موضوع سبب شده است تا کنون مطالعات فراوان مرتبط در این خصوص صورت پذیرد. به طور نمونه، می‌توان به موارد ادامه اشاره کرد: توت کبانی و همکاران [۵] به بررسی تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای داده‌های مختلف آب‌وهوای آینده برای شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان پرداختند. در این مطالعه پیش‌بینی شده که الگوی عملکرد انرژی ساختمان در آینده به دلیل تغییرات آب‌وهوایی تغییر کند. برای تجزیه و تحلیل این پدیده از مجموعه داده‌های هواشناسی قابل اعتماد و صریح استفاده شده است. این مقاله سعی کرده سه ابزار را برای تولید مجموعه داده‌های آب‌وهوای آینده بر اساس کاهش مقیاس آماری با ابزاری مبتنی بر کاهش مقیاس دینامیکی (یک سال هواشناسی معمولی در آینده، ایجاد شده با استفاده از یک مدل آب‌وهوای منطقه‌ای با کیفیت) مقایسه کند. چهار مجموعه داده آب‌وهوا برای شهر رم ایجاد و برای شبیه‌سازی انرژی یک خانه تک‌واحدی و یک بلوک آپارتمانی به عنوان نمونه‌های ساختمانی ایتالیایی اعمال شده است. نتایج نشان داده است فایل‌های آب‌وهوای توسعه‌یافته عملکرد نسبتاً مشابهی در پیش‌بینی آسایش و عملکرد انرژی آینده ساختمان‌ها دارند. تجزیه و تحلیل نشان داده است استفاده از مجموعه داده‌های آب‌وهوایی به نوع ساختمان و جهت‌گیری آن بستگی دارد.

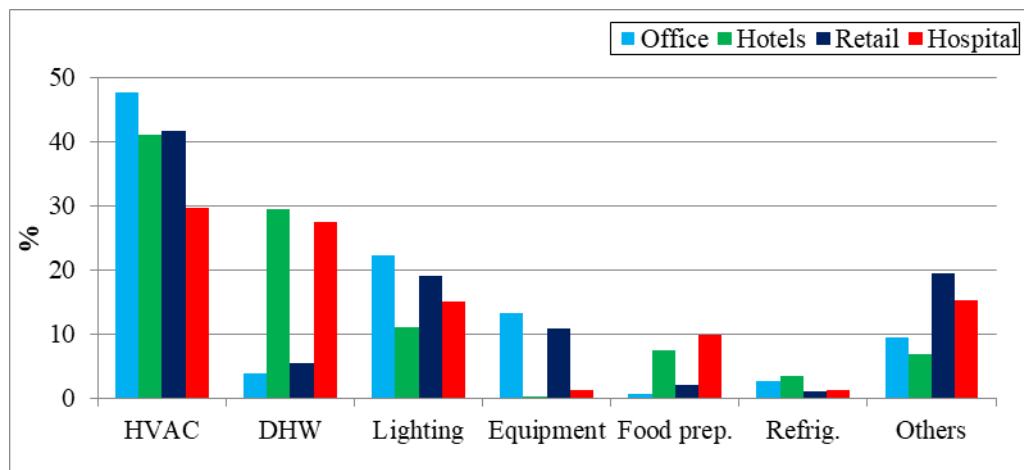
ویکتور پرز و همکاران [۶] به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تقاضای انرژی گرمایش و سرمایش در یک ساختمان مسکونی در آب‌وهوای مدیترانه‌ای پرداخته‌اند. در این مطالعه طیف وسیعی از اقدامات بهبود انرژی اعمال شده در یک ساختمان مسکونی معمولی مدیترانه‌ای تحت سناریوهای مختلف تغییر آب‌وهوا مدل شده است. مدل‌های گردش جهانی تحت دو سناریو که توسط آژانس هواشناسی اسپانیا گسترش یافته، مورد استفاده قرار گرفته است. شبیه‌سازی‌های انرژی با ابزار ترنسیس^۴ در آب‌وهوای مدیترانه‌ای بر اساس پیش‌بینی‌های دما در دو دوره ۲۰۴۸ تا ۲۰۵۲ و ۲۰۹۶ تا ۲۱۰۰، با بازه زمانی یکسان انجام پذیرفته است. هشت اقدام مختلف بهبود انرژی در مدل اولیه

1. OECD
2. HVAC
3. Domestic hot water(DHW)

4. TRNSYS

سرمایش و گرما بیش از حد در همه حالات افزایش می‌یابد. داده‌های مربوط به شرایط ساختمان که در این مطالعه پیش‌بینی شده‌اند، بیانگر آن هستند که استراتژی‌های تهویه طبیعی و اجباری کمترین تأثیر را خواهند داشت، در حالی که افزایش عایق حرارتی و کاهش نفوذ تأثیر بیشتری بر تقاضای انرژی سراسری خواهد داشت.

ساختمان اعمال شده به صورت شش راهکار غیرفعال (نفوذ، ضخامت عایق، نوع شیشه و قاب، ناحیه پنجره، دستگاه‌های سایه‌انداز و تهویه متقاطع طبیعی) و دو راهکار فعال (تهویه مکانیکی و یک سیستم بازیابی گرما) است. نتایج این مطالعه نشان داد تقاضا برای گرمایش داخل با افزایش دمای بیرون به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، در حالی که تقاضا برای



شکل ۱. مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان‌ها [۲]

برابر گرمای بیش از حد آسیب‌پذیر خواهند بود. ژنگ و همکاران [۸] به مدل‌سازی تأثیر تغییر اقلیم بر تقاضای انرژی ساختمان در لس‌آنجلس با استفاده از رویکرد تفکیک مکانی و زمانی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ پرداختند. تغییرات اقلیمی بر تقاضای گرمایش و سرمایش در ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارد. این مطالعه یک رویکرد مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی را برای ترکیب مدل‌سازی آب‌وهوا و شبیه‌سازی انرژی ساختمان برای تعیین مقدار تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر تقاضای انرژی ساختمان در لس‌آنجلس، کالیفرنیا پیشنهاد کرد. در این مطالعه مقایسه تقاضای انرژی ساختمان در شرایط آب‌وهوایی فعلی و آینده از طریق دو معیار تغییر نسبی^۳ و تفاوت مطلق^۴ در مقیاس‌های سالانه، ماهانه و روزانه انجام پذیرفته است. تجزیه و تحلیل برای ارزیابی مکان‌های آسیب‌پذیر در برابر تغییرات آب‌وهوایی انجام شد. نتایج نشان داد افزایش تقاضای انرژی سرمایش منجر به تغییرات بزرگی در تغییر نسبی و تفاوت مطلق شده است. تقاضای انرژی برای ساختمان‌ها از آوریل تا اکتبر افزایش

شادی اتیه و همکارش [۷] اثرات تغییر آب‌وهوا بر خانوارهای بلژیکی مبتنی بر ساختمانی با انرژی تقریباً صفر را مورد بررسی قرار دادند. گرمای بیش از حد در ساختمان‌های مسکونی یک مشکل چالش‌برانگیز است که باعث چالش حرارتی، کاهش بهره‌وری و مشکلات سلامتی می‌شود. هدف این مقاله، ارزیابی تأثیر تغییر آب‌وهوا بر آسایش حرارتی در شرایط محیطی بلژیکی را دنبال کرده است. مطالعه موردی ساختمانی با انرژی تقریباً صفر را که بدون سیستم سرمایش فعال طی تابستان کار می‌کند، نشان داده است. این مطالعه تأثیر تغییر آب‌وهوا بر مشکلات گرمای بیش از حد را با استفاده از سه رویکرد برای غلظت گازهای گلخانه‌ای که توسط هیئت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوا^۱ اتخاذ شده است، بررسی می‌کند. تجزیه و تحلیل عملکرد ساختمان با استفاده از نرم‌افزار ترنسسیس انجام شده است. نتایج نشان داد استراتژی‌های سازگاری زیست‌اقلیمی و حرارتی، از جمله مدل‌های آسایش حرارتی تطبیقی، نمی‌توانند بر اثر گرمایش جهانی غلبه کنند. برآورد انجام شده در این مطالعه پیش‌بینی کرده است که تا سال ۲۰۵۰، ساختمان‌های بدون انرژی در

2. GIS

3. Relative change

4. Absolute difference

1. IPCC

تبدیل انرژی و میزان تقاضا تأثیرگذار خواهد بود. این مسئله می‌تواند بر نوع و ظرفیت فناوری تبدیل انرژی تأثیرگذار باشد. این مطالعه بخشی از یک مطالعه در حال انجام بوده است و هدف این مطالعه، تأثیر تغییر اقلیم محل قرارگیری ساختمان بر میزان تقاضا انرژی مفید در بخش سرمایش و گرمایش در یک خانه مسکونی بدون تغییر ساعات حضور ساکنان مورد مطالعه است. به منظور مشاهده گستره شرایط آب‌وهوایی، ۱۰۰۰ نقطه از کشور ایران (شهر) انتخاب شده و ساختمان بدون تغییر در فناوری و کاربری، میزان تقاضا انرژی مفید در بخش سرمایش و گرمایش مورد بررسی قرار گرفته شده است. انتخاب تعداد ۱۰۰۰ نقطه از شهرهای ایران، به منظور بهره‌گیری از گستره بسیار متفاوت اقلیمی موجود و بررسی جامع این بازه آب‌وهوایی در تقاضای انرژی ساختمان است.

۲. روش تحقیق

۲.۱. مدل‌سازی

تقاضا در یک ساختمان را می‌توان به هفت گروه سرمایش، گرمایش، مصارف بهداشتی، پخت‌وپز، روشنایی، تبرید و تجهیزات الکتریکی طبقه‌بندی کرد [۱۳]. تقاضا در هر یک از بخش‌ها تابعی از شرایط مالی (میزان درآمد کنونی، اندوخته، پیش‌بینی شرایط اقتصادی آینده و سایر عوامل مشابه)، اقلیم، ساختمان، کاربری ساختمان، تعداد ساکنان، فرهنگ، تبلیغات، تجهیزات الکتریکی موجود در ساختمان (به طور نمونه روشنایی تأثیرگذار بر بار سرمایش و گرمایش) و سایر عوامل مشابه است [۱۴]. اگرچه سیستم عرضه انرژی بر میزان تقاضا تأثیرگذار است، اما در بسیاری از مطالعات از این اثر متقابل صرف‌نظر می‌شود [۱۵]. مدل‌های تقاضای انرژی را می‌توان در چهار گروه تقسیم‌بندی کرد که عبارت‌اند از: مدل‌های سری زمانی، مدل‌های اقتصادسنجی و مدل‌های فنی و مهندسی و مدل‌های تلفیقی [۱۶].

۱. مدل‌های سری زمانی: در این حالت تقاضا آینده

را براساس تقاضا گذشته می‌دانند. واضح است که با استفاده از این مدل‌ها نمی‌توان تغییر قیمت حامل‌های انرژی، تأثیر ظهور تکنولوژی (های) جدید، تغییر الگو مصرف و سایر موارد مشابه را مطالعه کرد، اما این دسته از مدل‌ها می‌توانند انتخاب مناسب برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت آینده در

یافته، اما از نوامبر تا مارس کاهش یافته است. بزرگ‌ترین تفاوت مطلق مثبت کل انرژی برای همه انواع ساختمان‌ها در ماه آگوست گزارش شده که بین ۱/۸ تا ۳۰/۹۱ مگاژول بر متر مربع بوده است. مناطقی با ساختمان‌های تجاری متراکم و بلند بیشترین افزایش تقاضای انرژی را گزارش دادند. دیوید هارتاز و همکاران [۱۰] به ارزیابی پتانسیل رویکرد آسایش حرارتی با استفاده از داده‌های تاریخی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های جنوب اسپانیا پرداختند. استفاده از یک مدل آسایش حرارتی یکی از عوامل تعیین‌کننده کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش ساختمان است. آن‌ها در این مدل از کنترل‌های حرارتی سیستم سرمایش و گرمایش و بهره‌مندی از تهویه طبیعی بهره بردند. نتایج به صورت محسوس نشان داد بهره‌مندی از تهویه طبیعی در فصل تابستان و زمستان، همچنین قرار دادن کنترل دمایی در تابستان از ۲۵ به ۲۷ درجه سانتی‌گراد و همین‌طور در زمستان از ۲۲ به ۲۰ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش مصرف انرژی ساختمان و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. سماه و همکاران [۱۱] به بررسی تأثیر نسبت پنجره به دیوار و جهت پنجره روی مصرف انرژی ساختمان در لیبی پرداختند. بازه نسبتی پنجره به دیوار بین ۰ تا ۰/۹ و جهت پنجره‌ها تا ۴۵ درجه بین هر هشت جهت است. نتایج نشان می‌دهد افزایش نسبت پنجره به دیوار^۱ باعث افزایش مصرف انرژی سرمایش و کاهش مصرف انرژی گرمایش می‌شود. به صورت کلی تقاضای انرژی سرمایش بیشتر از تقاضای انرژی گرمایش در لیبی است، با این حال هنگام افزودن پنجره‌ها به دیوارهای جنوبی، مصرف انرژی سرمایش به شدت افزایش می‌یابد. در حالی که مصرف انرژی گرمایش به دلیل گرمایش غیرفعال خورشیدی به صفر می‌رسد. به طور کلی، تأثیر افزودن پنجره‌ها به نما منجر به افزایش کل مصرف سالانه انرژی به میزان ۶ تا ۱۸۱ درصد برای مورد بررسی شده در این مطالعه می‌شود.

اگر چه تا کنون مطالعات فراوان در ارتباط با مصرف انرژی در هر اقلیم منتشر شده است، اما کمتر مطالعه‌ای تأثیر قابل توجه تغییر شهر و به تبع آن تغییر اقلیم یا تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر میزان مصرف انرژی را مورد بررسی قرار داده‌اند، چرا که تغییر اقلیم بر میزان بازده فناوری‌های

1. window to wall ratio

در ساختمان بهره گرفته و نواقص موجود نرم افزارهای دیگر را پوشش داده است.

براساس آنچه بیان شد، برای مدل سازی تقاضای انرژی و برآورد انرژی ساختمان از نرم افزار دیزاین بیلدر^۳ که قابلیت های بسیار کاربردی نظیر طراحی سیستم سرمایش و گرمایش، مباحث محیط زیستی، اقتصادی و استفاده از انرژی تجدیدپذیر در ساختمان را دارد، استفاده شده است. نرم افزار دیزاین بیلدر به علت داشتن ویژگی های منحصر به فرد قادر به پاسخ گویی به انتظارات این پژوهش است. این نرم افزار موتور مدل سازی انرژی پلاس^۴ دارد. موتور انرژی پلاس توسط دپارتمان انرژی امریکا^۵ توسعه یافته و از دقیق ترین نرم افزارهای موجود برای تحلیل های انرژی است [۱۹]. نرم افزار دیزاین بیلدر برای مدل سازی جنبه های مختلف ساختمان مانند: معماری ساختمان، سیستم سرمایشی / گرمایشی، سیستم روشنایی و مدل سازی سی اف دی^۶ کاربرد دارد. همچنین، مصارف مختلف انرژی در بخش گرمایش / سرمایش، روشنایی، لوازم خانگی و آب گرم مصرفی را به صورت دینامیک مدل سازی می کند. این نرم افزار رابط کاربری خوبی دارد که کاربران را قادر می سازد تا سرعت در مدل سازی افزایش یابد [۲۰]. این نرم افزار مناسب برای طراحی ساختمان های با کارایی بالا، شبیه سازی و تجسم است. داده ها را می توان به آسانی از فرمت اکسل استخراج کرد. سیستم های بسیار دقیق تهیه مطبوع در حال حاضر می تواند در نسخه ۵ این نرم افزار مدل سازی شود. خروجی های گرافیکی عالی در مقیاس های مختلف سالانه، ماهانه، روزانه، ساعتی و دقیقه ای قابل استخراج است. همچنین، نرم افزار دیزاین بیلدر با استفاده از فایل اقلیمی شهرهای مختلف، محاسبات دریافت و اتلاف و مصرف انرژی را دقیقاً بر اساس شرایط اقلیمی انجام می دهد. نقش مؤثر این نرم افزار زمانی روشن تر می شود که طی مراحل طراحی و مدل سازی ساختمان، با اعمال تغییرات کوچک و بزرگ در طراحی، تأثیرات این تغییرات در میزان مصرف و یا صرفه جویی انرژی ساختمان و یا هر یک از فضاها مشخص می شود. شکل ۲ نمایی از نرم افزار دیزاین بیلدر را نشان می دهد.

شرایط حاضر مطالعه دانست. از مزایا این مدل ها، بار محاسباتی و اطلاعات ورودی کمتر نسبت به سایر مدل ها است [۱۷].

۲. مدل های اقتصادسنجی: با استفاده از مدل های قرار گرفته در این گروه، می توان تأثیر عوامل اقتصادی بر میزان مصرف را مورد مطالعه قرار داد، اما همچنان تأثیر تغییر اقلیم، تغییر تجهیزات، تغییر الگوی مصرف و سایر موارد مشابه را نمی توان مورد مطالعه قرار داد [۱۸].

۳. مدل های فنی و مهندسی: مدل های فنی و مهندسی این امکان را فراهم می آورند تا تقاضا را در هر بخش با در نظر گرفتن مسائل فنی برآورد کرد، اما در این مدل ها تأثیر تغییر قیمت بر الگوی مصرف، تغییر تجهیزات الکترونیکی و سایر موارد مشابه به طور مستقیم مورد مطالعه قرار نمی گیرد [۱۷].

۴. مدل های تلفیقی: به منظور مطالعه جامع تر می توان از ترکیب دو یا چند مدل بیان شده بهره برد.

از آنجا که در این مطالعه قصد است تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تقاضا انرژی در دو طبقه بار سرمایش و گرمایش بدون در نظر گرفتن تغییر فرهنگ، تغییر نسبت هزینه های بخش انرژی به درآمد خانوار و سایر عوامل اقتصادی مورد مطالعه قرار گیرد، از این رو مدل های فنی و مهندسی می توانند گزینه مناسب برای این مطالعه باشد. در صورت تمایل به استفاده از مدل های فنی و مهندسی در برآورد تقاضا انرژی در یک ساختمان می توان از نرم افزارهای تجاری بهره برد. تا کنون نرم افزارهای تجاری متعدد از جمله دیزاین بیلدر، کریر و اکوتکت و... توسعه یافته است.

در جدول ۱ مقایسه عملکرد و کارایی سه نرم افزار دیزاین بیلدر (که پاسخ گوی معماران و مهندسان است)، کریر^۱ (نرم افزاری برای محاسبه بارهای ساختمان که مورد تأیید سازمان نظام مهندسی است) و اکوتکت^۲ (نرم افزار مورد توجه معماران) ارائه شده است [۱۹]. با توجه به آیت های قرارداده شده در جدول جهت مقایسه سه نرم افزار موجود معتبر در حوزه انرژی، نرم افزار دیزاین بیلدر از ابزارهای قدرتمندتری در جهت شبیه سازی تقاضای انرژی

3. Design Builde

4. EnergyPlus

5. Department of Energy

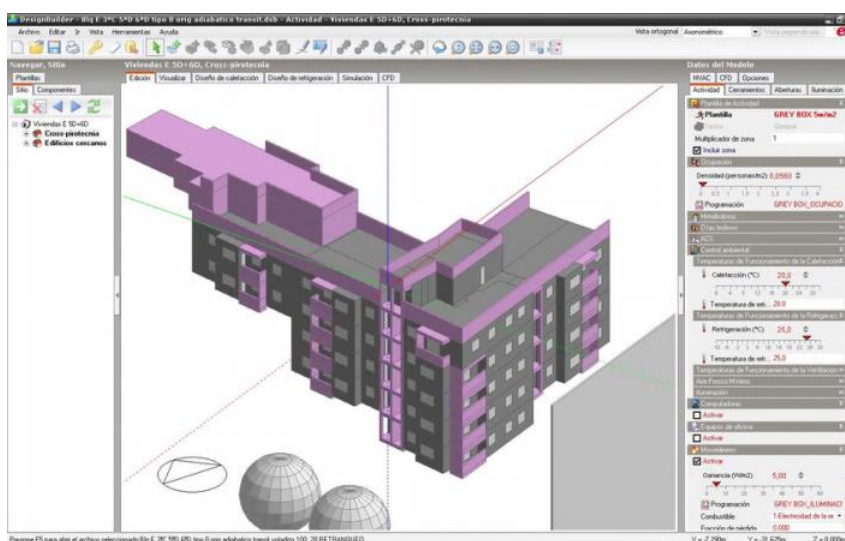
6. Computational Fluid Dynamics (CFD)

1. Carrier

2. Ecotect

جدول ۱. مقایسه اجمالی سه نرم افزار پر کاربرد حوزه انرژی [۱۹]

Ecotect	Carrier	Design Builder	قیاس
✓	✓	✓	انرژی
×	✓	✓	محیط زیست CO ₂
×	✓	✓	اقتصاد
✓	×	✓	آسایش و اقلیم
✓	✓	✓	تجزیه و تحلیل اقلیم
✓	×	✓	نمایش گرافیکی آسایش حرارتی
✓	×	✓	نمایش گرافیکی ساختمان
✓	✓	✓	تابش خورشید
×	×	✓	نور روز
×	×	✓	تهویه طبیعی
×	×	✓	نسبت سطح پنجره به دیوار
×	✓	✓	جرم حرارتی
✓	✓	✓	سایبان‌ها
✓	✓	✓	بهره‌وری انرژی
✓	✓	✓	عایق حرارتی
✓	✓	✓	مشخصات و کارایی پنجره
×	×	✓	روشنایی مصنوعی
×	✓	✓	بارهای حرارتی
×	×	✓	نرخ نشت هوا
×	✓	✓	تهویه مکانیکی
×	✓	✓	سیستم سرمایش
×	✓	✓	سیستم گرمایش
×	×	✓	فناوری‌های نوین
×	×	✓	CFD



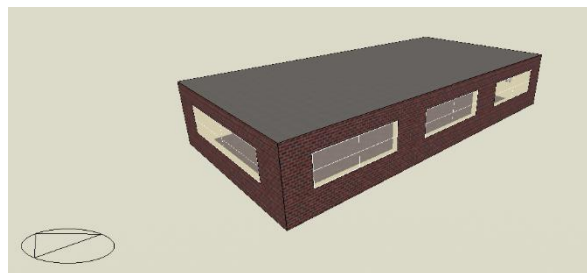
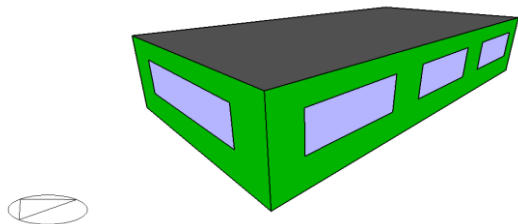
شکل ۲. نمایی از نرم افزار دیزاین بیلدر

۳. نتایج

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر و با توجه به مدل‌های موجود در کتابخانه نرم‌افزار، یکی از ساختمان‌های استاندارد برای بررسی تقاضای انرژی در گستره نقاط این مطالعه، انتخاب شده تا در بررسی تأثیر اقلیم‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. ساختمان مورد مطالعه، از یک طبقه تشکیل شده است. اطلاعات کامل از جمله سیستم روشنایی، سیستم سرمایش و گرمایش، تجهیزات الکتریکی، کاربری، تعداد افراد با استفاده از شکل ۳ و جدول‌های ۲ تا ۴ به اشتراک گذاشته شده است. این ساختمان یک طبقه با زیربنای کل ۱۸۲ مترمربع است. شکل ۳، تصویر سه‌بعدی ساختمان انتخاب شده را نشان داده است. در این شبیه‌سازی خواص حرارتی مواد اجزای ساختمان

مطابق جدول‌های ۲-۴ به نرم‌افزار وارد شده است. جدول ۴ ویژگی‌های مدل ساختمان اعم از مشخصات دمایی سیستم‌های به‌کاررفته در ساختمان، جزئیات سیستم تهویه و... را نشان داده است. براساس مشخصات بیان‌شده از ساختمان و ساکنان، بار سرمایش و گرمایش در ۱۰۰۰ نقطه محاسبه شد. تغییر اقلیم بر ساعات روشن بودن سیستم گرمایش و سرمایش و همچنین، بار گرمایش و سرمایش تأثیرگذار است. به این صورت که بهره‌برداری از سیستم‌های تهویه با تغییر شرایط جوی همسو می‌شود. در ادامه این دو مسئله مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل ۴ میزان ساعات روشن بودن سیستم گرمایش و سرمایش برای نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

Project ground floor
Project facade
Project wall
Project external glazing



شکل ۳. تصویر سه‌بعدی ساختمان مورد مطالعه

جدول ۲. خواص ترموفیزیکی مصالح به‌کاررفته در دیوارهای ساختمان [۲۱]

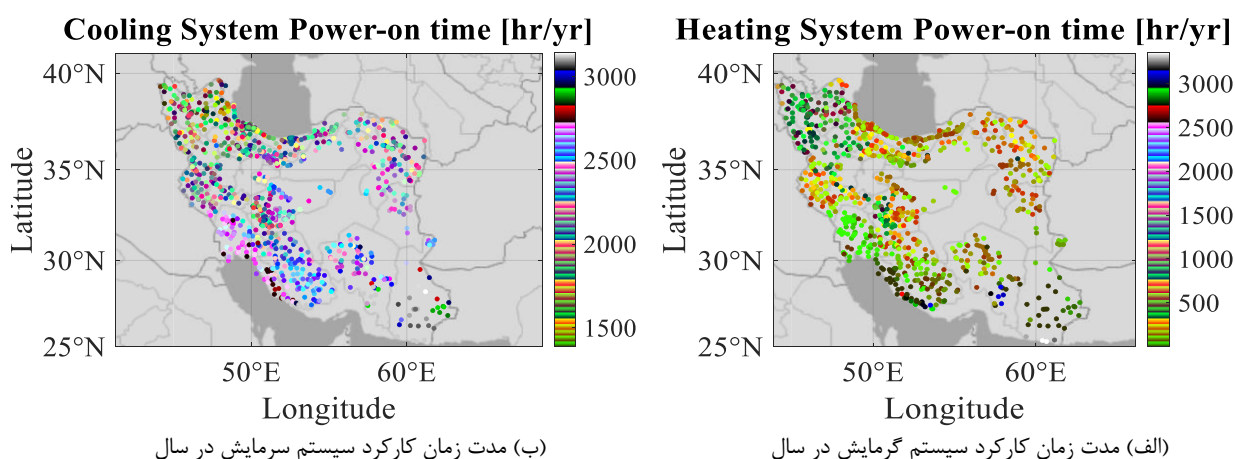
گرمای ویژه	چگالی	ضریب هدایت حرارتی	ضخامت	ماده
$\frac{J}{KG * K}$	$\frac{Kg}{m^3}$	$\frac{W}{mK}$	M	
۸۰۰	۱۷۰۰	۰/۸۴	۰/۱	آجرنما
۱۴۰۰	۳۵	۰/۰۳۴	۰/۰۸	XPS Extruded Polystyrene فوم عایق
۱۰۰۰	۱۴۰۰	۰/۵۱	۰/۱	بلوک بتونی
۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰/۴	۰/۰۱۳	گچ و خاک

جدول ۳. خواص ترموفیزیکی مصالح به‌کاررفته در سقف داخلی ساختمان [۲۱]

گرمای ویژه	چگالی	ضریب هدایت حرارتی	ضخامت	ماده
$\frac{J}{KG * K}$	$\frac{Kg}{m^3}$	$\frac{W}{mK}$	M	
۱۰۰۰	۲۱۰۰	۰/۷	۰/۰۱	آسفالت
۸۴۰	۱۲	۰/۰۴	۰/۱۴۵	پشم شیشه (rolls) MW Glass Wool
۱۰۰۰	۱۴۰۰	۰/۵۱	۰/۲	Air gap
۸۹۶	۲۸۰۰	۰/۴	۰/۲۵	گچ و خاک

جدول ۴. ویژگی‌های مدل ساختمان

موضوع	توضیحات
تعداد ساکنان	$\frac{\text{people}}{\text{m}^2} = ۱۱$
ضریب لباس پوشیدن	$۰/۵ =$ تابستان $۱ =$ زمستان
کنترل دمای فضای تهویه‌شونده	$24^{\circ}\text{C} =$ سرمایش $22^{\circ}\text{C} =$ گرمایش
حداقل هوای تازه	$\frac{\text{لیتر}}{\text{نفر} * \text{ثانیه}} = ۱۰$
سیستم تهویه مطبوع	چیلر تراکمی هوا-خنک ضریب عملکرد تبرید: ۱,۸۵ ضریب عملکرد گرمایش: ۰,۸۵
ست پوینت‌های دمایی سیستم تهویه	گرمایش: ۳۵ سانتی‌گراد سرمایش: ۱۲ سانتی‌گراد
آبگرم مصرفی ^۱	$۰,۲ \frac{\text{لیتر}}{\text{روز} * \text{مربع متر}}$ دمای تحویلی: ۶۵ سانتی‌گراد



شکل ۴. میزان ساعات روشن بودن سیستم گرمایش و سرمایش

دیلم از استان بوشهر کمترین دفعات ساعت‌های روشن شدن سیستم گرمایش دارد که شرایط آب‌وهوایی بسیار گرم آن نقطه را گزارش می‌دهد. از طرفی، شهر قطور واقع شده در استان آذربایجان غربی که دارای آب‌وهوای بسیار سرد است، کمترین دفعات ساعت‌های روشن شدن سیستم سرمایش دارد.

نکته قابل تأمل براساس نتایج قرار داده شده این مطالعه در جدول ۵، چابهار شهرستان نخست در بررسی بیشترین دفعات روشن شدن سیستم گرمایش است. با توجه به قرارگیری چابهار در موقعیت متفاوت و تنش اقلیمی بالا، تعداد دفعات زیاد روشن شدن سیستم تهویه

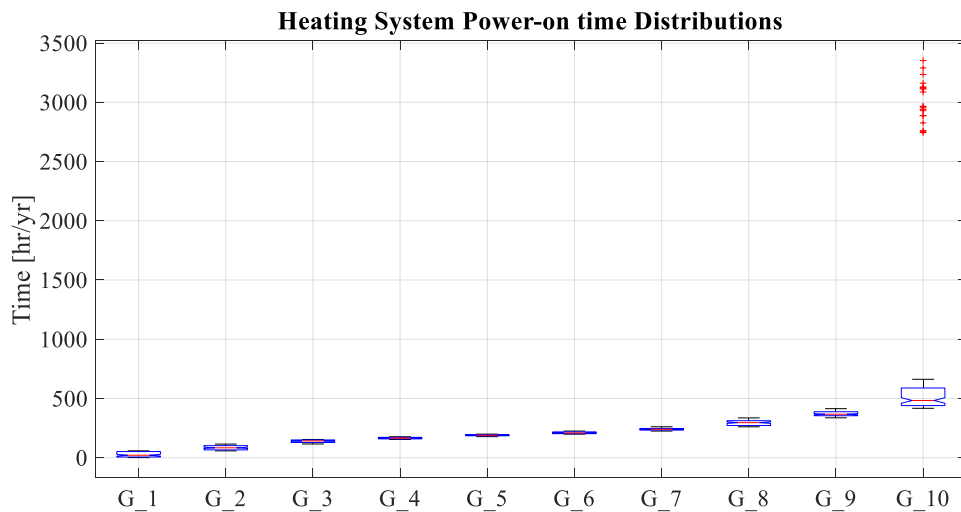
نتایج نشان می‌دهد کمترین، متوسط و بیشینه تعداد ساعت‌های روشن بودن سیستم گرمایش در میان نقاط مورد بررسی به ترتیب ۲۷۴/۱ و ۳۳۵۸ ساعت است. در حالی که کمترین، متوسط و بیشینه مدت زمان روشن بودن سیستم سرمایش برای همان نقاط به ترتیب ۱۳۸۸، ۲۲۶۹ و ۳۱۴۵ ساعت پیش‌بینی می‌شود. این مسئله تا اینجا نشان می‌دهد مدت زمان نیاز به سیستم سرمایش در کشور ایران به مقدار قابل توجه بیشتر از سیستم گرمایش است. به طور خلاصه در جدول ۵، شهرها با کمترین، بیشینه تعداد دفعات روشن شدن سیستم گرمایش و سرمایش بیان شده است. بندر

روشن شدن سیستم سرمایش قرار دارد. با قرارگیری این ۱۰۰۰ شهر، در ۱۰ گروه با تعداد اعضای برابر (مشابه دهک‌های اقتصادی)، بازه ساعت‌های روشن بودن سیستم گرمایش و سرمایش مطابق شکل ۵ مورد پیش‌بینی قرار گرفته است.

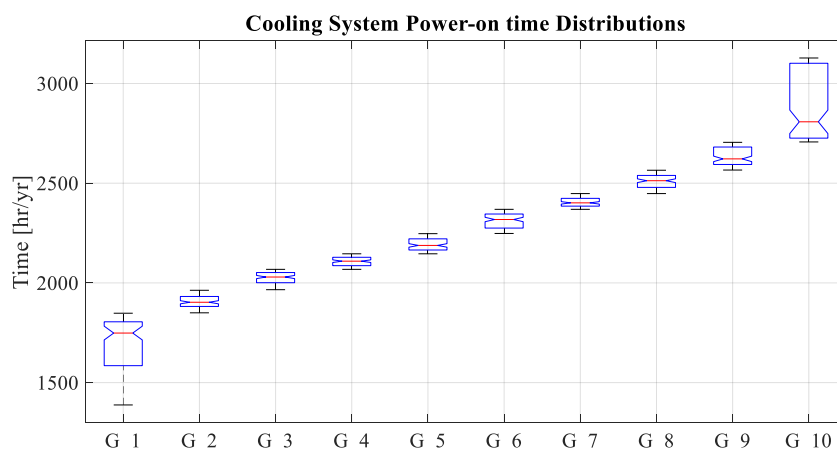
حاصل شده است. بررسی این شهر نشان می‌دهد میزان دفعات روشن شدن سیستم سرمایش نیز قابل توجه بوده است، به گونه‌ای این تعداد برابر با ۳۱۲۰ در سال (معادل ۳۱۲۰ ساعت) خواهد بود و در میان ۱۰۰۰ شهرستان مورد بررسی، در جایگاه سومین شهرستان از نظر زمان

جدول ۵. شهرها با کمترین و بیشترین تعداد دفعات روشن شدن سیستم گرمایش و سرمایش

سیستم سرمایش	سیستم گرمایش	
خاش - استان سیستان و بلوچستان	چابهار - استان سیستان و بلوچستان	بیشترین دفعات روشن شدن
قطور - استان آذربایجان غربی	بندرلیم - استان بوشهر	کمترین دفعات روشن شدن



(الف) ساعت‌های کارکرد سیستم گرمایش

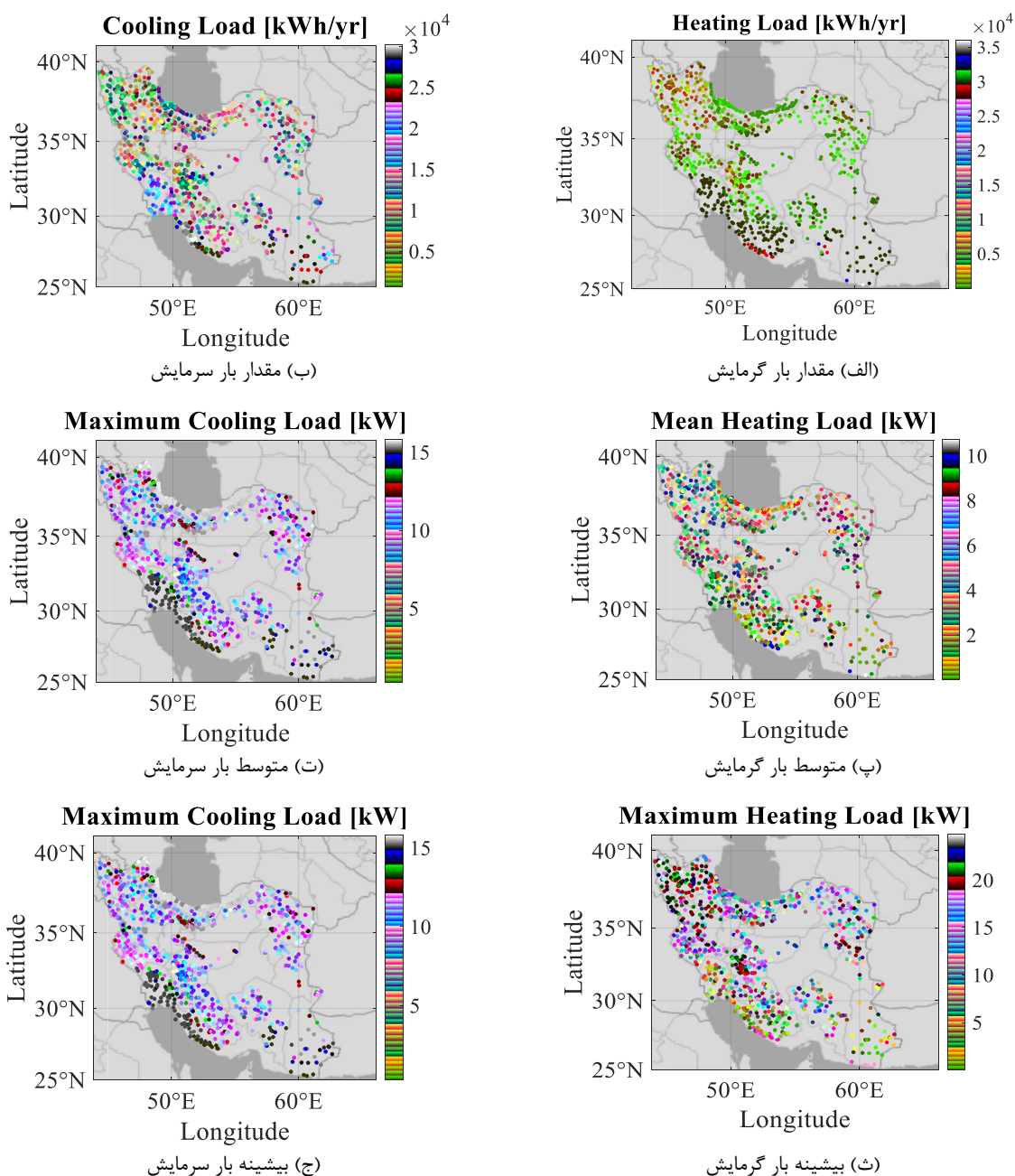


(ب) ساعت‌های کارکرد سیستم سرمایش

شکل ۵. گستره مدت زمان روشن بودن سیستم گرمایش و سرمایش در صورت طبقه‌بندی نقاط مورد بررسی در ۱۰ گروه

در قسمت بار سرمایش، تغییرات بیشتر شده و میزان تغییرات در دهک نخست (کمترین بار سرمایش) و در دهک‌های نهم و دهم (بیشترین بار سرمایش)، بیشتر است و این مسئله گستره قابل توجه شرایط آب‌وهوایی شهرهای ایران بر میزان تقاضا بار سرمایش و گرمایش نشان می‌دهد. شکل ۶ مقدار بار گرمایش و سرمایش طی سال، متوسط مقدار بار سرمایش و گرمایش و همچنین بیشینه بار سرمایش و گرمایش را در میان نقاط مورد بررسی نشان می‌دهد.

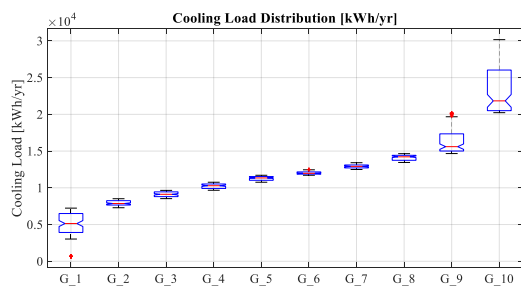
بررسی شکل ۵، نشان می‌دهد بار سرمایش به مراتب بیشتر از بار گرمایش در نقاط مورد بررسی است. جابه‌جایی میان شهرهای ایران، علاوه بر مدت زمان فعالیت سیستم گرمایش و سرمایش، بر بیشینه و مجموع بار نیز تأثیرگذار است. این مسئله بر ظرفیت سیستم سرمایش و گرمایش، همچنین میزان انرژی مصرفی تأثیرگذار است همچنین میزان تغییرات بار گرمایش در دهک (دهک دهم)، نسبت به سایر دهک‌ها بیشتر است و



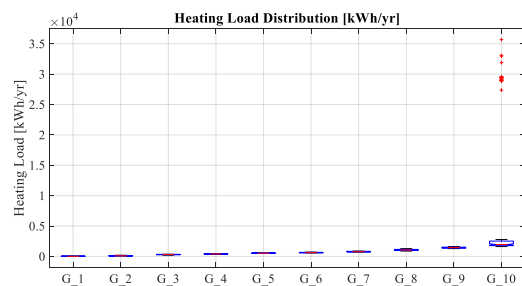
شکل ۶. مقدار بار گرمایش و سرمایش طی سال، متوسط مقدار بار سرمایش و گرمایش و همچنین بیشینه بار سرمایش و گرمایش طی یک سال برای ساختمان نمونه بررسی در اقلیم‌های مختلف

گرمایش و سرمایش در ۱۰ گروه برابر از نظر تعداد، مورد بررسی قرار گرفته شده است.

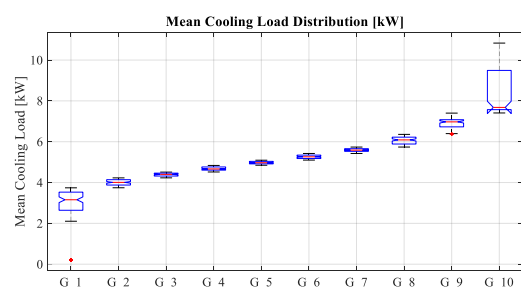
در ادامه با کمک شکل ۷، توزیع بار گرمایش و سرمایش، متوسط بار گرمایش و سرمایش و بیشینه بار



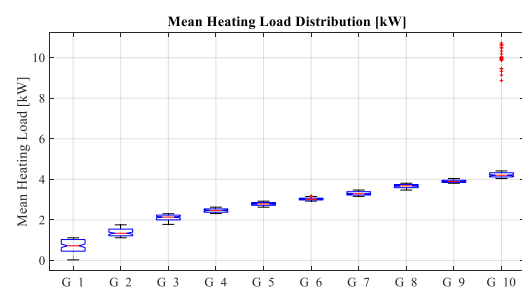
(ب) مقدار بار سرمایش



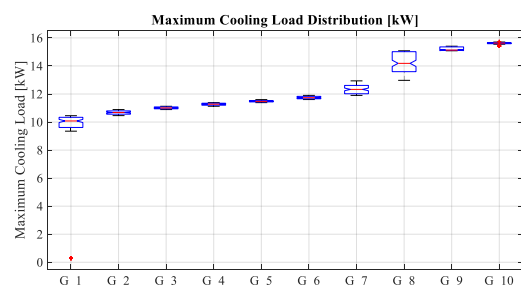
(الف) مقدار بار گرمایش



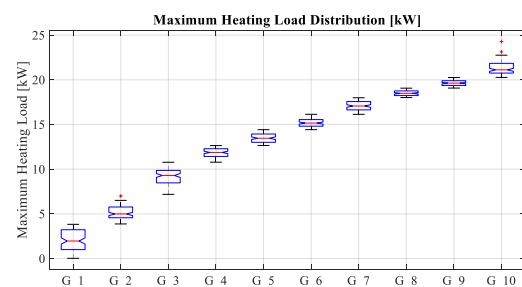
(ت) متوسط بار سرمایش



(پ) متوسط بار گرمایش



(ج) بیشینه بار سرمایش



(ث) بیشینه بار گرمایش

شکل ۷. توزیع مقدار بار گرمایش و سرمایش طی سال، متوسط مقدار بار سرمایش و گرمایش و همچنین بیشینه بار سرمایش و گرمایش طی یک سال برای ساختمان نمونه بررسی در اقلیم‌های مختلف

بیشینه بار سرمایش نسبت به بار گرمایش کاهش یافته است، اما متوسط بار سرمایش به مقدار قابل توجه نسبت به بار گرمایش افزایش یافته است. بررسی بیشینه، متوسط و کمینه توان سیستم سرمایش به ترتیب $87 \left[\frac{W}{m^2} \right]$ و $29 \left[\frac{W}{m^2} \right]$ و خواهد بود. در مقایسه با سایر مطالعات از جمله وونگ و همکاران [۲۲] که به بررسی «تأثیر تغییر اقلیم بر بارهای سرمایشی ساختمان‌های مسکونی در آب‌وهوای نیمه‌گرمسیری» پرداختند، میانگین بار سرمایش سالانه طی دوره ۲۰۰۹-۲۱۰۰ به ترتیب $6/1$ و $9/8$ درصد بیشتر از بار سرمایش طی سال‌های ۱۹۷۹-۲۰۰۸ گزارش کردند. در

به طور خلاصه، بررسی وضعیت یک ساختمان نمونه در ۱۰۰۰ شهر ایران نشان می‌دهد بیشینه، متوسط و کمینه بار گرمایش به ترتیب $198 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ ، $7/2 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ و نزدیک به صفر بوده است. بررسی ظرفیت سیستم گرمایش در شهرهای مختلف نشان می‌دهد بیشینه و متوسط و کمینه توان گرمایش به ترتیب $136/6 \left[\frac{W}{m^2} \right]$ ، $15 \left[\frac{W}{m^2} \right]$ و نزدیک به صفر خواهد بود. به طور مشابه وضعیت بار سرمایش نشان می‌دهد تغییر محل ساختمان در شرایط مختلف سبب می‌شود بیشینه، متوسط و کمینه بار سرمایش به ترتیب $166 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ ، $67 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ و $3/6$ پیش بینی شود. اگرچه

منابع

- [1]. H. Khatib, "IEA World Energy Outlook 2011—A comment," *Energy Policy*, vol. 48, pp. 737–743, Sep. 2012, doi: 10.1016/J.ENPOL.2012.06.007.
- [2]. D. K. Bui, T. N. Nguyen, T. D. Ngo, and H. Nguyen-Xuan, "An artificial neural network (ANN) expert system enhanced with the electromagnetism-based firefly algorithm (EFA) for predicting the energy consumption in buildings," *Energy*, vol. 190, p. 116370, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.ENERGY.2019.116370.
- [3]. L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information," *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, Jan. 2008, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2007.03.007.
- [4]. G. Zemella, D. De March, M. Borrotti, and I. Poli, "Optimised design of energy efficient building façades via Evolutionary Neural Networks," *Energy Build.*, vol. 43, no. 12, pp. 3297–3302, Dec. 2011, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2011.10.006.
- [5]. M. P. Tootkaboni, I. Ballarini, M. Zinzi, V. C.-Climate, and undefined 2021, "A comparative analysis of different future weather data for building energy performance simulation," *mdpi.com*, Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1008604>
- [6]. V. Pérez-Andreu, C. Aparicio-Fernández, A. Martínez-Ibernón, and J. L. Vivancos, "Impact of climate change on heating and cooling energy demand in a residential building in a Mediterranean climate," *Energy*, vol. 165, pp. 63–74, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.ENERGY.2018.09.015.
- [7]. S. Attia, C. G.-Energies, and undefined 2020, "Climate change effects on belgian households: a case study of a nearly zero energy building," *mdpi.com*, Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/855878>
- [8]. Y. Zheng and Q. Weng, "Modeling the effect of climate change on building energy demand in Los Angeles county by using a GIS-based high spatial- and temporal-resolution approach," *Energy*, vol. 176, pp. 641–655, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.ENERGY.2019.04.052.
- [9]. K. Bamdad, M. E. Cholette, S. Omrani, and J. Bell, "Future energy-optimised buildings — Addressing the impact of climate change on buildings," *Energy Build.*, vol. 231, p. 110610, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.110610.

صورتی که اگر فقط ۳۰ سال گذشته (در بازه ۲۰۷۱–۲۱۰۰) در نظر گرفته شود، درصد افزایش بار سرمایش بسیار بزرگتر در مقدارهای ۱۲/۳ و ۲۱/۶ درصد خواهد بود. چون تغییرات اقلیمی و به صورت کلی افزایش دمای زمین موجب افزایش تقاضای بار سرمایش شده است. از طرفی، یو وانگ و همکاران [۲۳] «تأثیرات تغییر اقلیم بر بارهای سرمایشی ساختمان‌های مسکونی تفاوت بین ساکنان با سنین مختلف» را بررسی کرده و به نتایج آن‌ها نشان داد انرژی سرمایشی ساختمان‌های مسکونی نسبت به تغییرات آب‌وهوایی حساس است، یعنی کل انرژی سرمایشی سالانه در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ به ترتیب ۳۰/۷ و ۸۰/۳ درصد بیشتر از سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر تغییر شرایط آب‌وهوایی بر بار سرمایش و گرمایش ساختمان است. از این‌رو، حضور ساکنان و الگو مصرف و تنظیمات دما برای تمام حالت‌های مورد بررسی یکسان در نظر گرفته شده است. نتایج مستخرج از این مطالعه می‌تواند به منظور برآورد مصرف حامل‌های انرژی پرمصرف (گاز طبیعی و الکتریسته) در بخش خانگی مورد توجه قرار گیرد. همچنین، به منظور قیمت‌گذاری عادلانه حامل‌های انرژی در اقلیم‌های مختلف استفاده شود. به منظور برآورد تقاضا در هر بخش خانگی (سرمایش، گرمایش، یخ‌توپز، تبرید، تجهیزات الکتریکی، روشنایی و بهداشتی) از یک ساختمان منتخب کتابخانه‌ی دیزاین بیلدر است، استفاده شده است. به منظور بررسی تأثیر اقلیم بر بار سرمایش و گرمایش و همچنین وجود بارهای اصلی، ۱۰۰۰ شهر ایران در این مطالعه انتخاب و در نرم‌افزار یادشده مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد تقاضای بار سرمایش در شهرهای مورد بررسی بیشتر از بار گرمایش است. از طرفی، بیشینه، متوسط و کمینه بار گرمایش به ترتیب $198 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ ، $7/2 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ و نزدیک به صفر، و بیشینه، متوسط و کمینه بار سرمایش به ترتیب $166 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ ، $67 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ و $3/6 \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot yr} \right]$ پیش‌بینی می‌شود. این گستره تغییر بار اهمیت توسعه مدل‌های قیمت‌گذاری عادلانه حامل‌های انرژی، انتخاب مصالح ساختمانی، ساعت‌های کاری و معماری ساختمان را نشان می‌دهد، در مطالعه آتی، مدل قیمت‌گذاری عادلانه ارائه خواهد شد.

- [10]. D. Bienvenido-Huertas, C. Rubio-Bellido, F. Farinha, M. J. Oliveira, and J. L. Pérez-Ordóñez, "Evaluating the potential of adaptive comfort approach using historic data to reduce energy consumption in buildings in southern Spain," *Build. Environ.*, vol. 185, p. 107313, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2020.107313.
- [11]. S. K. Alghoul, H. G. Rijabo, and M. E. Mashena, "Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli, Libya," *J. Build. Eng.*, vol. 11, pp. 82–86, May 2017, doi: 10.1016/J.JOBE.2017.04.003.
- [12]. A. T. Nguyen, D. Rockwood, M. K. Doan, and T. K. Dung Le, "Performance assessment of contemporary energy-optimized office buildings under the impact of climate change," *J. Build. Eng.*, vol. 35, p. 102089, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2020.102089.
- [13]. S. Golkar, M. Baneshi, and A. Fathi, "An integrated framework for optimum planning and operating solar energy conversion technologies in buildings," *Int. J. Energy Res.*, vol. 46, no. 12, pp. 16476–16499, Oct. 2022, doi: 10.1002/ER.8310.
- [14]. S. Heiple and D. J. Sailor, "Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles," *Energy Build.*, vol. 40, no. 8, pp. 1426–1436, Jan. 2008, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2008.01.005.
- [15]. F. M. Bhutta, "Application of smart energy technologies in building sector - Future prospects," *ICECE 2017 - 2017 Int. Conf. Energy Conserv. Effic. Proc.*, vol. 2018-January, pp. 7–10, Jun. 2017, doi: 10.1109/ECE.2017.8248820.
- [16]. N. Ali, "Estimating the useful energy demand of the household sector in Iran by separating different household expenditure groups," *sid.ir*, Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=109282>
- [17]. S. C. Bhattacharyya and G. R. Timilsina, "Modelling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured?," *Energy Policy*, vol. 38, no. 4, pp. 1979–1990, Apr. 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2009.11.079.
- [18]. A. A. Aziz, N. Hashim, N. Mustapha, and R. Ismail, "Factors Affecting Energy Demand in Developing Countries: A Dynamic Panel Analysis," *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 3, no. 4, pp. 1–6, Dec. 2013, Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijeeep/issue/31907/350757>
- [19]. Moslehi H. Design and Load Calculation Book of Mechanical Installations in Design Builder. 2017. - Google Search <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q> (accessed Oct. 29, 2022.)
- [20]. S. Golkar, M. Bانشi and A. Fathi, "Developing a technical-economic model for choosing the cooling system of office buildings in hot and dry regions - the investigated example of water and sewage building in Fars province." *The 6th Annual Clean Energy Conference*, Oct. 01, 1398. Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: <https://civilica.com/doc/969617/certificate/print/>
- [21]. Office of National Construction Regulations, "The Fifth Topic of Iran's National Construction Regulations, Construction Materials and Products," p. 260, 1392.
- [22]. S. L. Wong, K. K. W. Wan, D. H. W. Li, and J. C. Lam, "Impact of climate change on residential building envelope cooling loads in subtropical climates," *Energy Build.*, vol. 42, no. 11, pp. 2098–2103, Nov. 2010, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2010.06.021.
- [23]. Y. Wang, H. Lin, W. Wang, Y. Liu, R. Wennersten, and Q. Sun, "Impacts of climate change on the cooling loads of residential buildings differences between occupants with different age," *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 2677–2682, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.12.210.